



MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM REDE UM OLHAR INTERDISCIPLINAR

Contribuições do Instituto Nacional de Ciência
e Tecnologia para Mudanças Climáticas

Carlos A. Nobre e José A. Marengo
ORGANIZADORES



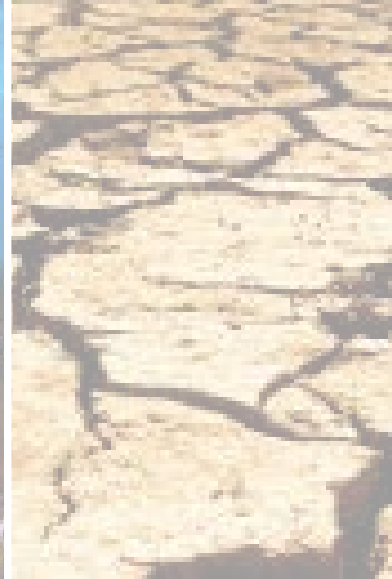
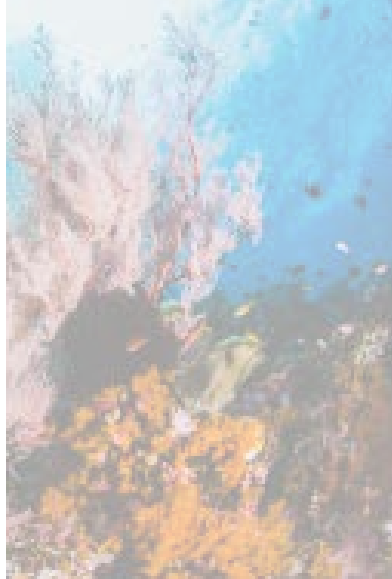
MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM REDE

UM OLHAR INTERDISCIPLINAR

Contribuições do Instituto Nacional de Ciência
e Tecnologia para Mudanças Climáticas

Carlos A. Nobre e José A. Marengo

ORGANIZADORES



MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM REDE

UM OLHAR INTERDISCIPLINAR

Contribuições do Instituto Nacional de Ciência
e Tecnologia para Mudanças Climáticas

Carlos A. Nobre e José A. Marengo

ORGANIZADORES

1ª edição | 2017
Bauru, SP

canal6 editora

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas

Coordenador

Carlos A. Nobre

Vice-coordenador

José A. Marengo

Comitê Executivo

Carlos A. Nobre

Carlos Garcia, FURG

José A. Marengo, CEMADEN

Luiz Pinguelli Rosa, UFRJ

Mercedes Bustamante, UnB

Paulo Artaxo, USP

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
para Mudanças Climáticas
<http://inct.ccst.inpe.br>

Sede

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Avenida dos Astronautas, 1758

Jardim da Granja

12227-010 – São José dos Campos – SP

www.inpe.br

Mudanças Climáticas em Rede – um olhar interdisciplinar

Contribuições do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas

Organização

Carlos A. Nobre e José A. Marengo

Edição, preparação e revisão de textos

Ana Paula Soares

Foto da capa (maior): Vista aérea da Amazônia/Eduardo Arraut

M943 Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar / Carlos A. Nobre e José A. Marengo (orgs). - - São José dos Campos, SP: INCT, 2017.

608 p. ; 23 cm.

ISBN 978-85-7917-463-6

1. Clima 2. Mudanças climáticas 3. Redes de pesquisa 4. Brasil
I. Nobre, Carlos A. II. Marengo, José A. III. Título.

CDD: 551.5

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	9
APRESENTAÇÃO	11
INTRODUÇÃO	15
<i>Carlos A. Nobre, José A. Marengo</i>	

RESULTADOS CIENTÍFICOS

Capítulo 1

Observações e Atribuição de Causas da Variabilidade e Extremos Climáticos	69
<i>Tércio Ambrizzi, Moacyr Araujo, Simone Ferraz, Osvaldo Moraes</i>	

Capítulo 2

Segurança Alimentar	97
<i>Eduardo Delgado Assad, Renato de Aragão Rodrigues, Stoécio Maia, Luiz Claudio Costa</i>	

Capítulo 3

Segurança Hídrica	125
<i>Alfredo Ribeiro Neto, José Almir Cirilo</i>	

Capítulo 4	
Segurança Energética	149
<i>Enio Bueno Pereira</i>	
Capítulo 5	
Saúde	165
<i>Sandra Hacon, Christovam Barcellos, Diego Ricardo Xavier, Renata Gracie, Beatriz Fátima Alves de Oliveira, Paulo Artaxo, Eliane Ignotti</i>	
Capítulo 6	
Biodiversidade e Ciclos Biogeoquímicos	189
<i>Mercedes Bustamante, Jean Ometto, Luiz Antonio Martinelli</i>	
Capítulo 7	
Desastres Naturais	203
<i>Regina C. S. Alvalá, Alisson Barbieri</i>	
Capítulo 8	
Emissão de Gases de Efeito Estufa	231
<i>Plínio Alvalá, Turíbio Gomes Soares Neto, Ana Paula Aguiar, Jean Ometto</i>	
Capítulo 9	
Dimensões Humanas e Econômicas das Mudanças Climáticas	247
<i>Myanna Lahsen, Jacques Marcovitch, Eduardo Haddad</i>	
Capítulo 10	
Zonas Costeiras	307
<i>Margareth S. Copertino, Carlos A. Garcia, Alexander Turra, Áurea Maria Ciotti, Douglas Gherardi, Márcia R. Denadai, Osmar Möller, Patrizia Raggi, Paulo Antunes Horta, Ruy P. K. Kikuchi, Renato Ghisolfi, Antonio F. Klein, Eduardo Siegle, Paulo H. G. O. Sousa, Paulo C. Lana</i>	
Capítulo 11	
Amazônia e REDD	367
<i>Ana Paula Aguiar, Gilberto Fisch, Paulo Artaxo, Paulo Moutinho</i>	
Capítulo 12	
Modelagem do Sistema Terrestre	403
<i>Paulo Nobre, Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti, Manoel Cardoso, Ana Paula Aguiar, Sin Chan Chou</i>	

Capítulo 13

Cenários Futuros de Clima para Estudos de Impactos-Vulnerabilidade-Adaptação (IVA)	427
--	-----

José A. Marengo, Sin Chan Chou

TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTOS PARA A SOCIEDADE

Capítulo 14

A Disseminação do Conhecimento como Instrumento de Cidadania: o caso do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas	453
---	-----

Ana Paula Soares

INTERFACE CIÊNCIA-POLÍTICAS PÚBLICAS

Capítulo 15

O Uso da Evidência Científica na Construção do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA)	479
---	-----

Karen de Oliveira Silverwood-Cope

Considerações finais	497
--------------------------------	-----

Carlos A. Nobre, José A. Marengo

ANEXOS

Estrutura do INCT para Mudanças Climáticas	505
--	-----

Instituições nacionais participantes do INCT para Mudanças Climáticas	506
---	-----

Instituições internacionais participantes do INCT para Mudanças Climáticas	507
--	-----

INCT para Mudanças Climáticas em números	508
--	-----

Registro de pontos relevantes das discussões da Conferência Internacional do INCT para Mudanças Climáticas – São Paulo, 28 a 30 de setembro de 2016.	510
Entenda os cenários do IPCC.	567
Principais abreviaturas e siglas utilizadas neste livro	573
SOBRE OS AUTORES.	581

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos às equipes científicas do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas pelo destacado trabalho durante os mais de oito anos de funcionamento deste projeto científico, sem o qual não teríamos alcançado os resultados obtidos. Agradecemos igualmente ao Comitê Científico deste INCT pelo apoio e, em especial, aos membros do Comitê Executivo, Prof. Luiz Pinguelli Rosa (UFRJ), Profa. Mercedes Bustamante (UnB), Prof. Paulo Artaxo (USP), e Prof. Carlos Garcia (FURG), pelo acompanhamento e orientações. Expressamos nossos agradecimentos ao Dr. Paulo Nobre (INPE) e ao Prof. Moacyr Araujo (UFPE) ex-coordenador e coordenador atual da Rede Clima, respectivamente, pela profícua parceria que proporcionou grandes benefícios a este INCT.

Muitos dos resultados do INCT para Mudanças Climáticas foram utilizados como subsídios científicos à elaboração de políticas públicas como o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, o Plano Nacional de Redução de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, a Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, o estudo Brasil 2040 da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, o Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC, o Relatório Especial sobre Extremos (SREX) do IPCC e o Primeiro Relatório de

Avaliação do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, entre outras. Nossos agradecimentos a todas as equipes ministeriais pelo trabalho conjunto, em especial ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.

Não menos importante, expressamos nossos agradecimentos às agências de financiamento CNPq (Processo Número 573797/2008-0) e FAPESP (Processo Número 2008/57719-9). Agradecemos igualmente aos muitos funcionários dessas duas agências pelo continuado apoio ao funcionamento deste INCT.

Agradecimentos a todas as equipes da Secretaria Executiva do INCT para Mudanças Climáticas, ao Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do INPE, por ceder espaço para o funcionamento da Secretaria Executiva, e ao CEMADEN, pelo grande apoio à gestão do INCT. Um agradecimento especial à Érica Menero, Secretária Executiva, por sua sempre eficiente dedicação ao projeto. Agradecemos também ao Eduardo Moraes Arraut pela gestão do projeto em sua fase inicial, ao Wagner Soares e a todos os revisores que contribuíram com a revisão científica dos capítulos deste livro.

Por fim, considerando que este livro se beneficiou diretamente de produtos científicos da Conferência Internacional do INCT para Mudanças Climáticas, realizada em São Paulo de 28 a 30 de setembro de 2016, agradecemos a todos os que contribuíram para a sua realização, em especial à Roberta Sales, assessora de eventos da FAPESP, à Ana Paula Soares, da UNICAMP, e ao INPE/CCST e ao CEMADEN, pelo apoio logístico e institucional.

Carlos A. Nobre
José A. Marengo

APRESENTAÇÃO

Este livro descreve as atividades realizadas e os principais resultados científicos obtidos pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT para Mudanças Climáticas) – uma das maiores redes de pesquisa entre os 123 institutos nacionais de ciência e tecnologia criados em 17 estados do país a partir da chamada publicada na Portaria MCT n° 429, de 17 de julho de 2008¹, com o objetivo de mobilizar e agregar os melhores grupos de pesquisa científica e tecnológica voltados ao desenvolvimento sustentável. Os projetos foram financiados pelo Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC); pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Ministério da Educação (MEC); e por agências estaduais de fomento, especialmente a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

O INCT para Mudanças Climáticas veio se juntar à Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima), criada em finais de 2007 pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, como parte dos esforços governamentais para suprir as necessidades nacionais de conhecimento

1 Um segundo edital, lançado em 2014 pela Portaria MCTI n.º 577, de 4 de junho de 2014, contemplou 252 projetos de INCTs. Este segundo edital aprovou a segunda fase do INCT para Mudanças Climáticas e o projeto foi classificado em nono lugar entre os 252 contemplados.

sobre mudanças climáticas, incluindo a produção de informações para a formulação de políticas públicas e o apoio à diplomacia brasileira nas negociações internacionais sobre as mudanças climáticas globais. O INCT para Mudanças Climáticas também esteve associado ao Programa FAPESP de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (PFPMCG).

Formou-se assim uma abrangente rede de pesquisas interdisciplinares em mudanças climáticas – a maior já desenvolvida no Brasil –, envolvendo grupos de pesquisa de 108 instituições e universidades brasileiras e estrangeiras, com cerca de 400 participantes. Um ambicioso empreendimento científico criado para prover informações de alta qualidade relevantes para ajudar o Brasil a cumprir os objetivos do seu Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC).

A fim de ampliar o escopo dos INCTs e de incentivar o desenvolvimento de ações inter e transdisciplinares nas temáticas dos projetos, a chamada para a criação dos institutos nacionais promoveu uma importante mudança de paradigma no âmbito dos editais de financiamento de ciência e tecnologia no Brasil. O edital incluiu requisitos para além das atividades de pesquisa científica, estabelecendo cinco missões de igual nível hierárquico para os projetos a serem apoiados: Pesquisa; Formação de Recursos Humanos; Transferência de Conhecimentos para a Sociedade; Transferência de Conhecimentos para o Setor Privado e/ou Setor Público; Internacionalização. O INCT para Mudanças Climáticas empreendeu esforços relevantes para o cumprimento desses cinco objetivos.

Na área científica, alguns dos resultados de suas pesquisas foram apresentados na Conferência Internacional do INCT para Mudanças Climáticas, realizada em São Paulo de 28 a 30 de setembro de 2016, e estão publicados de forma sumarizada nos capítulos que compõem este livro. Esses resultados também se traduzem em mais de 1.000 publicações, entre livros, capítulos de livro e artigos em periódicos científicos internacionais e nacionais, além de várias centenas de apresentações em eventos científicos e para público amplo.

Atendendo ao quesito Formação de Recursos Humanos, o projeto apoiou, em conjunto com a Rede Clima, 332 mestrados, 230 doutorados e 104 pós-doutorados, além de 152 iniciações científicas.

As ações de Transferência de Conhecimentos para a Sociedade, abordadas no Capítulo 14, mereceram menção dos avaliadores do II Seminário de Acompanhamento e Avaliação dos Institutos Nacionais de Ciência

e Tecnologia, realizado em 2013, como um dos aspectos diferenciais do INCT para Mudanças Climáticas em relação aos demais INCTs. O trabalho da equipe de disseminação do conhecimento resultou em 12 participações do INCT para Mudanças Climáticas em eventos de popularização da ciência (dentre estes, quatro edições da Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) e quatro da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT)); dez cartilhas educacionais (formatos impresso e digital); dois CD-ROM interativos; um desenho animado educacional; um quiz educacional interativo; 12 vídeos educacionais; e um portal na Internet para reunir os produtos gerados. Na área de divulgação de resultados científicos, foram organizados cinco relatórios de atividades do INCT para Mudanças Climáticas.

No âmbito da Transferência de Conhecimentos para o Setor Privado e/ou Setor Público, destaca-se a bem sucedida interface da ciência com as políticas públicas em nível nacional. Em parceria com a Rede Clima e programas estaduais e internacionais de pesquisa, o INCT para Mudanças Climáticas contribuiu como pilar do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, conforme já mencionado. Também apoiou os trabalhos científicos relevantes para a elaboração do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), lançado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) em 2016. Forneceu subsídios científicos úteis para a preparação do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5), publicado em 2013 e 2014; dos relatórios do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), publicados igualmente em 2013 e 2014; do estudo Brasil 2040, produzido pela extinta Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE) da Presidência da República, em 2015; e dos estudos de impactos das mudanças climáticas e análise de vulnerabilidade setorial para a preparação da Terceira Comunicação Nacional (TCN) do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), produzida pelo MCTIC em 2016 e apresentada como trabalho em andamento na Conferência das Partes (COP20) em Lima, Peru, em 2014. A relevância da evidência científica para a elaboração de políticas em mudanças climáticas é discutida no Capítulo 15.

O esforço de internacionalização das pesquisas do INCT para Mudanças Climáticas está representado na cooperação com 18 instituições de pesquisa internacionais, da África do Sul, Argentina, Chile, EUA, Japão, Holanda, Índia, Reino Unido e Uruguai.

Espera-se que a geração de novos conhecimentos e a capacitação de recursos humanos promovidas pelo INCT para Mudanças Climáticas Mudanças Climáticas tenha contribuído para consolidar a área de pesquisas em mudanças climáticas no país e para reforçar o papel do Brasil na definição da agenda ambiental em âmbito global. Igualmente, espera-se que o país tenha capacidade para continuar a gerar conhecimentos e informações cada vez mais qualificadas, para que as ações de desenvolvimento social e econômico se deem de forma ambiental, econômica e socialmente sustentável.

São José dos Campos, novembro de 2017.

Carlos A. Nobre
José A. Marengo
Ana Paula Soares

INTRODUÇÃO

INCT para Mudanças Climáticas:
objetivos, principais resultados e perspectivas

Carlos A. Nobre
José A. Marengo

Espelhando-se na estrutura do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), o INCT para Mudanças Climáticas se organizou em três eixos científicos principais: (i) base científica das mudanças ambientais globais; (ii) impactos-adaptação-vulnerabilidade; e (iii) mitigação, e incluiu também esforços de inovação tecnológica através do desenvolvimento de modelos computacionais do sistema climático, geosensores para medir a concentração de gases de efeito estufa e sistema de prevenção de desastres naturais. Essa temática científica foi organizada em 26 subprojetos de pesquisa: **A Base Científica:** Detecção, Atribuição e Variabilidade Natural do Clima; Amazônia; Mudanças dos Usos da Terra; Ciclos Biogeoquímicos Globais; Oceanos; Gases de Efeito Estufa; Interações Biosfera-Atmosfera; Cenários Climáticos Futuros e Redução de Incertezas. **Estudos de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade:** Cenários de Mudanças Climáticas para o Século XXI; Agricultura; Recursos Hídricos; Energias Renováveis; Biodiversidade; Saúde Humana; Zonas Costeiras; Urbanização e Megacidades; Economia das Mudanças Climáticas; Estudos de Ciência, Tecnologia e Políticas Públicas. **Mitigação:** Emissões de Lagos e Reservatórios; Processos de Combustão; Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD). **Produtos Tecnológicos:** Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (BESM); Modelo de Circulação Global da Atmosfera do CPTEC; Modelagem de

Múltiplas Escalas: Desafios para o Futuro; Tecnologias Observacionais para Mudanças Climáticas; Sistema de Informações para Redução de Riscos de Desastres Naturais.

No seu conjunto, esses subprojetos foram constituídos para fazer frente às demandas do país por pesquisas em mudanças climáticas, considerando a grande ausência de informações científicas à época da publicação da chamada para a apresentação de propostas para os futuros institutos nacionais de ciência e tecnologia. De modo geral, este INCT teve duas grandes fases de desenvolvimento dos projetos. A primeira foi construída a partir dos 26 subprojetos, num processo acelerado de geração de novas informações. Isso correspondeu aos primeiros seis anos de funcionamento do INCT para Mudanças Climáticas. Nos últimos dois anos, a ênfase foi em reunir e integrar os novos conhecimentos em 13 temas interdisciplinares de grande relevância para o país.

Na fase de integração de resultados do INCT para Mudanças Climáticas, os responsáveis pelos temas interdisciplinares, posteriormente denominados temas integradores, prepararam um documento base apresentando uma síntese dos resultados obtidos. Organizados na forma de avaliações integradas, os textos foram posteriormente editados, transformando-se nos capítulos deste livro.

Especialmente para esta publicação, dois outros capítulos foram elaborados – um sobre a estratégia e as ações de disseminação do conhecimento desenvolvidas no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas e outro sobre a evidência científica na construção do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima.

No que se segue, buscou-se inicialmente sumarizar as contribuições deste INCT às cinco questões iniciais propostas para o projeto. Em seguida, são apresentados os destaques científicos dos 26 subprojetos iniciais, seguidos pela apresentação dos resultados mais relevantes dos projetos integradores da última fase deste INCT.

Os objetivos iniciais do INCT para Mudanças Climáticas foram elaborados de forma a responder a cinco questões estruturantes:

(i) detectar mudanças ambientais no Brasil e América do Sul, especialmente as mudanças climáticas, e atribuir causas às mudanças observadas (aquecimento global, mudanças dos usos da terra, urbanização, etc.)

Nesse contexto, as pesquisas do INCT para Mudanças Climáticas detectaram tendências importantes de chuvas, temperatura, hidrológicas, oceanográficas e de nível do mar em várias regiões do país, assim como de extremos climáticos. Houve mudanças na variabilidade hidrológica na Amazônia, onde sete eventos extremos (secas e enchentes) aconteceram em um período de 13 anos, indicando alterações da frequência de ocorrência de extremos nessa região. Isso coincide com uma tendência de elevação na duração da estação seca no sul da Amazônia. Em outras regiões, devido à falta de dados, não foi possível identificar tendências de longo prazo em chuvas, mas ficou claro um aumento nas chuvas e vazões no Sudeste e Sul do Brasil durante os últimos 50 anos, variações decadais das chuvas no Nordeste e Centro-Oeste e, em todas as regiões, um aumento na temperatura média anual do ar de até 0,7°C durante os últimos 50 anos, sendo o aquecimento maior no inverno (até 1°C). Os extremos de chuva têm aumentado nas regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro, o que tem gerado um aumento do risco de enchentes e deslizamentos de terra. Esse aumento deve-se, em primeiro lugar, à urbanização e mudanças dos usos da terra e, em segundo lugar, ao aquecimento global. Um evento de grande destaque foi a seca de 2014-2015 que afetou o Sudeste do Brasil, onde as consequências de uma estação chuvosa de verão deficiente (choveu menos de 50% do normal em 2014) geraram uma crise hídrica sem precedentes na história climática de São Paulo. Os reservatórios da Cantareira, que abastecem as grandes cidades da Região Metropolitana de São Paulo e regiões próximas, chegaram a liberar o volume morto para poder evitar a falta ou o racionamento de água.

Em algumas regiões, detectou-se aumento do nível do mar, o que afeta as zonas costeiras, principalmente a biodiversidade de água doce nos deltas dos rios, e as cidades costeiras, como as das baixadas Fluminense e Santista. Em outras áreas costeiras no Sul do Brasil, variações nos ciclones extratropicais estão afetando as populações e ecossistemas de zonas costeiras e gerando ressacas mais intensas que têm afetado regiões como a Ponta da Praia, em Santos. Observações oceanográficas foram complementadas com a instalação de boias oceanográficas no Atlântico Tropical e Sul, o que permite um melhor conhecimento da estrutura térmica dos oceanos e dos padrões de circulação atmosférica e seus impactos nos extremos de tempo e clima na região. Em relação aos gases de efeito estufa (metano (CH₄), gás carbônico (CO₂), ozônio (O₃) e óxido nitroso (N₂O)), dados recentes

mostram que liberações podem ocorrer em níveis altos em reservatórios hidrelétricos, especialmente em países tropicais, como o Brasil. Ou seja, esse aspecto é mais relevante do que se supunha e deve ser considerado tanto para aprimorar os inventários nacionais de emissões de gases de efeito estufa (GEE), como também em comparação com outras formas de geração de energia “limpa”, como a solar e a eólica.

(ii) desenvolver modelos globais e regionais do Sistema Climático Global e desenvolver cenários de mudanças ambientais globais e regionais, particularmente cenários em alta resolução espacial de mudanças climáticas e de usos da terra para o século XXI

O INCT para Mudanças Climáticas iniciou em 2009 a geração de cenários climáticos futuros até 2100, usando técnicas de regionalização (*downscaling* dinâmico), com modelos climáticos regionais de alta resolução (20, 40 km de resolução espacial) forçados a partir das projeções climáticas de modelos climáticos globais do Reino Unido, Japão e, recentemente, do Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (Brazilian Earth System Model, BESM, na sigla em inglês) e usando o modelo regional Eta desenvolvido pelo INPE. Esses cenários têm sido usados em vários estudos de impactos setoriais das mudanças de clima no Brasil, e os seus resultados foram reportados nos relatórios do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) e no Quinto Relatório do IPCC (AR5), assim como na Terceira Comunicação Nacional (TCN) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês). Dezenas de estudos baseados nesse método de regionalização (*downscaling*) de cenários globais e nas análises das projeções de mudanças climáticas do IPCC para a América do Sul têm permitido identificar cenários possíveis de mudanças climáticas para as próximas décadas, até 2100. Aumentos de até 6°C na Amazônia e 4°C no restante do país, e aumentos de chuva no Sul, de até 20%, e reduções de chuva no Nordeste e Amazônia, de até 30%, sugerem um cenário de clima que pode afetar a população e os sistemas naturais. Aumento na frequência de extremos de chuva projetados no Sul e Sudeste do Brasil pode afetar os grandes conglomerados urbanos, aumentando o risco de desastres naturais de origem hidrometeorológica.

A partir de 2010, o subprojeto Modelagem do Sistema Terrestre do INCT para Mudanças Climáticas, contando também com colaboração da

FAPESP e da Rede Clima, trabalhou no desenvolvimento de um modelo global de classe mundial, o BESM, com o objetivo de gerar cenários futuros de clima em média e alta resoluções. Esses cenários foram disponibilizados para a comunidade científica e governo, adicionando elementos para o entendimento das mudanças climáticas e o desenvolvimento de uma agenda governamental de adaptação e mitigação, visando assim enfrentar os impactos das mudanças globais.

O BESM incorpora o melhor da tecnologia e conhecimento de processos anteriormente pouco conhecidos e muito importantes no contexto regional do continente sul-americano, como o fogo, a química da atmosfera, os processos de superfície, a interação biosfera-atmosfera e as descargas fluviais. O BESM também ajuda a reduzir a dependência tecnológica, pois o modelo regional do sistema terrestre em desenvolvimento (Regional Earth System Model – RESM, na sigla em inglês), baseado no modelo regional Eta, utilizará o modelo global BESM e não mais modelos do exterior. O esquema de superfície INLAND no BESM representa um aspecto inovador na modelagem do sistema terrestre, pois além de o BESM incluir cenários de emissão de gases de efeito estufa, o INLAND inclui um modelo estado da arte de mudanças do uso da terra, que permite que o clima futuro seja modelado e projetado considerando não somente as mudanças na concentração de gases de efeito estufa mas também mudança do uso da terra na América do Sul.

Resultados do BESM considerando o acoplamento oceano-atmosfera já estão disponíveis e representam a contribuição do Brasil ao “clubes” de modelos do IPCC AR5. Acoplamentos do INLAND e do modelo de química da atmosfera estão em fase de testes. O BESM igualmente será o único modelo global da América do Sul a tomar parte nos trabalhos do IPCC AR6.

(iii) aumentar significativamente os conhecimentos sobre impactos das mudanças climáticas e identificar as principais vulnerabilidades do Brasil nos seguintes setores e sistemas: ecossistemas e biodiversidade, agricultura, recursos hídricos, saúde humana, cidades, zonas costeiras, energias renováveis e economia

As variações de longo prazo observadas no clima e na hidrologia têm impactos na saúde, ecossistemas, populações em áreas vulneráveis, agricultura familiar, assim como na economia e nos riscos de desastres naturais.

Impactos de eventos extremos observados no presente têm mostrado a vulnerabilidade da sociedade e também dos sistemas naturais, particularmente aos extremos de clima e hidrologia. As secas na Amazônia em 2005, 2010 e em 2016 têm tido um grande impacto na saúde da população, devido ao efeito da fumaça e a problemas no transporte de alimento e combustível às populações ribeirinhas, mas também têm aumentado grandemente a liberação de CO₂ na atmosfera, alterando o ciclo de carbono nos anos de seca. A longa seca que atinge o Nordeste e que já dura seis anos (2012-2017) destaca a vulnerabilidade das populações rurais e urbanas do semiárido à escassez hídrica. A seca extrema no Sudeste em 2014-2015 igualmente revelou novas vulnerabilidades da agricultura e dos sistemas de geração de energia na região mais desenvolvida do país, além do quase colapso de sistemas de abastecimento de água em São Paulo (SP), Belo Horizonte (MG) e Vitória (ES). No caso de enchentes, sejam em áreas urbanas nas megacidades ou nas áreas rurais da Amazônia (como em 2009, 2012 e 2014, esta última concentrada no sudoeste da região) ou em outras partes do país, os impactos são claros, tanto na qualidade e quantidade de água disponível quanto na incidência de doenças como cólera ou leptospirose. Esses problemas podem também gerar crises sociais associadas à migração. As possibilidades de que extremos climáticos sejam mais intensos e frequentes no futuro trazem mais relevância ao fato de que o Brasil é vulnerável às mudanças de clima e aos impactos dela derivados.

Vários estudos já têm usado os cenários de clima gerados no contexto do INCT para Mudanças Climáticas para avaliar projeções de mudanças climáticas na segurança hídrica, energética e alimentar no Brasil e na América do Sul. Os mesmos cenários têm sido usados em estudos sobre economia das mudanças climáticas, com resultados interessantes em que o clima passa a ter um papel importante na economia local, regional e continental. Projeções de vazões, vento e energia solar têm ajudado a estimar mudanças nos potenciais de geração de energia hídrica, solar e eólica no país nas próximas décadas, o que de fato tem grande impacto na geração futura de energia.

(iv) desenvolver estudos e tecnologias de mitigação das emissões de gases de efeito estufa

Na parte do INCT para Mudanças Climáticas que se ocupou de aplicações, e quanto à pesquisa sobre a mitigação das emissões de gases de efeito de estufa, uma iniciativa tecnológica promissora envolveu a substituição do O_2 do ar por aquele contido nos óxidos metálicos (transportadores de O_2), a fim de que hidrogênio, ao invés de CO_2 , seja um produto final em processos de combustão em geral. Nos experimentos, o óxido de níquel teve o melhor desempenho através de CLQ (combustão por *looping* químico, uma nova tecnologia de combustão com separação intrínseca do CO_2 causador do efeito estufa) e RLQ (reforma por *looping* químico, uma nova técnica de *looping* químico que produz gás de síntese e hidrogênio). Na pesquisa de novos materiais, resultados de estudos demonstram que a oxidação orgânica e a redução de nitrato, incluindo o tratamento de superfície por micro/nanocristais de boro ou filmes dopados com nitrogênio (BDDN), possuem um enorme potencial para aplicações. As principais aplicações se referem ao uso de eletrodos de diamante dopados com boro em Processos Oxidativos Avançados Eletroquímicos (POAE), que podem ser utilizados em águas contaminadas com resíduos orgânicos. Através de um processo de passagem de uma corrente elétrica, as moléculas orgânicas dos contaminantes são destruídas, levando ao processo de mineralização da matéria orgânica, que é transformada em CO_2 e água. Na redução de nitrato, esses eletrodos de diamante também podem ser utilizados em águas contaminadas. Através de processos eletroquímicos, estes suportam ser utilizados em potenciais catódicos bastante elevados e podem promover a completa redução de nitrato a gás nitrogênio N_2 , que é inerte.

Também foram desenvolvidos sensores eletroquímicos de diamante e materiais carbonosos, com o intuito de produzir dispositivos para a detecção de compostos orgânicos e inorgânicos, além de reatores que aumentem a eficiência do tratamento de efluentes. Sensores de umidade relativa feitos de cerâmica e com alta precisão também foram desenvolvidos.

(v) fornecer informações científicas de qualidade para subsidiar políticas públicas de adaptação e mitigação

Estudos científicos derivados do INCT para Mudanças Climáticas ajudaram a detectar tendências de extremos de chuva na região Sudeste do Brasil. Eventos como o da região serrana do Rio de Janeiro em 2011 levaram a refletir sobre a real vulnerabilidade de grandes áreas do Brasil a extremos

climáticos e a desastres naturais gerados por esses extremos. Uma das consequências dos estudos derivados do INCT para Mudanças Climáticas, em relação a tendências observadas e projetadas de extremos de chuva, e também do projeto Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), concluído em 2011, foi a criação do CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, no mesmo ano. Resultados do INCT para Mudanças Climáticas foram apresentados na Conferência Rio+20 (2012) e utilizados na elaboração de estudos do IPCC AR5 e do PBMC, e também em grandes debates nacionais, como o do Código Florestal e dos grandes empreendimentos hidrelétricos na Amazônia, assim como na elaboração do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA). Um estudo sobre impactos da mudança do clima e cidades costeiras foi produzido pelo PBMC em 2017 e resultados do INCT para Mudanças Climáticas forneceram subsídios científicos para avaliar vulnerabilidades de cidades como Rio de Janeiro (RJ), Santos (SP), Recife (PE), Salvador (BA), Fortaleza (CE) e Vale do Itajaí (SC) a mudanças nos extremos de clima, ao aumento na frequência de tempestades, particularmente no Sul e Sudeste do Brasil, e à elevação do nível do mar.

Pela primeira vez, um modelo climático brasileiro (BESM) passou a fazer parte do arquivo de dados do IPCC (AR5). O desenvolvimento do BESM já faz parte de uma política ambiental e de objetivo estratégico do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Esses cenários também foram usados em estudos de impactos e vulnerabilidade desenvolvidos pela Rede Clima para a TCN do Brasil à UNFCCC, conforme já mencionado. No desenvolvimento de estudos referentes a medidas de biogeoquímica ambiental, o Laboratório de Biogeoquímica do Centro de Ciência do Sistema Terrestre do INPE realizou um trabalho conjunto com o Observatório Nacional (ON) para estudo da emissão de gases de efeito estufa na Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro (RJ). Recentemente, foi criada no INPE a Rede Nitrogênio/Carbono América Latina (Nnet), que trabalha nas escalas continental, regional e local, para determinar a deposição atmosférica em diferentes ambientes atmosféricos no estado de São Paulo, e para acompanhar os processos de recuperação ambiental através de plantio de mudas de espécies vegetais do bioma Mata Atlântica. O desenvolvimento do Modelo de Emissões do INPE (INPE-EM) permite estimar níveis de gases de efeito estufa dos diversos ecossistemas,

o que vai ajudar na elaboração do Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa. Ainda sobre a questão de emissão de gases de efeito estufa, medidas de emissões em reservatórios de hidrelétricas mostraram valores elevados e que devem guiar as políticas públicas de mitigação, principalmente no que concerne aos compromissos assumidos pelo país no Acordo de Paris, de redução de suas emissões em 37% até 2025 e de 43% até 2030, em relação às emissões do ano de referência de 2005.

Mecanismos de mitigação em termos de ações voltadas à redução das emissões por meio de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD) têm levado a uma abordagem de fluxo de ações para a atribuição dos benefícios dessa iniciativa no Brasil. Isso de fato poderia fornecer um mecanismo formal pelo qual os estados amazônicos com baixas taxas de desmatamento poderiam participar ativamente do processo de mitigação das mudanças climáticas.

Destaques científicos e de desenvolvimento de modelos, bases de dados e ferramentas para pesquisa

Em seus seis primeiros anos de funcionamento (2009-2015), o INCT para Mudanças Climáticas apresentou contribuições significativas em termos de produção científica em nível nacional e internacional, permitindo uma melhor compreensão das mudanças climáticas e seus impactos, especialmente sobre biodiversidade, megacidades, desastres naturais, segurança alimentar, energética e hídrica, economia, saúde e qualidade de vida. Isso permitiu um maior conhecimento acerca das vulnerabilidades dos diferentes setores às mudanças climáticas e contribuiu com a geração de mecanismos de adaptação e mitigação.

Um sumário dos principais resultados produzidos nesse período do projeto é apresentado a seguir.

Detecção, Atribuição e Variabilidade Natural do Clima

Foram desenvolvidas análises da alteração no regime (ocorrência) de bloqueios atmosféricos e sistemas frontais em cenários de mudanças climáticas, assim como a associação dos bloqueios com anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico para a área subtropical do país. Os bloqueios, caracterizados por sua estacionariedade no espaço e

por tempo de duração longo, possuem uma frequência mais reduzida, sendo um fenômeno menos comum de ser observado quando comparado aos sistemas frontais. As frentes frias são fenômenos frequentes e grandes moduladores do regime de chuvas e temperatura nas regiões analisadas. De maneira geral, os modelos globais analisados reproduzem corretamente a variação sazonal do número de bloqueios, sendo mais frequentes na estação de inverno e primavera. No entanto, há uma superestimativa do modelo HadGEM2-ES ao detectar os bloqueios considerando uma duração mínima de três dias e abrangência de, no mínimo, 10° de longitude. Em relação às projeções futuras, é observado que, sobre o Pacífico Central, há uma queda no número de casos nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 do IPCC (com uma redução mais acentuada em RCP 4.5), e nas outras duas regiões há uma ligeira tendência de aumento no número de eventos de bloqueio. Para a região do Pacífico Central, a tendência é de diminuição, sugerindo um deslocamento da atividade de bloqueios mais a leste da linha internacional de data.

Ainda em relação aos cenários futuros, há indicativo de um pequeno aumento, na maioria dos meses, na intensidade de frentes frias atuando sobre as regiões Sul e Sudeste do Brasil. Uma possível explicação para o aumento da intensidade estaria no fato de que a maioria dos modelos de mudanças climáticas indica um fortalecimento do jato de baixos níveis, aumentando o escoamento de umidade proveniente da região da Bacia Amazônica em direção ao sul da América do Sul, consistente com o aumento de chuvas extremas no Sul e Sudeste do Brasil.

Em relação à seca no Sudeste do Brasil, em 2014-2015, as características sinóticas e dinâmicas de períodos extremos secos sobre a região e sua relação com a TSM do Atlântico Sul foram avaliadas. A seca que ocorreu sobre o Sudeste do Brasil desde o início do verão de 2014 até o início de 2016 fomentou uma grande discussão, tanto em termos acadêmicos quanto por parte da sociedade, devido ao seu impacto socioeconômico e à possibilidade de que eventos como esse aconteçam mais frequentemente no futuro. Resultados apresentados nos últimos relatórios do IPCC (2007, 2013) já indicavam que uma das consequências do aumento da temperatura média global seria o aumento da variabilidade climática, particularmente o aumento da frequência de extremos, seja em termos de calor ou frio, seja em relação a inundações ou secas. Os eventos extremos secos no Sudeste do Brasil que ocorrem nas estações de outono, inverno e primavera e sua

relação com anomalias de TSM no Oceano Atlântico Sul (OAS) ainda não são bem entendidos. De fato, a causa da seca de 2014-2015 foi a presença de um bloqueio atmosférico durante janeiro e fevereiro de 2014, que teve uma duração de 45 dias. Esse fenômeno acontece no verão, mas normalmente tem duração de 5 a 7 dias. As razões para tão longa duração ainda estão sendo buscadas.

Amazônia

Desde o início do projeto, importantes avanços foram obtidos na compreensão do papel que a Amazônia desempenha no sistema climático, incluindo as emissões de gases de efeito estufa e a influência do clima, da atividade do fogo e do desmatamento no equilíbrio dos ecossistemas da floresta tropical. A agenda de pesquisa e os resultados desse subprojeto do INCT para Mudanças Climáticas apresentaram também interações importantes com o desenvolvimento do modelo BESM, a Rede Clima e o Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais (PFPMCG). As mudanças climáticas e do uso da terra podem ter impactos importantes na Amazônia, com alterações na precipitação total e no comprimento da estação seca, e modificações nos valores de biomassa de florestas e gramíneas. Porém, isoladamente, a maior concentração de CO₂ associada aos cenários climáticos futuros pode causar um aumento da biomassa de árvores. De fato, estudos observacionais mostram que a duração da estação seca no sul da Amazônia tem aumentado em pelo menos um mês desde a década dos anos 1960, e isso pode ter graves impactos nos ecossistemas, na hidrologia regional e no início da estação chuvosa. Com a geração de cenários de usos da terra para a Amazônia até 2100 para integração com modelos do sistema terrestre, foi possível estimar, utilizando o INPE-EM, as emissões de CO₂ em decorrência das mudanças de uso da terra para esses cenários.

O INCT para Mudanças Climáticas, que está intimamente ligado ao Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (Projeto LBA), tem contribuído para melhorar a compreensão do funcionamento dos ecossistemas amazônicos – em particular com relação aos ciclos de água, energia e carbono e à liberação de gases de efeito estufa por queimadas –, assim como das mudanças dos usos da terra e sua influência no clima regional. Tem-se revelado que a fumaça da queima florestal pode reduzir em até 60% as taxas fotossintéticas em algumas regiões da Amazônia.

Por sua vez, a expansão do plantio da soja tem aumentado a insolação sobre a superfície. Além dos efeitos dessa maior variação sobre a dinâmica da atmosfera próxima à superfície, a substituição de árvores por soja também tem levado a diminuições na evapotranspiração, nas taxas fotossintéticas e na assimilação de carbono na região. Foram também realizadas medidas intensivas com balão cativo e radiossondagem, além de medidas contínuas de propriedades físico-químicas de aerossóis e medidas de gases de efeito estufa no sítio ATTO, próximo a Manaus (AM).

O aumento da concentração de aerossóis, tanto de origem natural como antrópica na região próxima a Manaus, produz um resfriamento da superfície, bem como o aumento da cobertura de nuvens. Entretanto, é difícil quantificar esses efeitos, pois eles são complexos e interagem entre si. Para aumentar esse conhecimento da associação atmosfera-aerossóis-nuvens, são necessárias medidas observacionais e conhecimentos oriundos de modelagem numérica e ensaios em laboratórios. O experimento internacional GoAmazon 2014 (acrônimo de Green Ocean Amazon) busca investigar o estado natural de uma área na Amazônia Central e contribuir para esse avanço científico. Duas operações intensivas de coleta de dados foram realizadas em Manaus – a primeira entre fevereiro e março de 2014 e a segunda entre setembro e outubro do mesmo ano - no âmbito do GoAmazon e contaram com dois aviões voando em diferentes alturas para acompanhar a pluma de poluição emitida pela Região Metropolitana de Manaus. O objetivo foi avaliar a interação entre os poluentes e os compostos emitidos pela floresta, bem como seu impacto nas propriedades de nuvem. Em condições livres de poluição, as nuvens da Amazônia apresentam altura máxima entre 3 e 4 km. Mas, quando há partículas de aerossóis em grandes quantidades, elas adquirem uma força incomum de crescimento, o que altera todo o balanço de radiação, o ciclo hidrológico e as propriedades termodinâmicas da atmosfera. O subprojeto Amazônia do INCT para Mudanças Climáticas participou ativamente desse esforço, por meio da inserção dos pesquisadores envolvidos, bem como do apoio financeiro às atividades de campo e às reuniões preparatórias das campanhas de campo e de organização do experimento.

O projeto CHUVA (Cloud processes of the main precipitation systems in Brazil: A contribution to cloud resolving modeling and to the GPM (Global Precipitation Measurement) tem o objetivo de reduzir as incertezas na estimativa da precipitação e progredir no conhecimento dos

processos das nuvens, principalmente das nuvens quentes. Em relação ao projeto CHUVA, os resultados estão contribuindo para o melhor entendimento de como funciona o ciclo de chuvas na região, e como a presença da área urbana de Manaus afeta o clima local. Isso está ajudando o projeto GoAmazon e também a melhorar a destreza dos modelos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE, visto que os dados gerados pelo experimento estão sendo assimilados nos modelos desenvolvidos e operados por esse Centro.

Mudanças dos Usos da Terra

O subprojeto teve como contribuição importante a geração de cenários de uso da terra para a Amazônia até 2100, para integração com modelos do sistema terrestre. Houve avanços nas análises estatísticas, como uma melhor distribuição dos dados do censo nas células e inferências espaço-temporais. Foram avaliados os cenários presentes na literatura, observando que aqueles baseados apenas nos aspectos econômicos não conseguiram capturar as trajetórias observadas na Amazônia na última década. Foram analisadas também as interações entre o mercado global de *commodities* e as políticas regionais nas reduções de desmatamento desde 2004.

Esses estudos possibilitaram a construção de modelos que procuraram discutir e preencher essas lacunas. Utilizando o sistema INPE-EM (Emission Model), foram estimadas as emissões de CO₂ em decorrência das mudanças do uso da terra para os cenários gerados. Em termos de ferramentas, o INPE-EM foi desenvolvido a partir da plataforma TerraME (www.terrame.org), ambiente para desenvolvimento de modelos de interação natureza-sociedade, no qual esses modelos e estudos são realizados.

No ambiente TerraME em si, ocorreram evoluções importantes, como a disponibilização do componente de visualização (OBSERVER), além de melhorias significativas no suporte à construção de modelos baseados em agentes. Houve avanços também na integração dos arcabouços de modelagem de emissões INPE-EM (<http://inpe-em.ccst.inpe.br/>) e de mudanças de uso da terra LuccME (www.terrame.org/luccme), ambos construídos em ambiente TerraME. Foi desenvolvida uma métrica de validação que utiliza a abordagem multirresolução para que se possam considerar as dependências de escala nos padrões espaciais.

Ciclos Biogeoquímicos Globais

Amplios estudos foram realizados com relação à dinâmica biogeoquímica e seus efeitos em diferentes biomas brasileiros. Dentre os principais resultados estão a verificação de que a remoção da cobertura vegetal altera diversas propriedades do solo, entre as quais estão a elevação da temperatura e a diminuição da disponibilidade hídrica. A captação de metano é mais elevada em áreas que possuem formações vegetais preservadas. Além disso, a emissão de gás carbônico é bem maior em áreas desflorestadas, principalmente nas estações chuvosas e nos meses de verão. O ciclo do nitrogênio também é grandemente afetado em áreas antropizadas, apresentando-se em baixa disponibilidade em solos degradados e dominados por braquiárias.

Esse subprojeto também conduziu seus trabalhos integrando vários aspectos da temática, buscando trazer uma leitura transversal de componentes da relação ambiente biológico e físico nos biomas brasileiros, sobretudo Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica e Pantanal. A estratégia incluiu a produção de uma base de dados nacional, a partir de levantamentos bibliográficos, do conteúdo de carbono e nitrogênio em solo e plantas nesses diferentes biomas; consulta a pesquisadores de várias instituições nacionais; e a realização de workshops temáticos, que levaram à produção de vários artigos científicos. Ressalta-se a produção de um número especial do *Brazilian Journal of Biology* e a disponibilização à comunidade científica da base de dados sobre conteúdo de carbono, nitrogênio e fósforo em diferentes tipos de manejo em biomas brasileiros. Na coletânea de artigos produzidos objetivou-se apresentar o status atual da ciclagem biogeoquímica em ambientes como grandes bacias de drenagem, regiões estuarinas e biomas, e avaliar o impacto potencial dos cenários de mudanças climáticas a essa ciclagem. Os cenários climáticos regionais considerados nas análises foram aqueles produzidos no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas.

Foi gerado um marco de referência (*framework*) com as potenciais interações positivas e negativas de variações na precipitação e temperatura na dinâmica biogeoquímica em bacias de drenagem. Esse *framework* pode ser utilizado para outros ecossistemas com a adequação de algumas premissas.

Gases de Efeito Estufa

O subprojeto inicialmente esteve restrito ao monitoramento dos gases de efeito estufa, em especial metano, gás carbônico e óxido nitroso. Os pontos de coleta iniciais foram Maxaranguape (RN), Cachoeira Paulista (SP), São José dos Campos (SP) e Pantanal. No decorrer do projeto iniciou-se uma parceria com o INCT Antártico para medidas de metano na região da Ilha do Rei George. Em janeiro de 2014 foi realizada colaboração com amostras coletadas na região Antártica. A partir de 2013, o projeto passou a monitorar o CO₂ em uma torre na Base de Estudos do Pantanal (BEP) da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.

Em um contexto mais amplo, foram obtidos avanços nos estudos sobre o comportamento dos gases metano (CH₄), carbônico (CO₂), ozônio (O₃) e óxido nitroso (N₂O), os quais estão diretamente relacionados ao aquecimento global. Observou-se que, embora empreendimentos hidrelétricos sejam amplamente considerados pela opinião pública como fontes geradoras de “energia limpa” ou “energia verde” – em contraste a fontes geradoras que utilizam combustíveis fósseis -, dados recentes mostram que liberações de gases de efeito estufa podem ocorrer em níveis altos em reservatórios hidrelétricos, especialmente em países tropicais, como o Brasil. Esses eventos devem ser levados em consideração por políticas públicas, especialmente no que diz respeito a créditos de carbono, já que as emissões de dióxido de carbono e gás metano ocorrem em níveis consideráveis em lagos artificiais. Além disso, a redução da cobertura vegetal em consequência do alagamento aumenta a liberação de carbono – anteriormente fixado nas árvores – para atmosfera, parte dele na forma de metano.

Com a criação da Rede Nitrogênio/Carbono América Latina (Nnet), no INPE, foi possível determinar a deposição atmosférica em diferentes ambientes atmosféricos no estado de São Paulo e acompanhar os processos de recuperação ambiental através de plantio de mudas de espécies vegetais do bioma Mata Atlântica.

Cenários Climáticos e Recursos Hídricos

Desde 2007, o INPE tem produzido cenários climáticos para a América do Sul do século XXI, sob diferentes concentrações de gases de efeito estufa. Esses cenários sugerem que as mudanças climáticas e seus impactos têm variação regional: projeta-se que áreas do centro, leste e norte do continente

experimentarão deficiência de chuvas, enquanto áreas do sudeste e oeste da Amazônia deverão registrar aumento. Em 2014, os novos cenários foram derivados usando o modelo regional Eta com 20 km de resolução espacial. Esses estudos avaliam projeções de clima até 2100, geradas pelo modelo Eta para América do Sul, com ênfase nas grandes bacias que fazem parte do sistema hidrelétrico brasileiro. Análises de extremos de chuva e temperatura têm sido usadas em estudos de avaliação de risco aos extremos climáticos que podem gerar desastres naturais na América do Sul, com ênfase no Sudeste do Brasil. Esses novos cenários do modelo Eta também indicam aumento generalizado dos eventos de precipitação intensa e seca extrema em algumas regiões, particularmente Sul e Sudeste do Brasil.

As projeções do Eta também têm sido usadas na produção de relatórios do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, do IPCC AR5 e da TCN do Brasil à UNFCCC. O INPE tem usado os modelos globais do IPCC AR5 do Japão (MIROC5) e do Reino Unido (HadGEM2 ES) para rodar o Eta 20 km para os cenários RCP 4.5 (emissões médias) e RCP 8.5 (altas emissões), até 2100. Os modelos projetam aumento de chuvas (total e extremos) na região sul e no oeste da Amazônia, assim como reduções de chuva na Amazônia de leste a nordeste, e aumentos significativos da temperatura, particularmente no Brasil tropical.

O subprojeto Recursos Hídricos foi fortemente baseado no uso de modelos de simulação para representação do ciclo hidrológico e estimativa do escoamento nas bacias hidrográficas. Os resultados obtidos, através da aplicação dos cenários climáticos gerados pelo subprojeto Cenários de Mudanças Climáticas para o Século XXI nas diversas regiões do Brasil, permitem estabelecer um quadro dos impactos nos recursos hídricos em âmbito nacional. Na bacia do Amazonas, as projeções hidrológicas baseadas na regionalização (*downscaling* dinâmico) do modelo Eta a partir dos cenários do modelo global inglês HadCM3 indicam diminuição das vazões médias mensais em bacias da Amazônia do leste e sul até o final do século. Em geral, essa tendência é mantida durante a época de cheias nas projeções baseadas nos modelos globais. No entanto, existe uma maior variabilidade no que diz respeito às vazões mínimas.

Também é possível observar variações na sazonalidade das vazões, com uma maior duração de vazões baixas e com o adiantamento, em alguns casos, do pico do hidrograma médio. As análises de vazões extremas máximas apresentam uma diminuição das vazões máximas com tempos

de retorno até dez anos, enquanto que há um incremento daquelas menos frequentes até o final do século.

Foram realizadas análises dos impactos das mudanças climáticas projetadas pelos modelos climáticos na resposta hidrológica em bacias representativas dos biomas brasileiros, assim como estudos de eventos extremos observados e de seus impactos no meio ambiente. O Modelo Hidrológico Distribuído desenvolvido no INPE (MHD-INPE) foi aplicado em bacias amazônicas, obtendo um bom desempenho na simulação do período histórico 1970-1990. No que se refere à modelagem hidrológica da bacia do rio Purus, foi feita a calibração das sub-bacias desse rio como parte da preparação dos cenários futuros a partir da inclusão, no modelo, de cenários de mudanças climáticas.

No que tange aos extremos hidrológicos, foram desenvolvidos trabalhos voltados a alerta de desastres. A partir da ocorrência de inundação catastrófica ocorrida em junho de 2010 nas bacias hidrográficas da mata sul pernambucana e agreste meridional de Pernambuco/Alagoas, foi iniciada a implantação de sistema de alerta e controle de cheias nas bacias hidrográficas dos rios Una e Sirinhaém, em Pernambuco. Visando ao controle de cheias em Pernambuco, foram ajustados modelos para simular ocorrências de cheias nas áreas mais afetadas por inundações. O relevo nos estirões dos rios e perímetros urbanos cortados por eles foi levantado a laser, o que auxilia o planejamento das intervenções a serem realizadas e os alertas para a ocorrência dos eventos extremos.

Dentre as atividades do subprojeto também consta o desenvolvimento do *software* livre TerraHidro. A ferramenta tem por objetivo o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para a obtenção e manipulação das informações geomorfológicas das bacias. O *software* provê uma rápida interface com os modelos hidrológicos, facilitando sua implementação na bacia.

Agricultura

Em cenários futuros de mudanças climáticas, o aumento da temperatura e o estresse hídrico em determinadas regiões do país são eventos esperados. Como consequência, pode haver queda da produtividade agrícola por reduções das taxas fotossintéticas e incorporação de biomassa. Para entender melhor como plantas de importância econômica responderão aos efeitos das mudanças climáticas, experimentos com diferentes cultivares

agrícolas têm sido desenvolvidos em câmaras de topo aberto em que são simuladas atmosferas com altas concentrações de gás carbônico e solos com deficiência hídrica. Estudos sobre impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola no país têm sido desenvolvidos em parceria com a Embrapa, o que possibilitou mapear possíveis mudanças na distribuição de riscos climáticos para produção, como uma forma de avaliar os possíveis cenários de segurança alimentar no futuro. Como principais resultados, pode-se dizer que: i) no setor agrícola brasileiro, 95% das perdas ocorrem em razão de inundações ou secas. Projeta-se que tais eventos ocorram com mais frequência (perdas de 5 a 6 bilhões de reais ao ano até 2025); ii) as principais perdas no ambiente rural projetadas indicam a perda de terras agricultáveis como principal fator; iii) para a agricultura, a tendência de seca pode levar a resultados negativos no âmbito da segurança alimentar, fator que acarretará fortes impactos para os agricultores familiares. Um exemplo que reflete essa preocupação é a projeção de que a mandioca pode desaparecer das regiões semiáridas do Nordeste. Projeta-se que a produção de milho também seja severamente impactada no Agreste do Nordeste; iv) algumas variedades adaptadas ao clima tropical poderão migrar para o Sul do Brasil (como é o caso da cana-de-açúcar) ou regiões mais altas, para compensar o aumento na temperatura (caso do café). Essa migração pode resultar na concorrência entre as áreas, bem como na migração do trabalho rural para regiões mais favoráveis.

Energias Renováveis

Economias emergentes como a do Brasil têm aumentado a demanda por recursos energéticos, especialmente ao longo das últimas décadas, o que causa preocupação diante dos cenários das mudanças globais apontados pelos relatórios do IPCC e do PBMC. Dentro desse contexto, o estudo de novas metodologias de levantamento dos recursos renováveis de energia assume grande importância. Esses estudos tiveram início em 2009, dentro do escopo do INCT para Mudanças Climáticas na área de energias renováveis. Os principais resultados obtidos estão relacionados à coleta de dados de superfície e modelos computacionais visando ao levantamento dos recursos renováveis de energia e aos impactos do clima sobre estes, notadamente as energias solar e eólica. Resultados deste subprojeto foram usados

na elaboração da segunda versão do Atlas de Energia Solar do Brasil, lançada em agosto de 2017.

Artigos científicos sobre possíveis impactos das mudanças de clima no potencial eólico sugerem que a produção de energia eólica pode ser favorecida pela mudança de clima, particularmente no Nordeste do Brasil, devido a um aumento projetado na velocidade dos ventos. De fato, as recentes projeções de potencial eólico derivadas da regionalização (*downscaling*) do modelo inglês HadGEM2 ES com o modelo regional Eta mostram uma tendência de aumento da velocidade do vento no litoral do Nordeste até 2100.

Biodiversidade

Os biomas Cerrado e Mata Atlântica são *hotspots* de biodiversidade - áreas de alta riqueza de espécies e níveis de endemismo, sujeitas a uma perda rápida e extensiva dos habitats. A principal motivação desse subprojeto foi avaliar os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre a distribuição dos grupos funcionais e sobre o funcionamento desses ecossistemas naturais. Foram compiladas informações secundárias e imagens de satélite para elaborar um amplo banco de dados. A base de dados de imagens e informações secundárias, a princípio para os biomas Cerrado e Mata Atlântica, foi expandida para todo o Brasil. A base de imagens está disponível, através das plataformas de pesquisa LAPIG Maps e LAPIG Database, desenvolvidas com o apoio do INCT para Mudanças Climáticas (www.lapig.iesa.ufg.br). A análise desses dados oferece informações sobre a distribuição de espécies vegetais, seus atributos funcionais e seu ambiente físico. O estudo da interação entre vegetação e funcionamento biogeoquímico dos ecossistemas permite delimitar grupos funcionais. Com isso, previsões de mudanças na composição de grupos funcionais em uma área indicariam alterações de processos ecossistêmicos. Tais informações contribuem, por meio da interação com o subprojeto sobre modelagem do INCT para Mudanças Climáticas, para caracterizar os biomas brasileiros e avaliar suas respostas às mudanças climáticas.

Durante a vigência do projeto, foram incluídas três novas linhas de pesquisa: 1. Abordagens funcionais e filogenéticas na estrutura de comunidades, que visa entender o papel de fatores históricos, condições ambientais e interações bióticas sobre os padrões de diversidade taxonômica, funcional e filogenética em comunidades de campos de altitude; 2. Conservação

da diversidade evolutiva de árvores da Mata Atlântica, que visa gerar bases para a conservação de linhagens de espécies arbóreas ocorrentes na Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro, avaliando o risco de extinção dessas espécies, utilizando-se relações espécies-área; 3. Padrões de endemismo de grupos taxonômicos selecionados no estado do Rio de Janeiro, que visa detalhar uma das regiões de maior endemismo do Domínio Atlântico, o Corredor Central da Serra do Mar, e discutir algumas possíveis causas ambientais para o padrão encontrado.

Outra ação foi a construção de banco de dados sobre estoques de carbono, nitrogênio e fósforo em solos do Brasil. No período 2013-2014, procurou-se atualizar o banco de dados de registros de ocorrência de palmeiras nativas do estado de São Paulo, com o objetivo de conhecer sua distribuição atual para posteriormente realizar exercícios de modelagem de distribuição potencial dessas espécies, considerando possíveis cenários de mudanças climáticas globais.

Saúde

As mudanças ambientais e climáticas globais, que vêm se intensificando nas últimas décadas, podem produzir impactos sobre a saúde humana por diferentes vias e intensidades. Algumas dessas mudanças, como a que resulta no aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, impactam de forma direta a saúde e o bem-estar da população. No entanto, na maior parte das vezes, esse impacto é indireto, sendo mediado por mudanças no ambiente, como a alteração de ecossistemas, na atmosfera, na biodiversidade e nos ciclos biogeoquímicos, bem como nas condições de vulnerabilidade dos territórios e populações.

Resultados publicados em parceria com a Fiocruz e o subprojeto Amazônia do INCT para Mudanças Climáticas elucidam efeitos diretos e indiretos de partículas em suspensão (aerossóis) emitidas por queimadas de florestas, tanto no clima (afetando o ciclo hidrológico) quanto na saúde da população local (aumentando a incidência de doenças respiratórias). Mais ainda, resultados obtidos em colaboração com o subprojeto sobre modelagem climática indicam que parte desse material particulado pode estar sendo transportada para as regiões Sul e Sudeste do Brasil. Estudos na Amazônia permitiram a qualificação e a quantificação do potencial risco carcinogênico oriundo dos compostos liberados pelas queimadas. Um

destaque foi para os efeitos agudos de material particulado e *black carbon* das queimadas na função respiratória de crianças (escolares) da Amazônia brasileira. Estudo sobre o dano genético do material particulado e *black carbon* na Amazônia brasileira foi o primeiro a iniciar o entendimento sobre os mecanismos de ação desses poluentes em células de humanos.

Um modelo de previsão de risco de epidemias de dengue foi utilizado durante a Copa do Mundo de Futebol de 2014. A polêmica levantada na imprensa internacional refletiu-se também em debates em revistas acadêmicas.

Alguns importantes estudos realizados foram: as relações entre a variabilidade do nível dos rios da Amazônia e a incidência de doenças de veiculação hídrica; o papel do clima e das cidades na expansão da área de transmissão de dengue; a construção de modelos preditivos de dengue para as cidades brasileiras; a ocorrência de desastres, eventos climáticos extremos e suas consequências sobre a saúde; e os impactos da poluição atmosférica gerada por queimadas no perfil de morbidade e mortalidade da população. No sítio sentinela de Manaus (AM) foi observada uma relação entre níveis extremos das águas do rio Negro e a incidência de doenças como a leptospirose, malária e diarreia.

Zonas Costeiras e Oceanos

Com o intuito de aumentar a compreensão do papel dos oceanos no clima presente e futuro, alguns estudos dedicam-se a investigar o aumento da quantidade de águas salgadas e quentes que se originam no giro do Oceano Índico Subtropical Sul (a corrente das Agulhas) e adentram o Atlântico Sudoeste (o vazamento das Agulhas). Com base em estudos preliminares que sugerem que esse aumento pode estar causando mudanças no clima regional, os pesquisadores estão agora concentrados na detecção e compreensão dos mecanismos por trás de tais mudanças. O melhor entendimento das circulações oceânicas é muito importante para uma compreensão mais abrangente acerca das mudanças climáticas futuras. Para a obtenção de dados referentes a informações oceânicas e atmosféricas, foi realizada com sucesso a implantação da plataforma de observação meteorológica e oceanográfica ATLAS-B, no litoral de Santa Catarina. Serão fornecidos dados para o entendimento das interações ar-mar e a previsão de tempo e de eventos climáticos no Atlântico Sul. Os dados coletados serão transmitidos

por satélite e disponibilizados de forma livre, em tempo real, pela Internet. Nos dois últimos anos, os trabalhos foram realizados em duas frentes: o desenvolvimento da plataforma de observação (boia Atlas-B) e o desenvolvimento de modelos numéricos. Na primeira, prosseguiu-se com a finalização e o fundeio-teste da primeira boia. Na segunda, foram realizados experimentos numéricos com modelo oceânico forçado (“*stand-alone*”) e acoplado oceano-atmosfera.

O subprojeto Zonas Costeiras foi criado para enfrentar o grande desafio de avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre o extenso litoral brasileiro, considerando as dinâmicas naturais e vulnerabilidades ecológicas e socioambientais próprias de cada região e ecossistema. Em médio e longo prazo, os resultados contribuíram para uma compreensão mais ampla e integrada do problema, em escalas locais, regionais e nacional, de modo a melhor embasar os planos de adaptação e mitigação às mudanças climáticas. O projeto produziu análises históricas e sínteses do conhecimento, realizou experimentos e elaborou modelos e cenários a partir de projeções climáticas, visando estudar os impactos das mudanças climáticas globais e regionais sobre os ecossistemas costeiros brasileiros, considerando as vulnerabilidades naturais e das populações costeiras. A questão mais evidente e importante do subprojeto, chave para o alcance dos resultados, foi a integração entre pesquisadores de diversas áreas e regiões do país. A integração culminou na criação de uma rede de monitoramento da biodiversidade bentônica (ReBentos) e um sistema observacional de parâmetros meteoceanográficos (SiMCosta).

As incertezas associadas às medições maregráficas no Brasil limitam os estudos nacionais sobre a tendência do nível médio do mar (NMM), demandando investimentos para a obtenção de séries temporais longas. A erosão costeira ocorre de modo generalizado ao longo de todo o litoral brasileiro, por causas múltiplas. Diversas são as cidades costeiras que já sofrem com problemas de erosão, drenagem e inundações, os quais serão amplificados em cenários de mudanças climáticas.

Estudos de avaliação de vulnerabilidades e de perigos costeiros têm sido realizados com relação aos possíveis impactos da elevação do nível do mar e por tempestades, sobre diferentes sistemas de praias e de dunas para o Sudeste e Sul do Brasil. A integração de metodologias e adaptação de protocolos internacionais em escalas regionais permitiram gerar prognósticos e cenários para a Ilha de Santa Catarina para os próximos 50

anos. A ocorrência de regimes de inundação e sobrelavagem tem causado diversos prejuízos às estruturas antrópicas e naturais na região estudada. No ano de 2010, os prejuízos decorrentes de eventos de alta energia já forçaram o governo municipal de Florianópolis (SC) a decretar Situação de Emergência. Esses protocolos podem ser replicados e adaptados para outras regiões do Brasil, permitindo cenários regionalizados e mais realísticos sobre os impactos de ondas de tempestades em cidades costeiras.

O Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SiMCosta) está sendo operacionalizado através de diversas parcerias regionais. O SiMCosta está implantando e operacionalizando boias meteoceanográficas robustas com sensores de última geração, monitoramento de parâmetros e informações ambientais de forma contínua ao longo do tempo, que subsidiarão estudos de impactos das mudanças climáticas ao longo da costa brasileira. Desde a sua criação em 2013 o SiMCosta equipou e fundeou sete boias em regiões estratégicas da zona costeira nos estados de RJ, SP, PR, SC e RS.

A ReBentos tem contribuído significativamente para a integração de pesquisadores de todo o país e dos diversos conhecimentos produzidos, assim como para a internacionalização da ciência ecológica marinha produzida no Brasil. Um volume especial reuniu sínteses do estado do conhecimento sobre o bentos costeiro marinho em seus diversos habitats, considerando as ameaças e vulnerabilidades desses ambientes aos efeitos das mudanças climáticas globais. Os estudos mostram que as respostas da biodiversidade marinha brasileira às mudanças climáticas são variadas, agravadas nas regiões densamente povoadas e impactadas. Os registros temporais apontam mudanças na abundância e distribuição de espécies-chave, aumento na incidência e abundância de espécies oportunistas, aumento na frequência de eventos de branqueamento e mortalidade de corais, perda de bancos de gramas marinhas e reduções de áreas ocupadas por manguezais.

Desastres Naturais

Esse subprojeto avaliou a ocorrência de desastres do tipo deslizamentos e inundações associadas a eventos de precipitação no estado de São Paulo durante os períodos de verão. Houve uma forte interação com o subprojeto Recursos Hídricos para atividades de modelagem hidrológica em estudos preditivos da ocorrência de enxurradas. Destaca-se que as pesquisas realizadas por esse subprojeto foram centrais para a criação de um centro

nacional de pesquisas, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), o mais novo instituto do MCTIC. Essa ação é um exemplo da tradução dos resultados de pesquisa do INCT para Mudanças Climáticas em políticas públicas de diminuição das vulnerabilidades da população brasileira aos desastres naturais causados por extremos hidrometeorológicos e climáticos.

Com a criação do CEMADEN, foi possível desenvolver e implementar um sistema semiautomático de previsões e informações hidrometeorológicas e ambientais em apoio ao processo de tomada de decisões para o gerenciamento de desastres naturais provocados por condições hidrometeorológicas e climáticas extremas. Esse sistema está permitindo pioneiramente no país que tomadores de decisão avaliem o impacto dos desastres sobre os sistemas sociais, econômicos e ambientais para subsidiar ações preventivas antecipadas. Essa plataforma, denominada Sistema de Alerta e Visualização de Condições de Risco (SALVAR), possibilita integrar, visualizar e manipular diversas informações em um único ambiente (dados pluviométricos, hidrológicos, meteorológicos, geotécnicos, descargas elétricas e alertas de descargas elétricas, informações socioeconômicas, etc.) para melhorias na interface visual, mineração de redes sociais e futura emissão de alertas automáticos de desastres naturais.

O SALVAR utiliza avançada estrutura de bibliotecas geoespaciais e de programas desenvolvidos especificamente para visualizar e integrar dados, a qual está sendo utilizada para monitorar e acompanhar condições de risco de desastres em diferentes localidades. Por exemplo, foi realizada avaliação de um modelo de produtividade (milho e sorgo) utilizando o modelo de estimativa de água no solo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE e informações para estimativa de perda de rendimento de culturas, para algumas localidades da região Nordeste do Brasil. Esse estudo constituiu parte inicial do desenvolvimento de um sistema de alerta baseado nas informações do modelo, que possa prever a possibilidade de ocorrência de colapso de safra agrícola de subsistência do semiárido do Nordeste usando informações em tempo real, e que possa subsidiar um melhor planejamento de ações de mitigação dos impactos das secas.

Urbanização e Megacidades

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a chuva total está aumentando desde 1961, e esse aumento aparentemente corresponde a um aumento na frequência de dias chuvosos e muito chuvosos na região. A duração de períodos secos também está aumentando na região. Ou seja: chuvas estão ficando mais irregulares, com eventos de chuvas muito intensas concentrados em poucos dias e separados por períodos secos muito quentes. O calor mais intenso pode aumentar a evaporação, o déficit hídrico e episódios de poluição do ar. As projeções apontam para uma situação similar, porém mais intensa, no decorrer do século XXI. Projeções mostram um aumento dos riscos de desastres naturais atingindo cada vez mais a população da RMSP, principalmente os indivíduos mais vulneráveis. Os resultados do estudo da RMSP apontaram que os riscos de enchentes, inundações e de deslizamento de terra irão aumentar. Uma questão que traz ainda mais cautela é o impacto dessas ocorrências na população, uma vez que a mancha urbana deverá aumentar, até 2030. Assim, o risco de desastres poderá atingir cada vez mais a população como um todo e, sobretudo, os mais pobres.

Uma questão importante que se coloca para as metrópoles brasileiras é se estão preparadas para enfrentar os impactos das mudanças climáticas. Durante os anos de 2008 a 2011, buscou-se lançar alguma luz sobre esse tema por meio de um estudo interdisciplinar cujo objetivo foi identificar as vulnerabilidades das duas principais megacidades brasileiras: as regiões metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro (RMRJ). No que diz respeito à RMSP, os estudos mostram que, em decorrência da expansão urbana, houve aumento de mais de 3°C nos últimos 80 anos no centro da cidade, e ocorrência duas a três vezes maior de fenômenos de chuvas intensas. Esse cenário se torna mais preocupante quando confrontado com projeções que indicam que, caso o padrão de expansão da RMSP seja mantido conforme registros históricos, em 2030 a mancha urbana será aproximadamente 38% maior do que a atual. Em segundo lugar, há interação desses riscos de origem local com o fenômeno de aquecimento da atmosfera em escala global.

Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), os potenciais impactos das mudanças climáticas também são diversos. A elevação do nível médio do mar, associada ao aumento de fenômenos climáticos extremos (chuvas e secas) e ao aumento dos ventos, indica que haverá uma mudança

na linha da costa por meio da intensificação dos processos de erosão costeira, e que as construções próximas à costa sofrerão com isso. Mais ainda, a elevação do nível médio do mar irá diminuir a facilidade do escoamento da água dos rios e esgotos para o oceano, o que aumentará o risco de enchentes – potencializadas por dias com chuvas mais intensas, que se tornarão mais frequentes. A água salgada também tenderá a invadir os estuários, afetando a biodiversidade local, e os manguezais sofrerão retração para áreas mais altas, onde as condições de salinidade em que eles ocorrem atualmente serão encontradas. Entretanto, a expansão urbana desordenada, estendendo-se para as regiões que os manguezais poderiam ocupar, impedirá a migração dos mesmos, e acentuará o desaparecimento desses ecossistemas costeiros. Como os manguezais funcionam como área de abrigo, reprodução, desenvolvimento e alimentação de espécies marinhas, estuarinas, límnicas e terrestres – várias delas de interesse comercial –, os efeitos de uma potencial redução na área de manguezais podem ser bem mais drásticos do que se projetava a partir somente da ação da expansão urbana descontrolada. Em adição aos efeitos descritos acima, haverá ainda o aumento nos riscos de doenças como dengue e leptospirose, decorrentes do efeito conjunto da má gestão do lixo, aumento na frequência de chuvas e alagamentos e saúde pública e saneamento ambiental precários.

Em suma, a mudança climática por causas locais nas megacidades de São Paulo e Rio de Janeiro nos últimos 100 anos tem alterado drasticamente as condições ambientais e em parte explica o número crescente de catástrofes naturais. Esse subprojeto desenvolveu uma análise profunda das respostas sociais, econômicas e políticas da cidade para a mudança climática atual, a fim de compreender os fatores determinantes para a adaptação. Assim, foi possível avançar em termos de criação de uma metodologia para integração de dados de percepção social e dados físicos relativos à delimitação de áreas e populações vulneráveis aos efeitos a variações climáticas. Esses procedimentos poderão vir a ser utilizados em outras realidades urbanas do país.

As avaliações realizadas pelo subprojeto forneceram a base a partir da qual foi possível identificar e priorizar um conjunto de investimentos de adaptação ao clima e intervenções estratégicas de fortalecimento institucional que podem ser vinculados ou incorporados às prioridades existentes, planos setoriais e instrumentos de planejamento. Os temas de planejamento que criam as bases para uma estratégia de adaptação às mudanças climáticas locais, regionais e globais afetando grandes cidades, visando

auxiliar a construção de sua resiliência contra inundações e deslizamentos de terra, agora e no futuro, são: (i) integração horizontal e vertical das práticas de gestão de riscos; (ii) mecanismos de coleta de dados, armazenamento e disseminação a serem criados e/ou melhorados para um melhor monitoramento do clima, planejamento de risco e partilha de informação; (iii) melhoria dos mecanismos de seguro e financiamento climático para a recuperação em longo prazo e construção da resiliência contra inundações e deslizamentos de terra; e (iv) mudança de gestão de desastres para a redução de risco de longo prazo e adaptação às mudanças climáticas para garantir um sistema proativo e voltado para o futuro da governança de risco.

Economia das Mudanças Climáticas

Os estudos realizados sugerem que as mudanças climáticas terão efeitos negativos sobre o crescimento do país e o bem-estar humano, embora alguns setores e regiões possam ser positivamente afetados. Além disso, uma questão a ser seriamente considerada é que as mudanças climáticas reforçarão as desigualdades econômicas regionais no Brasil, isto é, aqueles em situação de vulnerabilidade social e financeira sofrerão mais. O quadro se torna ainda mais preocupante no contexto dos estudos da influência do clima sobre a transmissão de doenças e outros problemas de saúde humana. Assim, as mudanças climáticas devem ser analisadas em conjunto à globalização (aumento das conexões entre as pessoas no comércio e na informação), às mudanças ambientais (degradação dos ecossistemas, redução da biodiversidade e acúmulo de substâncias tóxicas no meio ambiente) e ao enfraquecimento de sistemas de governança (via redução de investimentos na saúde, aumento da dependência com relação aos mercados e aumento das desigualdades sociais), uma vez que todos esses fatores interagem fortemente e de forma complexa.

Um cálculo para impactos econômicos de eventos extremos na RMSP mostrou que uma inundação severa na cidade de São Paulo, como a observada em 2008, representaria perdas totais de R\$ 1,4 bilhão de reais, com 68% desse efeito no município e 32% no restante do país. Com o espriamento dos efeitos pelas longas cadeias de produção e renda, o prejuízo se elevaria a mais R\$ 762 milhões em escala nacional. Assim, as enchentes contribuem para reduzir o crescimento da cidade e o bem-estar da população. A seca de 2014-15 em São Paulo teve um custo aproximado de US\$ 5 bilhões.

A política brasileira restritiva ao desmatamento na Amazônia e nos Cerrados, capaz de evitar a perda de 68 milhões de hectares de florestas e cerrados até 2050, deve gerar perdas econômicas pouco significativas, de até 0,15% no PIB. A produção agropecuária sofreria perdas de até 1,9% na produção e de 4% nas exportações. Esses resultados sugerem custos econômicos pouco expressivos diante dos potenciais benefícios de preservação ambiental, e devem-se em grande parte à capacidade de aumento em produtividade das pastagens brasileiras e conversão de áreas de vegetação secundária e subaproveitadas em cultivos agrícolas.

No caso brasileiro, os estudos apontam que metas ambiciosas de redução de emissões por meio de políticas de taxaço de carbono devem estar associadas a períodos mais longos de tempo; e metas menos ambiciosas, a períodos mais curtos, devido à própria estrutura atual da matriz energética brasileira, intensiva em fontes mais “limpas”. Os resultados apontados pela política de melhoria da eficiência energética, por seu turno, são promissores. Com a elevação da eficiência energética, a economia passa a crescer mais, reduzindo suas emissões de gases de efeito estufa (GEE), mesmo considerando alguns de seus custos. Em resumo, a política de mitigação, com a redução de emissões no Brasil, pode ser atingida com pequenos custos em termos de perda de atividade econômica, embora metas mais ambiciosas tenham que ser adotadas a longo prazo.

Ciência, Tecnologia e Políticas Públicas

Esse subprojeto explorou o papel da ciência e de “*policy networks*” (redes de atores políticos) em políticas públicas de mudanças climáticas no Brasil, por meio de uma variedade de métodos quantitativos e qualitativos. Foi analisado o conteúdo relacionado às mudanças climáticas publicado em quatro grandes jornais nacionais, de 2002 a 2012, com destaque para os anos de 2007, 2008 e 2011. Além disso, foram realizadas entrevistas e enquetes, ambas explorando as ações e as posições de atores-chave nas discussões nacionais de políticas públicas do clima.

Como resultado, o projeto identificou os atores e os debates mais centrais nas discussões nacionais sobre as mudanças climáticas. O estudo identificou um desajuste profundo entre a causa principal das emissões nacionais de gases de efeito estufa e as principais causas e soluções em foco em debates públicos e, portanto, em processos de tomada de decisão.

As emissões nacionais provêm centralmente do uso da terra e têm forte conexão com a produção de carne. Embora a ciência se concentre cada vez mais nos impactos ambientais negativos do alto nível de produção e consumo de carne em nível internacional, esse conhecimento crítico quase não se transmite para o público brasileiro pelos grandes jornais impressos estudados. O subprojeto identificou duas tendências que se destacam em comparação com experiências internacionais: um forte foco em processos de decisão em nível internacional e uma relutância em vincular eventos de desastres naturais à mudança climática antrópica, em contraste com as tendências observadas em outros países, como por exemplo, os Estados Unidos.

O tabu nacional quanto ao assunto da carne nas mídias nacionais destaca a necessidade de novas instituições para incentivar discussões e ações para a sustentabilidade ambiental, especialmente em áreas onde há fortes interesses econômicos, políticos e culturais contra uma mudança do *status quo*. A inovação institucional necessária tem que incluir mudança na economia política dos meios de comunicação.

Emissões de Lagos e Reservatórios

Foram realizados experimentos com o objetivo de simular a dinâmica e as emissões de carbono em ambientes aquáticos e avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre as emissões de carbono. Foram estudados os reservatórios hidrelétricos de Itumbiara (GO), no bioma Cerrado, e Tucuruí (PA), no bioma Amazônia.

A ocorrência de frentes frias sobre o reservatório de Itumbiara (GO) impacta significativamente a circulação e mistura vertical da coluna d'água, e é responsável por intensificar o processo de resfriamento diferencial, gerando correntes de densidade que exportam água da região litoral (oxigenada e rica em nutrientes) para a zona pelágica. Esses podem ser processos-chave que controlam a evasão de carbono em reservatórios sujeitos à passagem de frentes frias. Adicionalmente, os resultados obtidos nesse estudo indicam que as mudanças potenciais na atividade de frentes frias sobre a América do Sul, devido à variabilidade do clima, podem levar a uma significativa alteração das emissões de carbono por esses sistemas aquáticos.

No reservatório de Funil (RJ), foram desenvolvidos estudos na área de bio-óptica, que tiveram como objetivo: quantificar a concentração de Clorofila-a no reservatório através de algoritmos e modelagem bio-óptica; e

identificar a floração de algas, principalmente cianobactérias (Ficocianina) utilizando modelagem bio-óptica e dados de sensoriamento remoto. Os resultados são importantes, pois sabe-se que o crescimento dessas algas tem um impacto na saúde das pessoas e animais que vivem nas margens desses corpos d'água, podendo ser fatal. A floração de algas e as alterações no índice trófico nos reservatórios são de grande importância para a dinâmica do carbono nesses ambientes.

REDD

O Brasil consolidou sua posição de líder mundial nos esforços de redução das emissões de gases de efeito estufa oriundas do desmatamento. Desde 2005, mais de 3,2 bilhões de toneladas de gás carbônico deixaram de ser emitidas para a atmosfera por conta da redução da destruição e queima da Floresta Amazônica. Como consequência desse desempenho, o Brasil avançou no debate sobre o mecanismo de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD). Previsto no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, o REDD poderá compensar aqueles países que, como o Brasil, empreenderem esforços de redução de emissões de desmatamento. Com o apoio do INCT para Mudanças Climáticas, esse subprojeto auxiliou o governo brasileiro, os estados amazônicos (Acre, Mato Grosso e Pará) e a sociedade (Observatório do REDD) no debate e na construção da Estratégia Nacional de REDD+ (ENREDD).

Os resultados obtidos com apoio do INCT para Mudanças Climáticas foram importantes na construção dos critérios para a implementação e operacionalização da ENREDD, sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente. Vários resultados desse subprojeto serviram como fonte de informações para qualificar melhor o debate de políticas públicas no país sobre ENREDD. Destaca-se igualmente que o subprojeto pioneiramente trouxe uma visão indígena mais aprofundada sobre a repartição de benefícios de REDD entre os povos indígenas da Amazônia brasileira.

Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre - BESM

Vários grupos de pesquisa brasileiros, coordenados pelo INPE, trabalham em um projeto multi-institucional para o desenvolvimento do Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (BESM - Brazilian Earth System Model), que incorpora vários submodelos (componentes da vegetação e de processos da terra, química da atmosfera e aerossóis, gelo marinho, biogeoquímica e vazão dos rios) ao Modelo Geral de Circulação Acoplado Oceano-Atmosfera do INPE. O BESM constitui-se, de fato, em um modelo de desenvolvimento comunitário nacional com suporte internacional. Por sua natureza transversal aos demais projetos de pesquisa relativos às mudanças climáticas, a construção do BESM é elemento fundamental para os projetos voltados desde à detecção e atribuição, até aos impactos das mudanças climáticas globais e suas medidas de mitigação e adaptação. Dentre suas mais relevantes conquistas estão a participação pioneira do Brasil como nação contribuinte para os cenários globais de mudanças climáticas do projeto de intercomparação de modelos climáticos globais do IPCC (CMIP-5), que foi a base para a elaboração de cenários futuros e estudos de impactos e mitigação do IPCC AR5.

Em 2014 foi gerada a segunda versão do BESM-OA2.5, baseada no acoplamento da versão 4.0 do modelo atmosférico global do CPTEC com microfísica de nuvens e nova parametrização de fluxos na camada limite planetária atmosférica, ao modelo oceânico global do GFDL (MOM4 versão p1). Foram gerados novos cenários de mudanças climáticas para os perfis de forçante radiativa RCP 8.5 e 4.5 (para o período 2005-2105), além dos experimentos piControl (800 anos), Abrupt4xCO2 (650 anos) e historical (1850-2017) do programa CMIP-5.

Ainda, o INCT para Mudanças Climáticas contribuiu para o desenvolvimento da ferramenta FRE (FMS runtime environment) de geração de experimentos numéricos e validação dos resultados do modelo BESM no sistema de supercomputação do INPE, além do desenvolvimento de modelo 1-D da física atmosférica do modelo BAM e a inclusão dos efeitos de marés nas simulações climáticas do BESM.

Os esforços brasileiros de pesquisa em modelagem do sistema climático global também incluem uma colaboração científica com um centro britânico de modelagem do clima, o Hadley Centre for Climate Prediction do UK Met Office. O algoritmo de elevação de pluma térmica, criado no INPE,

foi implementado no modelo HadGEM2-ES (Modelo Ambiental Global do Hadley Center – Sistema Terrestre-Hadley Centre Global Environmental Model versão 2 - Earth System), que está entre os mais sofisticados à disposição hoje em dia. Um projeto conjunto para o desenvolvimento e a implementação de um modelo de incêndio florestal no âmbito do HadGEM2-ES, que envolve a participação de pesquisadores do INPE membros do INCT para Mudanças Climáticas, está também em andamento. A nova versão do modelo foi denominada HadGEM2-ES/INPE. O desenvolvimento do HadGEM2-ES/INPE passou pelas fases de planejamento, implementação do modelo de pluma térmica e desenvolvimento e validação do modelo de fogo.

Tecnologias Observacionais para as Mudanças Climáticas

Considerando a estreita relação entre os recursos naturais e mudanças climáticas/ambientais, é crescente o interesse, para os setores acadêmicos, empresariais, ambientais e de política pública, no desenvolvimento de novas tecnologias que possam atuar tanto como sensores como em processos de limpeza de água, bem como as que permitem realizar observações de longo prazo de baixo custo. No âmbito desse subprojeto foram desenvolvidos eletrodos de diamante micro/nanocristalinos modificados ou não aplicados em escala de laboratório, como sensores de fenol, sensores de metal pesado (cádmio e chumbo), remoção de poluentes orgânicos, como pesticidas e corantes, e remoção de nitrato em reatores eletroquímicos.

Também foi desenvolvido um sistema de amostragem de gases e aerossóis utilizando tubos de adsorção. Entre os destaques principais, temos: degradação eletroquímica de pesticida à base de carbofurano utilizando reator de fluxo com quatro eletrodos de diamante dopados; detecção de cádmio em água com limites inferiores a 1 ppb; detecção de chumbo em água com limite de 1 ppb; implantação de rede de observação de espécies de nitrogênio. Os resultados mais importantes incluem: remoção de mais de 90% do carbono orgânico total na degradação de corante em célula eletroquímica; remoção de mais de 90% do carbono orgânico total na degradação de pesticida em reator eletroquímico de fluxo; obtenção de um Limite de Detecção para Cádmio menor que 1 ppb utilizando eletrodos de nanodiamante dopados (limite água potável Ministério da Saúde até 5 ppb); obtenção de um Limite de Detecção para Chumbo de 1 ppb utilizando eletrodos de nanodiamante dopados (limite água potável Ministério da Saúde até 10 ppb); rede de observação de N-reativo implantada no estado de São Paulo.

Temas Integradores

Conforme já mencionado, desde a sua criação, o INCT para Mudanças Climáticas buscou constituir e consolidar uma ampla rede de pesquisas (junto com a Rede Clima) que abarcasse o tema das mudanças climáticas em toda a sua extensão e complexidade, também enfocando áreas menos desenvolvidas, como aquela de impactos e adaptação. Assim, em um primeiro momento, fez sentido nessa abordagem horizontal, cobrir todos os temas de destaque em um grande número de subprojetos.

Cumprida satisfatoriamente a meta de formar grupos de pesquisa em todo o país, de forma bastante articulada e transversal, numa segunda fase, a partir de 2015, o INCT buscou concentrar-se em temas integradores que pudessem responder mais diretamente ao conhecimento necessário para subsidiar políticas públicas, com base no grande cabedal de conhecimentos gerados na fase inicial de seis anos.

Foram definidos 13 temas integradores, cada um deles norteado pelas prioridades de conhecimento necessárias ao subsídio científico de políticas públicas do país. Os temas integradores refletem o grande desafio de avaliar os impactos das mudanças climáticas em setores-chave: produção de alimentos e segurança alimentar; geração de energia e segurança energética; recursos hídricos e segurança hídrica; aspectos de saúde e vulnerabilidade da população; impactos das mudanças climáticas e os extremos climáticos nos grandes biomas do Brasil e os seus impactos nos serviços ecossistêmicos; as grandes cidades e os riscos associados à vulnerabilidade das populações mais pobres em áreas mais expostas e vulneráveis aos extremos de tempo e clima e aos desastres naturais resultantes; e o desenvolvimento de cenários de clima futuro no Brasil derivados de complexos modelos globais e regionais do sistema terrestre para estudos de impactos, vulnerabilidade e adaptação.

Os temas integradores dessa fase do INCT para Mudanças Climáticas estão relacionados a seguir. Destaca-se que eles conduzem harmoniosamente à continuidade dos trabalhos de pesquisa, no projeto aprovado na segunda fase do programa INCTs no país, o INCT para Mudanças Climáticas Fase 2, iniciado em 2017.

Tema 1– Observações e Atribuição de Causas da Variabilidade e Extremos Climáticos
Tema 2 – Segurança Alimentar
Tema 3 – Segurança Hídrica
Tema 4 – Segurança Energética
Tema 5 – Saúde
Tema 6 – Biodiversidade
Tema 7– Desastres Naturais
Tema 8 – Gases de Efeito Estufa
Tema 9 – Dimensões Humanas e Econômicas das Mudanças Climáticas
Tema 10 – Zonas Costeiras
Tema 11 – Amazônia e REDD
Tema 12 – Modelagem do Sistema Terrestre
Tema 13 – Cenários Climáticos para Estudos de Impactos-Vulnerabilidade-Adaptação (IVA)

Uma síntese de resultados científicos e avanços institucionais de cada tema abordado é apresentada a seguir.

Tema 1 - Observações e Atribuição de Causas da Variabilidade e Extremos Climáticos

Embora o tema mudanças climáticas seja interdisciplinar, os estudos envolvendo dados observacionais e simulações numéricas dentro da pesquisa do INCT Mudanças Climáticas têm foco nas variações atmosféricas e suas prováveis causas. No entanto, estudos relacionados à interação oceano-atmosfera também têm sido realizados, destacando-se a importância do desenvolvimento ciclogênico² na costa brasileira, e de sua influência na variabilidade dos ciclones extratropicais no clima presente e futuro. Estudos considerando cenários climáticos futuros foram feitos através de modelagem numérica. Outro destaque que se faz é com relação à importância das descargas elétricas nas grandes cidades, particularmente sobre São Paulo. Estudos recentes têm mostrado que há uma relação importante entre anomalias positivas de Temperatura da Superfície do Mar no Oceano Atlântico Sul (TSM/OAS) e eventos La Niña no Oceano Pacífico Central e

2 Desenvolvimento de distúrbios atmosféricos ciclônicos, normalmente associados também à produção de chuvas e contrastes de temperatura e umidade.

Leste, e a quantidade de dias com descargas elétricas. Dessa forma, assumindo que haja um aumento da TSM/OAS num cenário de aquecimento global, deverá haver também um aumento na atividade de tempestades elétricas na Região Metropolitana de São Paulo.

Na Amazônia, nos últimos 12 anos, têm ocorrido as mais intensas secas e inundações na história recente da região desde o início do século XX, e a probabilidade dessa situação continuar no futuro é alta, mesmo considerando as várias incertezas das projeções climáticas. Os níveis dos rios são, talvez, a melhor maneira de avaliar riscos climáticos na bacia, particularmente as secas e inundações. Populações vulneráveis que vivem nas margens dos principais rios amazônicos estão entre as mais afetadas por esses eventos extremos; mas os ecossistemas naturais da região são também afetados. É provável que essa sequência de extremos de secas e inundações observada na Amazônia desde 2005 seja não somente uma amostra do que o aquecimento global trará para a região no futuro, mas também, pelo menos em parte, atribuída às mudanças climáticas antropogênicas.

Os resultados descritos sugerem de forma clara a importante relação entre o monitoramento e a previsão climática, além da divulgação desses produtos para os vários níveis de usuários, que vão desde pequenos agricultores e pessoas vulneráveis até os formuladores de políticas públicas. A utilização de produtos de previsão permite aos tomadores de decisão planejar possíveis estratégias de adaptação. Políticas públicas adequadas na Amazônia devem ajudar as populações a lidar com os extremos da variabilidade climática, sobretudo diante de uma perspectiva de ocorrência mais frequente e intensa de extremos num futuro cenário de mudanças climáticas.

Tema 2 – Segurança Alimentar

O Brasil realizou grandes avanços na governança da segurança alimentar e nutricional ao longo da última década. Avanços significativos na diminuição da pobreza e da fome demonstram o êxito dessa abordagem intersetorial, participativa e bem coordenada. O Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional, desenvolvido com a participação da sociedade civil, está vinculado ao orçamento federal e a um sistema bem estruturado de monitoramento multidimensional da segurança alimentar e nutricional. O Plano Brasil Sem Miséria, fundamentado em todos esses

pontos, visou alcançar populações vulneráveis e investe na primeira infância – ações prioritárias que vislumbram o futuro.

Nesse sentido, considerando os resultados do subprojeto Agricultura do INCT para Mudanças Climáticas e as novas pesquisas desenvolvidas nesse setor nos últimos anos, podemos dizer que as mudanças climáticas representam um imenso desafio à produção e à disponibilidade de alimentos, em cenários onde a disponibilidade de recursos naturais (como água e solo) e a geração de energia também são ameaçadas. Outro aspecto que ameaça seriamente a segurança hídrica, alimentar e energética no Brasil e no mundo é o crescimento populacional. Estimativas apontam para uma população não inferior a 9 bilhões de pessoas no mundo até 2050, sendo que 6 bilhões estarão vivendo em cidades e apenas 3 bilhões no campo.

Buscando fornecer subsídios para garantir a estabilidade e o aumento da produtividade e da produção de alimentos no Brasil e no mundo, as pesquisas atuais em segurança alimentar no país têm como foco soluções que visam intensificar a produção agrícola de forma sustentável e totalmente integrada à manutenção e bom uso dos recursos hídricos e à geração de energia, diante deste cenário de aquecimento global e mudanças climáticas. Muitos são os problemas enfrentados pela agricultura no Brasil e no mundo, principalmente por agricultores familiares, especialmente aqueles relacionados à pobreza e seus efeitos. As atuais vulnerabilidades sociais dessas populações tendem a aumentar com os impactos provocados pelas mudanças climáticas.

Assim, uma compreensão abrangente dos principais fatores sociais, ambientais e econômicos que prejudicam a vida dos agricultores, em especial dos agricultores familiares, é importante para que medidas sejam tomadas a fim de aumentar a sua resiliência. Uma das principais culturas de cultivo do agronegócio, a soja, é também uma das que devem ser mais afetadas pelas mudanças climáticas nas próximas décadas. A soja é altamente vulnerável à elevação de temperatura, e a sua plantação no nordeste do bioma Cerrado deve ser altamente impactada. Dado que a soja é atualmente o principal produto agrícola do Brasil, essas perdas representam metade de todas as perdas agrícolas projetadas para o país (Margulis et al., 2010). A diminuição na disponibilidade de terras para a produção de soja pode intensificar a expansão do agronegócio para terras atualmente ocupadas por pequenos agricultores. Métodos insustentáveis de uso da terra, tais como o plantio repetido de culturas comerciais no mesmo pedaço de terra, irrigação excessiva – que pode causar salinização –, pastoreio excessivo por gado,

eliminação inadequada de resíduos, são atribuídos à falta de educação básica e de conhecimento técnico, que pode levar à degradação ambiental, afetando, sobretudo, os pobres ou pequenos agricultores. Em resumo, atingir as metas de emissão do Brasil em 2030 e além requer uma agricultura neutra em carbono e resiliente às mudanças climáticas. Esse modelo de agricultura sustentável se assenta em conhecimentos científicos muitos deles ainda em fase de desenvolvimento, mas que devem alavancar um novo paradigma de agricultura tropical protagonizado pelo Brasil.

Tema 3 – Segurança Hídrica

Os estudos dos grupos de pesquisa atuantes no INCT para Mudanças Climáticas propiciaram importantes avanços no tema das mudanças climáticas e recursos hídricos. Estudos de impactos foram desenvolvidos em grandes e médias bacias hidrográficas da Amazônia, Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil. O uso de modelagem hidrológica para determinação da anomalia da vazão nos cenários do IPCC foi consolidado ao longo do período de execução do projeto. Como fruto dessa metodologia, tem-se a avaliação dos cenários sobre a geração de energia hidrelétrica em bacias da Amazônia e na bacia do Prata. Os eventos de cheia e seca ocorridos nos últimos 20 anos na Amazônia e no Nordeste foram analisados no sentido de auxiliar o entendimento dos fatores climáticos intervenientes sobre a hidrologia dessas regiões. Ações de adaptação às mudanças do clima são apresentadas em trabalhos que avaliaram medidas de enfrentamento ao evento de seca iniciado em 2012 no Nordeste e que continua até 2017, como o uso das cisternas para captação de água da chuva e tecnologia para tratamento de efluentes. Há convergência entre vários cenários de mudanças climáticas futuras de que haverá menor disponibilidade hídrica em grande parte do Nordeste, uma das regiões mais vulneráveis do país com respeito à produção de alimentos e ao abastecimento humano e de animais.

Destaca-se que a grande maioria das projeções de mudanças nos padrões regionais de chuvas para a porção tropical da América do Sul sinaliza para sensível diminuição do potencial hidráulico para as bacias hidrográficas do sul e sudeste da Amazônia, exatamente onde se concentram planos de expansão da capacidade de geração de energia. A seca de 2014 e 2015 na região Sudeste demonstrou cabalmente que esta região úmida pode ser tão vulnerável aos extremos climáticos como o semiárido do Nordeste, devido

à numerosa e concentrada população em críticas bacias hidrográficas como aquelas da Região Metropolitana de São Paulo. Ainda que estudos de atribuição de causa não indiquem o aquecimento global como o principal fator deflagrador daquela seca histórica no Sudeste, é inegável que o aquecimento do continente e dos oceanos adjacentes — atribuído ao aquecimento global — foi um dos fatores que tornaram o impacto da seca meteorológica ainda mais intenso, ao acentuar as perdas por evaporação em função da mais elevada temperatura da superfície devido ao aquecimento global.

Tema 4 – Segurança Energética

Os estudos realizados dentro do escopo do INCT para Mudanças Climáticas na área da segurança energética foram pioneiros, mas não esgotam de forma alguma a demanda de conhecimento. As pesquisas reforçam a necessidade de buscar informações que transcendem o levantamento dos potenciais teóricos de geração solar e eólica, cuja metodologia foi firmemente estabelecida dentro desse escopo. Fontes de energia intermitente e não despacháveis estão fortemente atreladas a fatores meteorológicos e climáticos que demandam uma ciência bastante interdisciplinar, envolvendo estudos de variabilidade, complementaridade e até mesmo de possibilidades de cogeração com várias fontes despacháveis de energia, com o fim de estabelecer um equilíbrio dinâmico entre a oferta e a demanda de energia na rede. Isso sem mencionar os aspectos socioeconômicos envolvidos. Dentro dessa perspectiva, a continuidade das pesquisas deve buscar não somente levantar os potenciais reais de geração solar e eólica e de redução de incertezas, como também definir parâmetros que possibilitem uma maior penetração das tecnologias de geração solar e eólica, buscando informação e gerando cenários de expansão das várias tecnologias em função das características locais, tais como rede de distribuição, microclima, demanda e oferta, custo, opções de complementaridade, entre outras. A busca de diversificação das fontes de energia no país para formas renováveis como eólica e solar torna-se ainda mais crítica quando se tem em mente os compromissos do Acordo de Paris (COP21) de descarbonização dos sistemas de energia, por um lado, e das projeções de diminuição do potencial de geração hidrelétrica na Amazônia brasileira, na bacia do rio São Francisco, não compensada por eventuais aumentos da capacidade de geração em outras bacias. Ainda que iniciais, os estudos do INCT para Mudanças Climáticas mostraram menor

alteração do potencial de energia eólica e solar devido às mudanças climáticas. Adicionalmente, deve-se apontar o nexo entre seguranças alimentar, hídrica e energética, todas disputando em alguma medida os mesmos recursos naturais. O conhecimento científico deve buscar garantir essas três seguranças essenciais ao bem-estar humano, com menor impacto ambiental.

Tema 5 – Saúde

Em relação à saúde humana, as mudanças climáticas podem produzir impactos diretos, indiretos e aqueles gerados socialmente em resposta às alterações climáticas. Os impactos indiretos são, de maneira geral, mediados por mudanças no ambiente, como a alteração de ecossistemas e de ciclos biogeoquímicos, que pode modificar a distribuição de doenças vetoriais, de veiculação hídrica e as associadas ao aumento da poluição do ar. Apesar de didaticamente classificados, os impactos das alterações climáticas na saúde humana são complexos e, muitas vezes, multifatoriais e não lineares. Portanto, poderão ser potencializados ou minimizados em função das características dos determinantes individuais e coletivos inerentes a uma determinada organização social e de suas inter-relações.

As parcerias científicas com instituições nacionais e internacionais foram ampliadas ao longo do desenvolvimento do projeto, permitindo avanços nas projeções de doenças vetoriais e as não transmissíveis, considerando os cenários climáticos até o final do século XXI. Em síntese, os estudos sobre mudanças climáticas e saúde englobaram estudos básicos, identificação de relações causais, análise de risco, construção de modelos preditivos; avaliação da vulnerabilidade e a estruturação do Observatório de Clima e Saúde. Ao longo do desenvolvimento do projeto foi possível ampliar o entendimento das relações clima-saúde e construir uma massa crítica e uma produção científica abordando as questões de vulnerabilidade, risco e impactos das mudanças climáticas à saúde humana.

Além das pesquisas desenvolvidas, o projeto construiu uma integração com universidades locais da região Centro-Oeste e Norte, que incentivou estudantes de graduação a realizarem seus estudos de mestrado e, conseqüentemente, de doutorado na Fiocruz, nas unidades do Instituto de Informação e Comunicação em Saúde (ICICT) e da Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP), com a temática de mudanças climáticas e saúde. A formação de recursos humanos foi um ponto de destaque do subprojeto.

Tema 6 – Biodiversidade

A mudança climática induzida pelo homem pode resultar em alterações na distribuição de espécies, bem como em extinções locais, principalmente em ecossistemas vulneráveis e fragmentados. Temperatura e precipitação desempenham papéis majoritários e determinam onde espécies de plantas e animais podem viver, crescer e se reproduzir. As mudanças climáticas, ao alterarem a distribuição e o funcionamento de ecossistemas, consequentemente afetam os ciclos biogeoquímicos. Essas mudanças podem ser de magnitude tal que afetem a capacidade dos ecossistemas em prestar serviços ecossistêmicos fundamentais ao bem-estar humano. O Brasil, como um país megadiverso, enfrenta o desafio científico e de gestão de projetar como as mudanças climáticas afetam e afetarão nossos principais biomas. O tema de Biodiversidade e Ciclos Biogeoquímicos no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas avaliou a ciclagem biogeoquímica em diversos sistemas, terrestres e aquáticos, dos biomas brasileiros, em face das mudanças climáticas projetadas. Adicionalmente, para os biomas Cerrado e Mata Atlântica, avaliou-se a distribuição dos grupos funcionais de plantas e o funcionamento fenológico desses biomas como potenciais indicadores de respostas desses biomas às alterações ambientais. Os resultados obtidos permitiram gerar uma síntese sobre o funcionamento biogeoquímico dos biomas brasileiros e bases de dados de atributos funcionais e de imagens e informações secundárias, a princípio para os biomas Cerrado e Mata Atlântica, e que foram posteriormente expandidas para todo o Brasil.

Tema 7– Desastres Naturais

No Brasil, considerando que os fenômenos climáticos extremos deflagradores de desastres naturais já estão se tornando mais frequentes e intensos, e que essa tendência se acentuará com as projetadas mudanças climáticas, propôs-se, no escopo do INCT para Mudanças Climáticas, desenvolver, implementar, testar e validar duas aplicações de um sistema semiautomático de previsões e informações hidrometeorológicas e ambientais, em apoio ao processo de tomada de decisões para o gerenciamento de desastres naturais provocados por condições hidrometeorológicas e climáticas extremas. O sistema, de concepção interdisciplinar, deveria permitir que tomadores de decisão avaliassem o impacto dos desastres sobre os sistemas sociais, econômicos e ambientais para subsidiar ações preventivas antecipadas. Diante

da importância do tema, o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) criou, em julho de 2011, um Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), com o objetivo de desenvolver, testar e implementar um sistema de previsão de ocorrência de desastres naturais em áreas suscetíveis de todo o Brasil, ampliando, assim, o escopo inicialmente previsto no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas.

Em razão do quadro recente de fragilidade das cidades brasileiras frente aos eventos extremos de natureza hidrometeorológica e climática, tornou-se ainda mais premente a necessidade de desenvolvimento e aplicação do conhecimento voltado ao monitoramento e previsão de risco de ocorrência de desastres originados por eventos geodinâmicos e hidrológicos extremos. Isso precisa ser realizado em conjunto com os trabalhos de mapeamento de áreas de risco e caracterização de cenários potenciais de desastres, a fim de prever e prevenir os seus impactos.

Considerando que as evidências apontam que muitos sistemas físicos, biológicos e sociais estão sendo afetados pelas mudanças climáticas, tornou-se premente elaborar planos de adaptação a essas mudanças. Com esse escopo, foi lançado em 2016, pelo governo federal, o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), que contempla um conjunto de ações estruturantes para a agenda nacional de adaptação, além de diretrizes e recomendações para 11 temas, estes identificados como vulneráveis às mudanças climáticas, incluindo-se, entre eles, a gestão de risco de desastres.

Sistemas de alerta precoce do risco de desastres naturais de origem meteorológica e climática têm sido apontados como uma das principais ferramentas de adaptação às mudanças climáticas e de construção de habitats mais resilientes e menos vulneráveis. Um dos resultados mais palpáveis desta estratégia já pode ser percebido no país, onde o número de vítimas fatais de desastres naturais diminuiu em mais de 70% após o surgimento de alertas precoces e mais efetiva disseminação desses alertas, com ações de prevenção da Defesa Civil, ao mesmo tempo em que os eventos extremos hidrometeorológicos e climáticos continuaram a ocorrer com maior frequência e pelo menos com a mesma intensidade.

Tema 8 – Emissão de Gases de Efeito Estufa

Os trabalhos desenvolvidos no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas possibilitaram a execução de pesquisas tanto na parte experimental,

envolvendo o estudo da concentração atmosférica e emissão dos principais gases de efeito estufa, bem como para estimativas dos fatores de emissão para a queima de biomassa. Os resultados para as concentrações mostraram que a região costeira (Natal (RN)) apresentou valores próximos aos globais, enquanto que os demais pontos apresentaram valores acima dos globais, resultantes de contribuições tanto naturais como antropogênicas. O desenvolvimento do projeto propiciou o intercâmbio e a cooperação entre diferentes instituições, como o Observatório Nacional e o Instituto Oceanográfico da USP, através do INCT Antártico de Pesquisas Ambientais.

O conhecimento dos fatores de emissão por queima de biomassa é fundamental para aprimorar as estimativas da contribuição das emissões provenientes do desmatamento. O desenvolvimento das componentes observacionais sobre gases de efeito estufa é essencial para melhor balizar a correta representação dos processos computacionalmente. Nesse sentido, o INCT para Mudanças Climáticas foi uma grande contribuição para o avanço do conhecimento científico, fortalecendo os grupos de pesquisa e criando a possibilidades de sinergia entre eles em trabalhos futuros. Pode-se afirmar que o desmatamento da Amazônia e a queima dessa biomassa contribuem atualmente com um percentual relativamente pequeno quando comparado com o total de gases de efeito estufa lançado na atmosfera do planeta anualmente.

Globalmente, as emissões por queima de combustíveis fósseis de CO₂ foi de $8,9 \pm 0,4$ GtC/ano entre 2004-2013, enquanto as emissões relacionadas às mudanças do uso da terra, principalmente o desmatamento, representaram $0,9 \pm 0,5$ GtC/ano mesmo período, isto é, cerca de 10% das emissões globais de gás carbônico. Quando computados todos os demais gases de efeito estufa, este percentual sobe para 13-14% das emissões globais. Ainda que as metas necessárias ao atingimento dos compromissos do Acordo de Paris (COP21) dependam principalmente da mudança do paradigma de geração de energia em direção à descarbonização da economia global, mudanças dos usos da terra podem desempenhar papel relevante não somente para reduzir emissões como um significativo sumidouro nas próximas décadas.

No entanto, a incerteza em relação ao futuro da Amazônia e dos demais biomas brasileiros - frente ao aumento da pressão por alimentos e biocombustíveis - aliada ao estoque de carbono ainda acumulado na vegetação remanescente e potencial de emissões futuras num cenário de retorno das altas taxas de desmatamento, reforça a necessidade de aprimorar o conhecimento

sobre as estimativas de emissão, assim como constantemente acompanhar a evolução do desmatamento por meio de sistemas de monitoramento.

Tema 9 – Dimensões Humanas e Econômicas das Mudanças Climáticas

Pesquisas explorando de forma integrada e crítica como melhorar a interface entre o conhecimento ambiental, a sociedade e os processos de decisão política ainda são poucas no Brasil, como de resto são infrequentes mundialmente. A interface entre as ciências ambientais e políticas públicas e o papel de redes nacionais e internacionais de atores são assuntos pouco estudados em países tropicais em geral, o que é preocupante, considerando que esses países detêm a maior parte da biodiversidade e grandes contingentes populacionais. O tema das mudanças climáticas precisa ser igualmente submetido a análises feitas pelas ciências sociais e humanas, pois metas de políticas públicas somente baseadas em resultados das ciências naturais e projeções de modelos com algum grau de incerteza ainda carecem de mecanismos que ensejem efetividade. Para que as políticas públicas possam ser baseadas em resultados científicos sobre o clima, devemos agora voltar a nossa atenção para as dinâmicas de mudança social e política.

Portanto, é motivo de preocupação que as investigações sobre as dimensões humanas das mudanças climáticas continuem sendo limitadas no Brasil, ainda com pouca conexão com as ciências sociais na agenda de pesquisa internacional. Há poucos indícios de esforços significativos para desenvolver pesquisas em ciências sociais sobre a mudança ambiental global no país. O programa Ciência sem Fronteiras não incluiu as ciências humanas entre os campos elegíveis, ainda que aspectos das ciências naturais afetos às mudanças climáticas, à biodiversidade, aos oceanos e aos desastres naturais tenham sido elegíveis como prioritários nesse programa de internacionalização da ciência brasileira. Os organismos de financiamento proeminentes do Brasil continuam a emitir chamadas para investigações na área do meio ambiente global que - uma rubrica limitada de pesquisa em adaptação climática à parte - deixam pouco espaço para as pesquisas que vão além dos diagnósticos técnicos e previsões de condições biogeofísicas. O subprojeto do INCT para Mudanças Climáticas voltado ao estudo das interfaces entre ciência e políticas públicas se apresentou como exceção à regra. As chamadas e o fomento de pesquisas no Brasil como um todo

devem ser repensados para também apoiar pesquisas sobre como fazer com que o conhecimento científico já desenvolvido possa ter mais impacto em processos de tomada de decisão de importância para a sustentabilidade ambiental com desenvolvimento econômico e equidade social.

Tema 10 – Zonas Costeiras

A zona costeira brasileira é altamente vulnerável a todos os impactos da mudança climática, influenciada por quase todas as alterações que ocorrem na atmosfera (temperatura, chuvas, aumento de CO₂), nas bacias de drenagem (descarga fluvial, eutrofização, desmatamento) e no Oceano Atlântico (nível do mar, temperatura, estratificação da água, acidificação). Os impactos são exacerbados pelo alto grau de modificação e degradação dessas áreas. A alta diversidade de ambientes e ecossistemas da extensa costa brasileira, estes influenciados por climas regionais e dinâmicas geomorfológicas e oceanográficas distintas, implica em níveis de vulnerabilidade variáveis às mudanças climáticas.

Esse tema integrador apresenta uma síntese dos principais resultados, ações e impactos do subprojeto Zonas Costeiras ao longo de oito anos de atuação. As vulnerabilidades da zona costeira brasileira aos impactos potenciais das mudanças climáticas foram estudadas a partir da visão de diversas áreas temáticas, em vários tipos de ecossistemas e processos.

As projeções de aumento do nível do mar para a costa brasileira apontam valores relativos de 0,4 até 0,57 m. Entretanto, o tamanho reduzido das séries temporais brasileiras de nível do mar, a situação dos marégrafos e a falta de referenciais geodésicos ainda limitam as previsões sobre as tendências reais, locais e regionais, de variação do nível médio do mar. A erosão costeira ocorre de modo generalizado ao longo de todo o litoral brasileiro por causas múltiplas. Apesar das lacunas, diversas são as cidades costeiras que já sofrem com problemas de erosão, drenagem e inundações, os quais serão amplificados com a elevação do nível do mar e intensificação dos eventos extremos.

Mudanças na circulação costeira e dos estuários brasileiros foram observadas nas últimas décadas. No sul do Brasil, observaram-se aumentos nas taxas de descarga fluvial e no nível das águas em lagoas costeiras, relacionados com a intensificação dos eventos El Niño e o aumento das taxas de precipitação para a região. As alterações hidrológicas nas últimas décadas afetaram

a qualidade da água, a abundância e diversidade dos organismos marinhos e estuarinos e a produção pesqueira, com fortes reflexos na socioeconomia local. O aumento da temperatura das águas superficiais do Atlântico Sudoeste, acoplado ao cenário de intensificação das chuvas na bacia do rio da Prata, interfere na entradas de nutrientes e na estratificação das águas da plataforma continental ao sul, induzindo modificações na estrutura das comunidades algais e afetando a capacidade de sequestro de CO₂ da região.

Estudos sobre os ecossistemas bentônicos costeiros brasileiros e sua biodiversidade apontam mudanças na abundância e distribuição de espécies-chave, aumento na incidência e abundância de algas oportunistas, aumento na frequência de eventos de branqueamento e mortalidade de corais, perda de bancos de gramas marinhas e reduções de áreas de manguezais. Os ecossistemas costeiros vegetados brasileiros – manguezais, marismas e pradarias marinhas – possuem alta capacidade de estoque e sequestro de carbono no sedimento, com potencial para contribuir com a mitigação das mudanças climáticas. Por área, os solos dos manguezais brasileiros estocam e sequestram de três a quatro vezes mais que o solo da Floresta Amazônica. Os estoques costeiros (*blue carbon*) estão ameaçados pela degradação ambiental, modificações nas bacias de drenagem e conversão de áreas para aquicultura, agricultura, construção de rodovias etc. Considerando taxas médias de degradação (1% ao ano), esses estoques estão gerando emissões anuais na ordem de milhões de toneladas de CO₂ por ano. As respostas dos sistemas costeiros e marinhos às variabilidades climáticas e oceanográficas, associadas ao grau de sensibilidade das espécies e vulnerabilidade dos ecossistemas, já apresentam implicações para a socioeconomia brasileira. As perdas econômicas associadas a períodos de El Niño e eventos extremos são significativas para as populações costeiras, particularmente aquelas que dependem dos recursos pesqueiros. No estuário da Lagoa dos Patos, as perdas com a captura do camarão-rosa geram receitas negativas para a comunidade de pescadores, em torno de US\$ 7,4 milhões.

Para prever melhor os impactos das mudanças climáticas sobre as zonas costeiras brasileiras, compreender as respostas dos ecossistemas, da sua biodiversidade e as suas implicações socioambientais, faz-se necessário o investimento em infraestruturas observacionais estratégicas e a criação de centros e laboratórios interdisciplinares e multi-institucionais e a continuidade e o fortalecimento das redes e sistemas observacionais existentes e dos programas de longo prazo.

Tema 11 – Amazônia e REDD

Os fluxos de carbono em ecossistemas naturais e antropizados são modulados por outros elementos essenciais ao processo fotossintético e processos de respiração e decomposição. Condições físicas do meio, como umidade e temperatura, definem a velocidade e intensidade desses processos. Para florestas tropicais, como a Floresta Amazônica, a variação na disponibilidade de nutrientes pode determinar a intensidade da resposta desses ecossistemas ao aumento da concentração do CO₂ na atmosfera. Em geral, considera-se que o nitrogênio ocorre em abundância nos processos biofísicos, e o fósforo em baixa disponibilidade às plantas.

Considerando a importância do nitrogênio não apenas ao fluxo de carbono na Amazônia, mas também como indicador de impacto à saúde de ecossistemas, o INCT para Mudanças Climáticas produziu um balanço desse elemento para a região amazônica. Os dados indicam que o avanço de culturas de leguminosas na região, como soja, já representa cerca de 30% do aporte de nitrogênio por fixação biológica em florestas naturais. Outros aspectos a serem ressaltados são o aumento da urbanização e o ainda baixo percentual de tratamento de efluente doméstico, o que define aporte da ordem de 3TgN/y nos sistemas aquáticos (praticamente 50% do total de nitrogênio fixado pelas florestas na região). O impacto na biogeoquímica de sistemas aquáticos de menor porte já é seriíssimo.

O INCT para Mudanças Climáticas permitiu avançar no conhecimento de diversas áreas da interação floresta-clima, incluindo novos conhecimentos nas áreas de meteorologia, físico-química da atmosfera, interação biosfera-atmosfera, estoques de carbono, inventários e cenários de emissões, e interações entre políticas públicas e desmatamento. E mais, promoveu um debate qualificado sobre REDD+, em particular, contribuindo para o amadurecimento da Estratégia Nacional de REDD+, atualmente sendo implementada pelo governo federal (Ministério do Meio Ambiente). Em suma, REDD+ poderá representar uma estratégia de combate ao desmatamento amazônico baseada na lógica do incentivo e não somente na de fiscalização ou punição (multas).

Na questão da interação biosfera-atmosfera, os novos conhecimentos adquiridos permitiram entender melhor o papel dos aerossóis (seja como uma forçante radiativa, seja para inicialização da formação de nuvens), bem como quantificar o forte acoplamento da interação floresta-atmosfera

na questão de fluxos de energia, principalmente em regiões que possuem um desmatamento acentuado. O uso de novas técnicas de medição e de modelagem numérica se apresenta como uma vanguarda tecnológica e também precisa ser mais difundido para a comunidade científica da região. Os cenários espacialmente explícitos de uso da terra para a Amazônia gerados no contexto do INCT para Mudanças Climáticas foram utilizados por modelos do sistema terrestre para avaliar os impactos combinados de mudanças climáticas e de uso da terra na floresta.

Além disso, os novos cenários combinaram elementos qualitativos e quantitativos, seguindo a tendência global de utilização de métodos participativos e técnicas de visão/*backcasting* na construção de cenários. O aprimoramento de sistemas de monitoramento, planejamento territorial integrado, melhor planejamento de obras de infraestrutura, reestruturação das cidades e o fortalecimento do arcabouço institucional foram identificados como essenciais para construir uma trajetória sustentável para a região, incluindo as dimensões social, econômica e ambiental.

Tema 12– Modelagem do Sistema Terrestre

O INCT para Mudanças Climáticas contribuiu de maneira ampla para o avanço no desenvolvimento de modelos representando componentes do sistema terrestre, possibilitando tanto a geração de análises e produtos específicos (por exemplo, previsões de tempo e cenários de uso da terra), quanto a evolução na direção da construção de um modelo completo do sistema terrestre. Tais cenários e simulações, incluindo informações sobre eventos climáticos extremos, já têm sido utilizados por órgãos como o CEMADEN e a Defesa Civil. Nas escalas mais longas de tempo, de décadas a séculos, os cenários de mudanças climáticas gerados pelo INCT para Mudanças Climáticas já têm sido utilizados para subsidiar planos de adaptação. Esses planos necessitam de informações sobre a capacidade dos modelos de realizarem uma boa simulação do presente para poderem efetuar uma boa projeção para o futuro.

O projeto de desenvolvimento do BESM (Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre, Brazilian Earth System Model, na sigla em inglês) - um modelo de classe mundial - contribuiu para demonstrar a capacidade do sistema de ciência e tecnologia do Brasil de desenvolver, testar e aprimorar um modelo completo do sistema terrestre, capaz de produzir cenários de

mudanças climáticas de utilidade para a geração de políticas públicas no país. O BESM foi desenvolvido para permitir que a comunidade científica brasileira pudesse incorporar avanços científicos sobre processos biogeofísicos e biogeoquímicos de especial relevância para a América do Sul e oceanos adjacentes. Um exemplo disso foi uma acentuada melhoria da representação do acoplamento dos ventos alísios com as camadas superiores do Oceano Atlântico Tropical, resolvendo um problema antigo de modelos acoplados de excessivo esfriamento da porção tropical daquele oceano. A melhor representação dos ventos alísios trouxe como consequência a diminuição do viés de pouca precipitação na Amazônia. A correção da fonte de calor sobre o continente tropical também significou melhor representação da circulação de monção de verão. Não menos importantes foram as diversas melhorias nos processos de superfície, incluindo aperfeiçoamentos na representação do papel do fogo na vegetação e inclusão realista dos subtipos de vegetação, inclusive agroecossistemas.

Os cenários globais de simulação do clima presente e cenários de mudanças climáticas futuras gerados pelo BESM foram utilizados como condições de contorno para gerar cenários regionalizados sobre o Brasil com o modelo Eta/CPTEC, sendo estes utilizados na elaboração da Terceira Comunicação Nacional para a Nações Unidas sobre Mudança do Clima. O modelo BESM também é utilizado operacionalmente para gerar previsões estendidas de tempo (até 30 dias) e climáticas sazonais (até 90 dias) pelo CPTEC/INPE, as quais são utilizadas semanalmente pelo próprio CPTEC/INPE e pelo CEMADEN para fornecer informações climáticas para órgãos da Defesa Civil, na previsão de eventos extremos como a seca no Nordeste ou a interrupção da longa estiagem que atingiu a região Sudeste em 2014-2015. Essas previsões climáticas de três meses constituem elementos importantes para o Grupo de Trabalho de Previsão Climática Sazonal, do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), responsável por elaborar mensalmente avaliações sobre o impacto das previsões climáticas em diversos aspectos da sociedade e economia do país, como, por exemplo, os impactos da consecutiva seca do Nordeste iniciada em 2012 e ainda presente em 2017. Previsões de tempo estendidas até 30 dias são utilizadas rotineiramente pelo Grupo de Trabalho, colaborativamente entre o MCTIC e o Ministério de Minas e Energia, no planejamento da geração e distribuição de energia elétrica, e foram de grande utilidade

durante a grave crise hídrica pela qual passou a região Sudeste, em 2014 e 2015.

O aprimoramento do modelo BAM CPTEC/INPE, por sua vez, contribuiu para aumentar a confiabilidade que os órgãos relacionados com políticas públicas podem ter nos resultados do modelo em representar as características climatológicas observadas, a variabilidade climática e os padrões atmosféricos associados a eventos extremos de precipitação. Anos muito chuvosos ou muito secos em regiões específicas do país têm impactos na economia e na sociedade. É de extrema importância que se conheça a habilidade do modelo em representar esses eventos.

A integração entre o submodelo de superfície e vegetação do BESM, o INLAND, e o modelo de dinâmica de usos e cobertura de vegetação da terra (LuccME) contribuiu para que tomadores de decisão possam avaliar quais regiões podem sofrer mais com mudanças do clima e do uso da terra. Os cenários de uso da terra para a Amazônia gerados ao longo do INCT para Mudanças Climáticas foram construídos de modo participativo, e seus resultados discutidos com diferentes setores da sociedade (setor produtivo, governo e sociedade civil). O aprimoramento do LuccME e a sua integração com o INLAND são contribuições significativas do INCT para Mudanças Climáticas para a evolução da representação dos processos de superfície em modelos do sistema terrestre, considerando aspectos socioeconômicos.

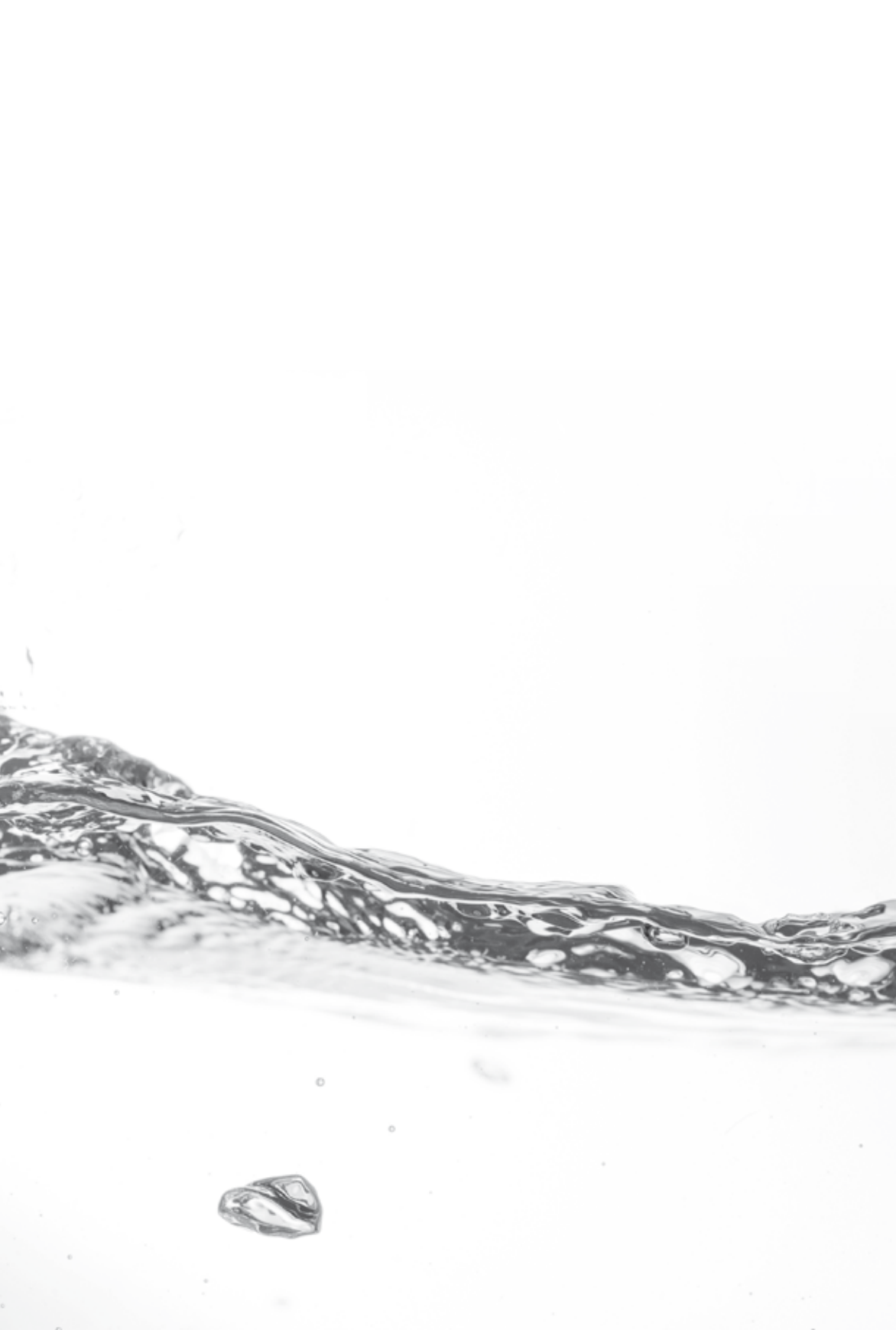
Tema 13 – Cenários Climáticos para Estudos de Impactos-Vulnerabilidade-Adaptação (IVA)

Cenários climáticos futuros são ferramentas essenciais para municiar pesquisadores sobre os impactos das mudanças climáticas setorialmente, de modo a identificar as principais vulnerabilidades de cada setor e induzir políticas de adaptação. As projeções de mudanças no sistema climático são produzidas usando uma hierarquia de modelos climáticos que parte de modelos climáticos simples, passando por modelos de média complexidade, até modelos de categoria Sistema Terrestre. Para simulações de mais longo prazo, utilizam-se resultados de modelos climáticos globais. Em especial, um resultado importante do INCT para Mudanças Climáticas foi o de pioneiramente desenvolver um complexo modelo do sistema terrestre, o BESM (ver Tema 12), tornando o país autossuficiente para a geração de cenários climáticos globais e o único da América Latina que atingiu essa capacidade. Os

cenários do modelo BESM para diferentes cenários de gases de efeito estufa na atmosfera (os chamados RCPs: Representative Concentration Pathways) estão disponibilizados no site do CMIP5 (www.ipcc.ch).

Além dos cenários globais em média resolução espacial, estudos de impactos setoriais normalmente requerem resoluções espaciais mais detalhadas. Nesse sentido, o INCT para Mudanças Climáticas produziu simulações e projeções numéricas de clima de 1961 a 2100, avaliou as simulações do clima e seus extremos no presente e analisou as projeções climáticas futuras até o final do século XXI em diferentes cenários de emissão dos gases de efeito estufa, com uma resolução espacial variando de 50 até 20 km latitude-longitude, cobrindo toda a América do Sul, América Central e oceanos adjacentes. Para isso, neste INCT foram utilizados dois modelos climáticos globais que fazem parte dos IPCC AR4 e AR5, especificamente aninhando o modelo regional Eta aos modelos climáticos globais britânicos HadCM3, HadGEM2-ES e japonês MIROC5. Esses cenários têm sido usados em estudos de impactos, vulnerabilidade e adaptação relevantes a outros subprojetos do INCT para Mudanças Globais, à Rede Clima e a componentes do projeto FAPESP Mudanças Climáticas, e de forma importante como subsídio científico à Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, organizada pelo MCTIC, e ao Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), coordenado pelo MMA.

Os modelos globais acoplados utilizam resolução espacial de cerca de 200 a 100 km, que é considerada baixa para estudos de impacto e vulnerabilidade em escala regional a local. A técnica mais aceita para transformar a relativamente baixa resolução espacial dos modelos climáticos globais em escalas mais refinadas é a regionalização (*downscaling* dinâmico) das projeções usando modelos climáticos regionais. Esse refinamento de grade é gerado a partir do modelo regional em mais alta resolução espacial, que utiliza nas fronteiras laterais da área de interesse as simulações do modelo climático global. A técnica de regionalização tem sido usada intensivamente para previsões sazonais sobre a América do Sul e, desde 2007, cenários futuros de clima têm sido gerados usando essa técnica, com o modelo regional Eta do INPE e outros modelos regionais.



RESULTADOS CIENTÍFICOS



Observações e Atribuição de Causas da Variabilidade e Extremos Climáticos

Tércio Ambrizzi¹
Moacyr Araujo²
Simone Ferraz³
Oswaldo Moraes⁴

Resumo

Este capítulo explora as questões referentes à detecção de mudanças no clima e à atribuição das suas causas. Embora o tema mudanças climáticas seja interdisciplinar, os estudos dentro da pesquisa do INCT para Mudanças Climáticas tiveram o foco na atmosfera, particularmente. Na região amazônica estudos relacionando níveis de rios têm se mostrado eficientes na avaliação de riscos climáticos. No entanto, apesar dos esforços que têm sido dedicados à mitigação, reduzindo o desmatamento na região, é evidente que a Amazônia exige novas abordagens para compreender e praticar a adaptação. Destaca-se também a importância das descargas elétricas no Brasil. Foi realizado um importante mapeamento das fatalidades relacionadas a descargas elétricas num período recente de dez anos. O número anual de mortes por relâmpago por milhões de pessoas no Brasil é de 0,8, um valor superior à média observada nos países desenvolvidos (0,2). Em parte, a diferença pode ser explicada por uma maior percentagem da população envolvida em atividades rurais no Brasil em comparação aos países desenvolvidos. Em decorrência desse mapeamento, foram

1 Universidade de São Paulo

2 Universidade Federal de Pernambuco

3 Universidade Federal de Santa Maria

4 Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

desenvolvidos e implementados uma ferramenta de geração de campos de densidades de descargas chamada EDDA, bem como algoritmos para detecção de padrões associados a atividade convectiva severa. Outro destaque importante está relacionado à intensidade da Circulação de Hadley (CH) e o impacto dessa mudança. Sobre a América do Sul, os resultados indicam que uma CH fraca pode levar a um inverno mais frio e chuvoso na região sudoeste do continente e a um inverno seco e com temperatura do ar mais branda nos estados de Minas Gerais e Bahia. Um padrão oposto foi obtido quando a CH se fortalece. Espera-se que as pesquisas tenham contribuído para uma melhor compreensão do tempo, da variabilidade e das mudanças climáticas no Brasil ao longo de várias escalas de tempo diferentes.

Introdução

Os recentes relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (2013 e 2014) indicam a ocorrência inequívoca do aquecimento global e apresentam novas evidências sobre a real contribuição humana para o agravamento do efeito estufa. Embora os termos detecção e atribuição estejam ligados tecnicamente, eles possuem objetivos bem distintos. A detecção da mudança climática é um processo que demonstra, com base em algum método estatístico, que o clima tem mudado, sem, entretanto, discutir as causas dessa mudança. Atribuição de justificativas da mudança climática é o processo que estabelece a mais provável causa da mudança detectada, com um determinado nível de confiança. Tanto a atribuição quanto a detecção dependem diretamente de análises de dados observacionais e de estudos de modelagem numérica do sistema climático.

Durante os séculos XX e XXI, sobre praticamente todo o globo, tem-se observado taxas de aquecimento nos extremos de temperatura mínima. As temperaturas máximas também mostram uma tendência de aumento, embora de menor magnitude. Apesar de algum nível intrínseco de incerteza quanto à influência antropogênica nas mudanças climáticas observadas, a ciência tem avançado grandemente ao longo das últimas décadas em reduzir as incertezas e determinar a influência da ação humana nessas mudanças. Desde a criação do IPCC, em 1988, uma série de relatórios científicos vem trazendo sínteses e avaliações representando a evolução do estado da arte em estudos relacionados às mudanças climáticas. Em particular, os volumes do Quinto Relatório de Avaliação, publicados em 2013 e 2014 (IPCC,

2013, 2014), declaram, no resultado do Grupo de Trabalho 1, que a temperatura média da Terra aumentou em torno de 0,9°C desde 1850.

Ainda que o aumento da temperatura à superfície apresente maior homogeneidade globalmente, o mesmo não é observado com respeito às variáveis do ciclo hidrológico. Estudos recentes de variação dos índices de chuva indicam uma fraca tendência positiva da precipitação global continental durante os séculos XX e XXI, embora esse padrão não seja homogêneo, uma vez que grandes áreas também são caracterizadas por tendências negativas (Alexander et al., 2006; Haylock et al., 2006; IPCC AR 4/5, 2007, 2013).

De forma geral, uma conclusão comum entre os vários estudos realizados através de análises de dados ou simulações utilizando modelos de circulação geral atmosférica/ocêânica ao longo dos últimos 20 anos é que as mudanças climáticas observadas não podem ser explicadas somente por fatores naturais; uma quantidade substancial de influência antropogênica é necessária para explicar essas mudanças (p. ex. Hegerl et al., 2010; Hegerl & Zwiers, 2011). Todas essas evidências reforçam a necessidade de estudarmos como o ser humano tem influenciado o clima global e contribuído mesmo para alterar a variabilidade natural do sistema climático terrestre. Por exemplo, tem-se na Amazônia que, nos últimos 50 anos, a duração da estação seca tem crescido em 1-2 meses no sul da região (p. ex. Marengo et al., 2010, Fu et al., 2013, Debortoli et al., 2015), com a tendência mais intensa nas secas de 2005 e 2010 (Alves, 2016). Apesar da enchente intensa de 2009, essa tendência na extensão da estação seca se manteve e, portanto, houve um atraso no início da estação chuvosa. É possível que parte da variabilidade observada tenha origem natural e não seja uma consequência direta do desmatamento, embora este possa causar variações importantes no clima local (Alves, 2016). No longo prazo, entretanto, a causa principal pode estar relacionada ao aquecimento global, que no contexto da variabilidade interanual do clima pode ter uma contribuição humana importante. Com relação à ocorrência de um grande número de extremos climáticos de secas e inundações na Amazônia desde 2005 (Borma & Nobre, 2013), o IPCC AR5 sugere, com média confiança, que essa exacerbação da variabilidade dos extremos pode já ser uma consequência do aquecimento global (IPCC AR5, 2014).

Embora o tema mudanças climáticas seja interdisciplinar, os estudos dentro da pesquisa do INCT para Mudanças Climáticas tiveram o foco na atmosfera, particularmente. No entanto, estudos relacionados à interação

oceano-atmosfera também têm sido realizados, destacando-se a importância do desenvolvimento ciclogênico⁵ na costa brasileira, e de sua influência na variabilidade dos ciclones extratropicais no clima presente e futuro. Estudos considerando cenários futuros do clima foram feitos através de modelagem numérica.

Outro destaque que se faz é com relação à importância das descargas elétricas nas grandes cidades, particularmente sobre São Paulo. Estudos recentes têm mostrado que há uma relação importante entre anomalias positivas de temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Sul (TSM/OAS) e eventos La Niña no Oceano Pacífico Central e Leste, e quantidade de dias com descargas elétricas (p. ex., Sekiguchi et al., 2006; Markson, 2007; Pinto & Pinto, 2008). Desta forma, assumindo que haja um aumento da TSM/OAS num cenário de aquecimento global, deverá haver também um aumento na atividade de tempestades elétricas na Região Metropolitana de São Paulo.

Sendo assim, entre um rol de questões relevantes sobre variabilidade e mudanças climáticas no Brasil, algumas perguntas de pesquisa que deveriam ser respondidas são:

1. Quais são as tendências observadas na variabilidade da temperatura e precipitação durante os últimos 50 anos sobre o Brasil, tanto em nível sazonal e médio, como de ocorrência de eventos extremos? Quais seriam as causas dessa variabilidade e as possíveis tendências em nível interdecenal e de longo prazo?
2. Como a variabilidade local ou global da circulação atmosférica poderia afetar a variabilidade interdecenal do clima e da ocorrência de eventos extremos na região amazônica?
3. Existe alguma tendência ou mudança nas frequências e intensidades de descargas elétricas no Brasil associadas ao aquecimento global nas grandes cidades?

Este capítulo tem como objetivo principal descrever de forma breve alguns dos resultados obtidos ao longo do projeto desenvolvido no âmbito do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT para Mudanças Climáticas). Observa-se que não será possível

5 Desenvolvimento de distúrbios atmosféricos ciclônicos, normalmente associados também à produção de chuvas e contrastes de temperatura e umidade.

abordar todos os trabalhos realizados ao longo dos últimos seis anos, período em que foram geradas 280 publicações científicas, entre artigos em revistas nacionais e internacionais, livros e capítulo de livros, nessa área do conhecimento. Pretende-se aqui apenas destacar alguns dos resultados mais impactantes, sendo que a lista bibliográfica completa produzida pode ser encontrada nos relatórios de atividades do INCT para Mudanças Climáticas (<http://inct.ccst.inpe.br>). Serão apresentados também os números finais sobre os recursos humanos formados e o que foi transferido, em termos de conhecimento, para a área governamental.

Pesquisa: alguns resultados selecionados

Ao longo do projeto, houve o desenvolvimento do conhecimento científico de vários sistemas meteorológicos atuantes no Hemisfério Sul e que têm um impacto sobre o tempo e clima da América do Sul, particularmente sobre o Brasil. Exemplos sobre variações dos ciclones no clima presente e futuro, particularmente sobre o Oceano Atlântico Sul, variabilidade da Circulação de Hadley (CH) e sua relação com Ondas Estacionárias de Rossby (OEs) são alguns resultados a serem descritos. Por outro lado, impactos mais regionais associados com enchentes ou secas na Amazônia, a importância de descargas elétricas e sua variabilidade climática, bem como estudos de mineração de dados meteorológicos para previsão de ocorrência de eventos convectivos severos também apresentaram um avanço de conhecimento muito grande durante a vigência do projeto.

Ciclones

Segundo Krüeger et al. (2011), existem vários estudos dedicados a entender a climatologia (Gan & Rao, 1991; Sinclair, 1996; Sugahara, 2000; Reboita, 2008), bem como a dinâmica de formação das ciclogêneses na América do Sul (Gan & Rao, 1994; Piva, 2001; Vera et al., 2002; Dias Pinto & da Rocha, 2006; Reboita, 2008; Piva et al., 2008; Reboita et al., 2009; Iwabe & da Rocha, 2009). Porém, são escassos os estudos que avaliam suas características no clima futuro.

Num estudo para o clima presente (1990-1999), Reboita (2008) mostrou que o RegCM3 (Regional Climate Model – versão 3) (Pal et al., 2007), aninhado na reanálise do National Center for Environmental

Prediction - Department of Energy (NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2), Kanamitsu et al., 2002), simulou as principais características da climatologia de ciclones sobre o Atlântico Sul (AS), como a existência de três regiões de maior frequência desses sistemas no setor oeste do AS, situadas próximo à costa leste da América do Sul (sul/sudeste do Brasil; Uruguai e sul da Argentina), bem como seus tempos de vida, distâncias percorridas e velocidades médias. Já Krüger (2009) avaliou a eficiência do RegCM3 aninhado nas simulações do modelo global do HadAM3 (modelo global do Hadley Centre) (Johns et al., 2001) em reproduzir a climatologia de ciclones no AS entre 1975 a 1989. Os resultados dessa simulação, ao serem comparados com a climatologia de ciclones obtida da reanálise do National Center for Environmental Prediction - National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR, Kalnay et al., 1996) e com os resultados da simulação do HadAM3, mostraram maiores semelhanças (distribuição espacial, número total de ciclones, intensidade inicial média e duração média) com a climatologia do NCEP/NCAR.

Resultados de estudos avaliados no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) (IPCC AR5, 2013) indicam possíveis impactos das maiores concentrações de gases de efeito estufa na climatologia de ciclones, tais como: redução no número de ciclones e migração das regiões ciclogênicas em direção aos polos. É importante ressaltar, entretanto, que a maior parte das conclusões sobre o comportamento dos ciclones no clima futuro foi obtida de projeções realizadas com modelos globais, que possuem resolução horizontal grosseira em comparação aos modelos regionais. Porém, esta resolução foi refinada no IPCC AR5 em comparação ao AR4 para resolver adequadamente muitos dos sistemas de mesoescala observados. Assim, torna-se necessário realizar estudos com modelos regionais aninhados em projeções de modelos globais para se obter resultados mais confiáveis. Entretanto, ao longo dos anos, particularmente nos resultados apresentados pelo IPCC AR5, tem havido uma sensível melhora na resolução dos modelos globais, aliada ao fato da maior velocidade de processamento dos supercomputadores.

Krüger et al. (2011) analisaram os possíveis impactos dos cenários de mudanças climáticas na climatologia de ciclones extratropicais no Atlântico Sul. Nesse estudo eles utilizaram o RegCM3 aninhado ao HadAM3 no clima presente (1975-1989) e no futuro (2071-2085 – cenários A2 e B2 do IPCC). Primeiramente, foram avaliadas as climatologias de precipitação e

de temperatura simuladas pelo RegCM3 no clima presente. Para ambas as variáveis, o RegCM3 gerou padrões espacial e sazonal semelhantes aos das análises, porém com diferenças na intensidade. Para os cenários futuros, o RegCM3 simulou anomalias positivas de temperatura do ar maiores sobre o norte e nordeste do Brasil para o A2, o que coincide com as maiores reduções de precipitação.

Um esquema automático de rastreamento de ciclones que usa a vorticidade relativa do vento a 10 metros de altura foi utilizado para obter as climatologias de ciclones simuladas pelos modelos RegCM3 e HadAM3 e também na reanálise do NCEP na região do Atlântico Sul. Os ciclones simulados pelo RegCM3 e HadAM3 foram mais fracos que os verificados na base NCEP para o clima presente (1975-1989). No entanto, a distribuição espacial da densidade ciclogénica simulada pelo RegCM3 foi mais próxima do NCEP. A climatologia projetada pelo RegCM3 para os cenários futuros (A2 e B2) indicou redução no total de ciclones, tempo de vida médio, intensidade inicial média e velocidade de deslocamento médio. De forma geral, as maiores alterações ocorreram no cenário A2. As três regiões ciclogénicas na costa leste da América do Sul (costa sul/sudeste do Brasil, sudeste do Uruguai e sul da Argentina) se mantiveram ativas nas simulações do clima futuro, com pequenas diferenças na intensidade e posição do núcleo de máxima densidade. Além disso, a região de ciclogêneses inicialmente intensas deslocou-se em direção ao Polo Sul. A Figura 1 exemplifica os resultados encontrados para a densidade dos ciclones simulados pelo RegCM3 para o clima presente e futuro.

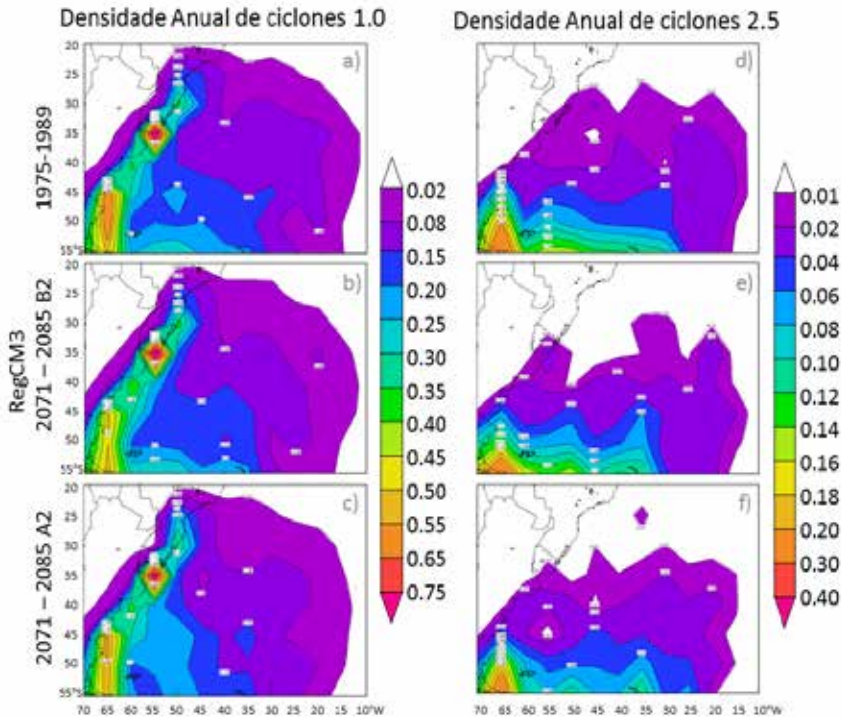


Figura 1 – Densidade anual de ciclones simulados pelo RegCM3: (a) clima presente (1975-1989) com $\zeta_{10} < -1,0 \times 10^{-5}$ s⁻¹, (b) clima presente (1975-1989) com $\zeta_{10} < -2,5 \times 10^{-5}$ s⁻¹, (c) cenário B2 (2071-2085) com $\zeta_{10} < -1,0 \times 10^{-5}$ s⁻¹, (d) cenário B2 (2071-2085) com $\zeta_{10} < -2,5 \times 10^{-5}$ s⁻¹, (e) cenário A2 (2071-2085) com $\zeta_{10} < -1,0 \times 10^{-5}$ s⁻¹ e (f) cenário A2 (2071-2085) com $\zeta_{10} < -2,5 \times 10^{-5}$ s⁻¹ (Obtido de Krüeger et al., 2011).

Variações na Circulação de Hadley e impactos sobre a América do Sul

A Circulação de Hadley (CH) tem um papel-chave no sistema climático. A CH é geralmente definida como a circulação de massa meridional zonalmente simétrica na atmosfera, delimitada aproximadamente entre 30°S e 30°N, com ascendência de ar quente nos trópicos e subsidência de ar frio nos subtropicais. Essa circulação transporta fluxo de quantidade de movimento para os subtropicais e calor dos trópicos para os subtropicais, e daí para as altas latitudes via vórtices (*eddies*) extratropicais, que se propagam através de trajetórias preferenciais (*storm tracks*) e via Ondas de Rossby quase-estacionárias (OEs). Tanto o transporte de calor quanto o

de quantidade de movimento influenciam as correntes de jato subtropicais e, conseqüentemente, as ondas e as circulações atmosféricas em altas e médias latitudes (Hu & Zhou, 2008). Em particular, as correntes de jato de altos níveis têm um importante papel como guias de onda para as Ondas de Rossby (Hoskins & Ambrizzi, 1993). Além disso, a convecção profunda no braço ascendente da CH e a divergência em altos níveis associada a isso resultam em um deslocamento meridional das parcelas de ar, causando um distúrbio no campo de vortacidade, que por conservação da vortacidade absoluta gera Ondas de Rossby. Portanto, a variabilidade tropical afeta a circulação atmosférica extratropical devido à geração de Ondas de Rossby, que se propagam dos trópicos para os extratrópicos através de um fluxo de oeste (Hoskins & Karoly, 1981; Hoskins & Ambrizzi, 1993; Haarsma & Selten, 2012).

Marengo et al. (2002) encontraram que OEs emanando do Pacífico Oeste Tropical durante o período de inverno podem causar resfriamento e ocorrência de geadas no sudeste da América do Sul. Müller e Ambrizzi (2007) encontraram que dois trens de Onda de Rossby sobre o Pacífico Sul durante o inverno austral, com fontes no Pacífico Oeste e Sul da Austrália, favorecem a ocorrência de geadas sobre o pampa úmido na América do Sul.

Portanto, mudanças na localização, intensidade ou sazonalidade das principais características climatológicas da circulação geral, tais como a CH ou as Ondas de Rossby, podem ter importantes implicações para os climas regionais através da modificação nos padrões de temperatura e precipitação. Assim, é importante investigar como as mudanças na circulação tropical, em particular na CH, afetam as ondas planetárias extratropicais e sua propagação, especialmente em um contexto de aumento nas emissões dos gases de efeito estufa, uma vez que isso pode estar conectado a uma mudança climática regional.

A resposta da CH a um aumento nas emissões antropogênicas de gases de efeito estufa encontrada em muitos estudos recentes, usando diferentes séries de dados, é um enfraquecimento e uma expansão na direção aos polos desta circulação (Lu et al., 2007, 2009; Hu & Fu, 2007; Reichler & Held, 2005; Seidel et al., 2008). Hu e Fu (2007), por exemplo, estimaram que a magnitude do alargamento da CH tropical é de 2 a 4,5 graus de latitude durante o período 1979-2005, o que pode levar a uma expansão na direção dos polos da zona árida subtropical em ambos os hemisférios. Entretanto, alguns estudos encontraram que a tendência de alargamento é

mais pronunciada sobre o Hemisfério Sul (HS) do que sobre o Hemisfério Norte (HN) (Reichler, 2009).

Através de análise observacional, Freitas e Ambrizzi (2012) investigaram como as mudanças na intensidade da CH afetam a propagação de energia das OEs nos extratropicais do HS no período de 1979-2010 e quais os seus impactos sobre o clima da América do Sul. Utilizando seis casos de forte CH e oito casos de fraca CH, selecionados a partir da série temporal do Índice de Circulação de Hadley (ICH) normalizado para a climatologia de Junho-Julho-Agosto (JJA) durante o período de 1979-2010, foi avaliado como as Ondas de Rossby que se propagam dos trópicos para os extratropicais em um fluxo de oeste são afetadas pelas mudanças na intensidade da CH. Usando um método de análise similar ao de Tyrrell et al. (1996), foram investigados o campo da Rossby Wave Source (RWS) e as respostas da circulação de latitudes médias em altos níveis associada com a variabilidade tropical. A localização da forçante da RWS é imediatamente sobre o braço descendente em latitudes altas da Circulação de Hadley local, a qual é associada com as zonas de convergência em altos níveis.

Ao analisar separadamente os dois termos da RWS, tanto para os casos de forte quanto para os casos de fraca CH, verificou-se que o termo de estiramento de vórtice (VS) é o que mais contribui para a RWS total e o termo de advecção de vorticidade absoluta pelo fluxo divergente (AV) está associado principalmente às fontes de anomalias anticiclônicas nos subtropicais.

Embora originalmente a área de estudo que seria considerada para a análise observacional se restringisse somente à região da América do Sul e Oceano Atlântico, durante a execução do estudo ficou claro que os efeitos das mudanças na CH abrangiam todo o HS. A correlação entre o Índice da Circulação de Hadley (ICH) e a temperatura do ar em 925 hPa mostrou um dipolo com forte correlação positiva no sudoeste da América do Sul e correlação negativa na direção nordeste (Figura 2). Um dipolo também é observado nas anomalias do vento zonal para casos de fraca CH com forte vento zonal associado a um forte ciclone no sudoeste da América do Sul e um vento zonal fraco associado a um fraco anticiclone na direção nordeste. Portanto, um enfraquecimento da CH pode gerar um forte cavado frio no sudoeste do continente sul-americano, podendo resultar em um inverno muito frio e chuvoso nessa região por causa dos ventos de sul trazendo massas de ar frio e úmido do Atlântico Sul para o sudoeste do continente

(especialmente norte do Chile e Argentina), e uma fraca crista quente na direção nordeste (particularmente sobre os estados brasileiros de Minas Gerais e Bahia) podendo resultar em um inverno seco e levemente quente.

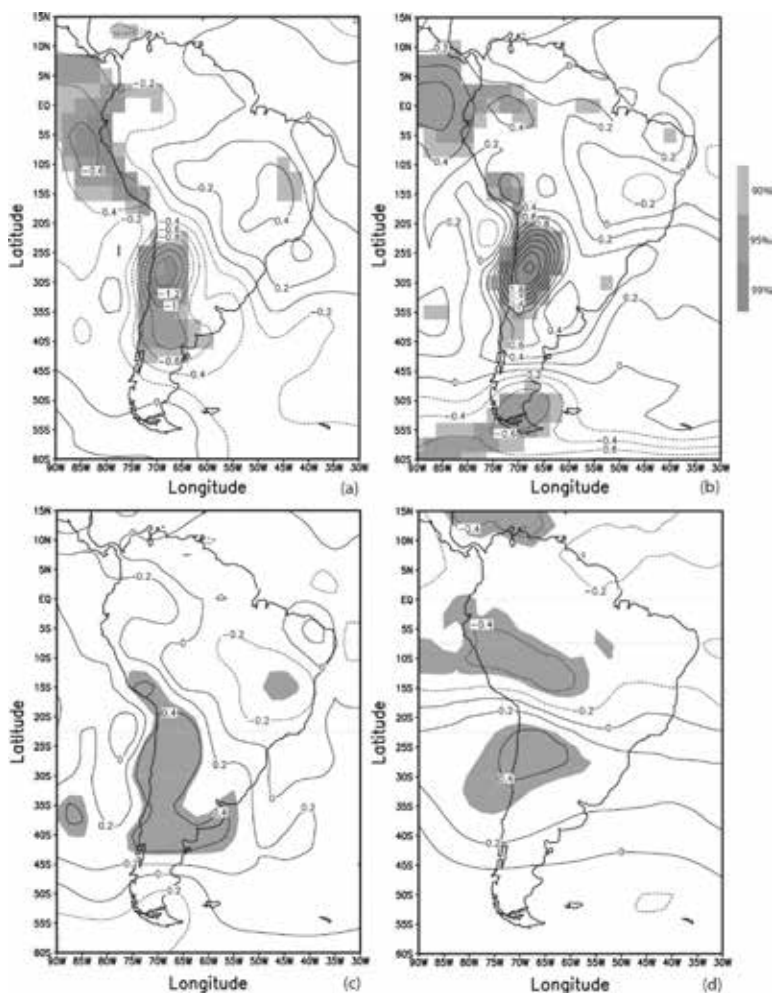


Figura 2 – Anomalia de temperatura do ar (K) em 925 hPa para os casos de (a) fraca Circulação de Hadley (CH), (b) forte CH. Correlação para o inverno austral entre o Índice de Circulação de Hadley (ICH) e: (c) temperatura do ar em 925 hPa, (d) altura geopotencial para a onda quase-estacionária em 500 hPa. O intervalo do contorno é 0.2 K em (a) e (b), e os valores estatisticamente significativos aos níveis de 90%, 95% e 99% de acordo com o *test t de Student* estão sombreados em escala de cinza (barra vertical). O intervalo do contorno é 0.2 em (c) e (d), e regiões com nível de significância acima de 95% ($r > 0.349$) estão sombreadas (Obtido de Freitas & Ambrizzi, 2012).

Quando a CH se fortalece, uma crista quente é observada no sudoeste da América do Sul, podendo resultar em um inverno quente e seco nessa região por causa dos ventos de norte trazendo massas de ar seco e quente do norte do continente, especialmente para o norte do Chile e Argentina, e um cavado frio na direção nordeste (particularmente sobre o norte de Minas Gerais e sul da Bahia), podendo resultar em um inverno chuvoso e ameno.

A conexão entre as circulações tropical e extratropical é complexa, e os aspectos não lineares não são completamente entendidos. Entretanto, acredita-se que Freitas e Ambrizzi (2010) tenham levado a um maior entendimento acerca de como a estrutura da onda planetária extratropical responde em casos de forte e fraca CH, o que é extremamente importante devido às implicações disso para o clima regional em termos de alterações significativas nos padrões de temperatura e precipitação.

Eventos extremos de tempo e clima sobre a Amazônia

Ao longo dos últimos anos, através de dados de vazões de rios, a Amazônia tem experimentado vários eventos extremos, seja em termos de inundações ou de secas. Mais recentemente, num período de apenas dez anos, a bacia amazônica foi afetada por secas severas, em 2005, 2010 e 2015-2016, e inundações em 2009, 2012 e 2014, esta última de caráter mais regional no sudoeste da bacia amazônica. Conforme notado por Yoon e Zen (2010), as secas de 1964, 1980 e a de 2010 não têm relação com eventos do tipo El Niño/Oscilação Sul (ENOS) e, em geral, o norte da bacia amazônica está fora de fase com sua parte sul (Marengo, 2009; Marengo & Espinoza, 2015).

Em um estudo de comparação entre a seca de 2010 com a de 2005, Marengo et al. (2011) mostraram que a primeira foi única e sugeriram que as mudanças na circulação que levaram à ocorrência da seca estavam associadas a um aquecimento anômalo no Oceano Atlântico Tropical Norte, sendo este o mais forte já registrado entre 1903 e 2010, tendo afetado o posicionamento da Zona de Convergência InterTropical (ZCIT), que ficou 5° mais ao norte em relação à climatologia.

Conforme mencionado acima, os impactos das secas da Amazônia se manifestam mais claramente nos níveis de seus rios. Consistente com o padrão de chuvas, os níveis de água do rio Negro em Manaus (AM) também apresentam uma queda em seus níveis mínimos, assim como também

nos valores com probabilidade de exceder 75% (P75) seu nível (Figura 3). Os valores mínimos de P75 e a diferença entre P75 e os valores mínimos de água indicam redução nas vazões mínimas desde 1975, consistente com as anomalias na extensão da estação seca na bacia sul da Amazônia. Isso confirma a influência da variabilidade interanual e decenal do clima na Amazônia, sobre os volumes de chuva e vazões mínimas dos rios.

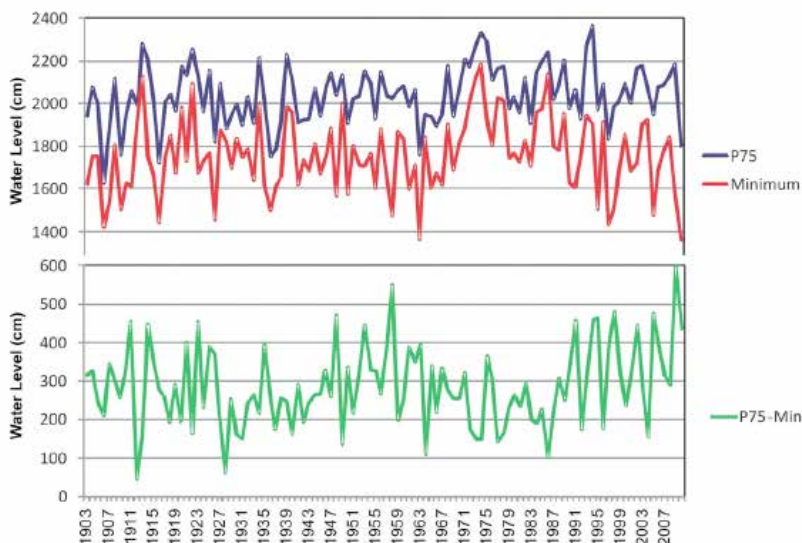


Figura 3 – Acima, variação temporal do nível mínimo de água (Minimum) e valores que excedem 75% de probabilidade do nível mínimo (P75) do rio Negro no Porto de Manaus. Abaixo, variação temporal da diferença entre os valores que excedem os 75% de probabilidade e o nível mínimo da água (P75 - Min) (Obtido de Marengo et al., 2011).

Outro importante resultado discutido em Marengo et al. (2011) diz respeito às mudanças na duração da estação seca ao longo dos últimos 50 anos sobre a bacia amazônica. Foi observado um pequeno aumento nos eventos secos e muito secos em toda a região, em particular no sul da Amazônia, que coincidem com um aumento do período da estação seca. Esse padrão fica mais evidente na Figura 4, que mostra um diagrama de Hovmöller da distribuição mensal de chuvas no sul da Amazônia entre 1951-2010. Vemos que durante os anos 50 e 60, a estação seca esteve mais alongada, sugerindo um final atrasado da mesma e possivelmente um início de estação úmida mais tardio. É interessante notar que durante os anos 70 houve uma

mudança de fase, em que a estação seca ficou mais curta. No entanto, desde os anos 90 observa-se que a estação seca voltou a se prolongar, sendo que nos últimos cinco anos ela tem começado mais cedo e terminado mais tarde. Marengo e colaboradores sugerem que essas mudanças podem estar associadas à variabilidade interdecadal de clima e ao maior aquecimento observado desde meados da década de 1970.

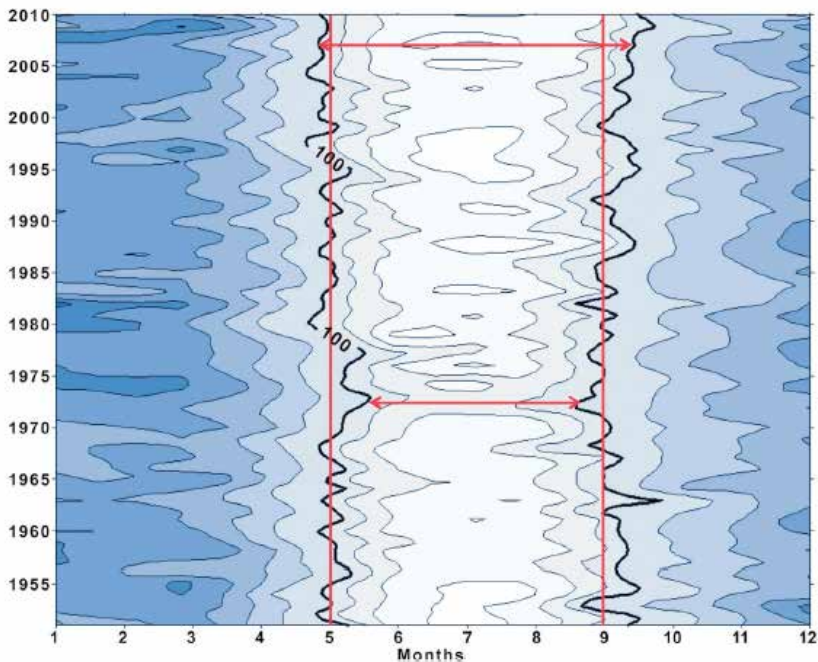


Figura 4 – Diagrama Hovmöller de chuva mensal na região Sul da Amazônia desde 1951 até 2010. Unidades são em mm/dia. A isolinha de 100 mm/mês indicada em negrito determina um mês seco. As linhas vermelhas verticais entre os meses 5 e 9 indicam a estação seca, e pode-se observar que desde 1975 a duração da estação chuvosa diminuiu aproximadamente 1 mês (Obtido de Marengo et al., 2011).

Em resumo, nos últimos anos têm ocorrido as mais intensas secas e inundações na história recente da Amazônia e as perspectivas dessa situação continuar no futuro são ainda altas, mesmo considerando as várias incertezas das projeções climáticas. Conforme mencionado anteriormente, os níveis dos rios são, talvez, a melhor maneira de avaliar riscos climáticos na bacia, particularmente as secas e inundações. Populações vulneráveis que vivem nas margens dos principais rios amazônicos estão entre as mais

afetadas por esses eventos extremos; mas os ecossistemas naturais da região são também afetados (Borma & Nobre, 2013).

Os resultados descritos aqui sugerem de forma clara a importante relação entre o monitoramento e a previsão climática, além da divulgação desses produtos para os vários níveis de usuários, que vão desde pequenos agricultores e pessoas vulneráveis até os formuladores de políticas públicas. A utilização de produtos de previsão permite aos tomadores de decisão planejar possíveis estratégias de adaptação. Políticas públicas adequadas na Amazônia devem ajudar as populações a lidar com os extremos da variabilidade do clima, sobretudo diante de uma perspectiva de ocorrência de extremos mais frequentes e mais intensos num futuro cenário de mudança climática.

Evolução das tempestades e descargas elétricas no Brasil

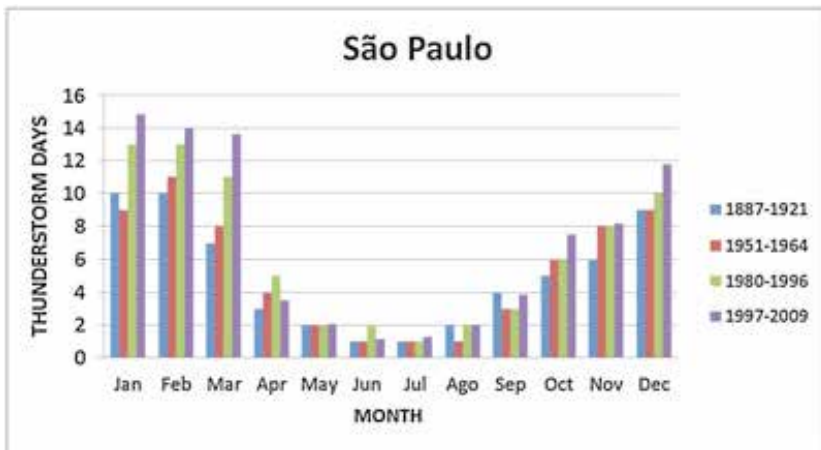
Tempestades fazem parte do sistema complexo de tempo que pode variar em diferentes escalas espaciais e temporais (Jones & Mann, 2004). A variabilidade climática das tempestades pode estar relacionada a diversos fatores, sejam estes externos, como erupções vulcânicas ou variações solares, ou mesmo internos, como mudanças na composição da atmosfera induzida pelo ser humano. O estudo das mudanças que vêm ocorrendo nas tempestades oferece uma boa oportunidade de entender melhor a eletricidade atmosférica.

Atualmente não existe uma evidência clara, seja de forma direta ou indireta, de um aumento global da atividade de tempestades em resposta ao aumento da temperatura média global, embora uma tendência positiva tenha sido observada para regiões mais específicas onde, em geral, o aumento da temperatura local é maior do que a média global (Pinto & Pinto, 2008; Pinto et al., 2013).

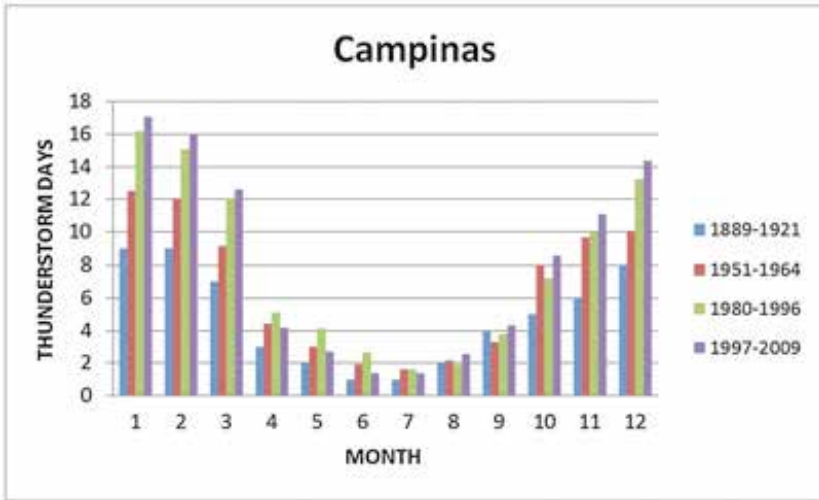
Em um recente trabalho, Pinto et al. (2013) descreveram a evolução das atividades de tempestades para três cidades do Sudeste do Brasil (São Paulo, Campinas e Rio de Janeiro), utilizando para isto séries de dados que remontam ao final do século XIX. Como resultado geral e inédito para o Brasil, eles mostraram que, para São Paulo e Campinas, existe uma tendência positiva do número de dias com tempestades, tendência esta que perdura até o presente, enquanto que a análise dos dados para o Rio de Janeiro não mostra nenhuma tendência significativa (Figura 5). Simultaneamente a esse resultado, Pinto et al. (2013) mostraram que ao longo do período

houve um aumento de aproximadamente 2°C na temperatura da superfície dessas cidades, tendo uma correlação com o aumento da população (Figura 6). Eles discutem que a variabilidade das tempestades no Sudeste do Brasil pode estar relacionada a pelo menos dois tipos de processos: (a) àqueles relacionados com o aumento da atividade urbana; e (b) aos das mudanças associadas com variações da circulação atmosférica modulada por atividades convectivas de grande escala. A urbanização, por sua vez, pode influenciar a formação e atividade de tempestades através de dois mecanismos: poluição e ilha de calor. Esse resultado concorda com o estudo de megacidades publicado por Nobre et al. (2011), que mostra que nos últimos 50 anos houve um aumento de mais de 2°C na Região Metropolitana de São Paulo e um incremento na frequência de chuvas intensas. Com relação às atividades convectivas associadas a variações de grande escala, Pinto et al. (2013) sugerem que o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e a temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Sul podem ter um impacto importante. Esse resultado corrobora o trabalho de Silva Dias et al. (2012) com relação a tendências positivas de extremos de chuva sobre a cidade de São Paulo.

(a)



(b)



(c)

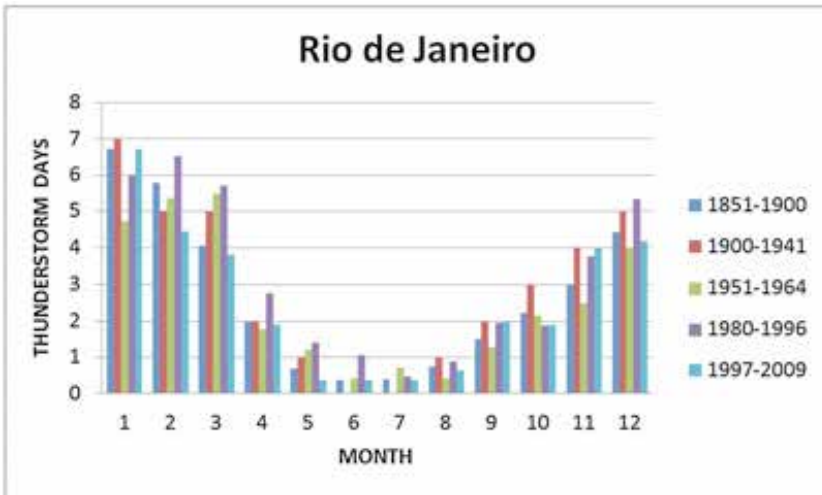
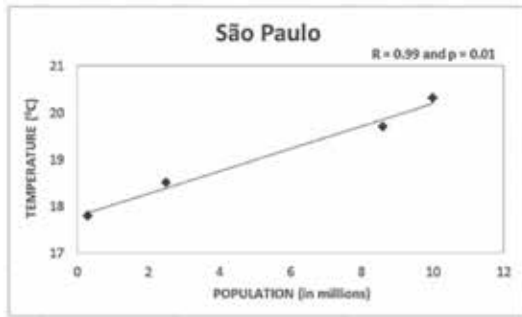
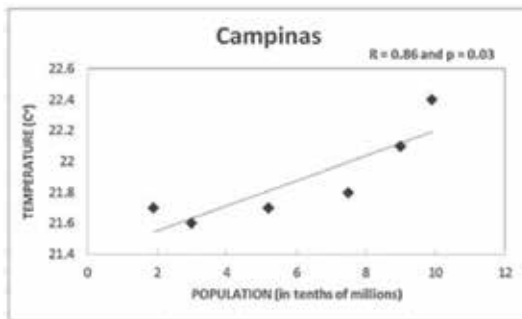


Figura 5 – Média mensal de dias de tempestade considerando quatro períodos específicos; no Rio de Janeiro foi considerado também o período de 1851-1900 (Obtido de Pinto et al., 2013).

(a)



(b)



(c)

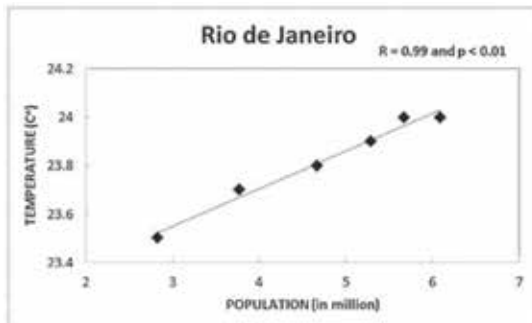


Figura 6 – Regressão Linear entre a temperatura média anual e a população das cidades de (a) São Paulo, (b) Campinas e (c) Rio de Janeiro (Obtido de Pinto et al., 2013).

Um estudo climatológico sobre a atividade de descargas elétricas também foi contemplado no trabalho de Pinto et al. (2013). Utilizando dados da Rede Nacional Integrada de Descargas (RINDAT) (<http://www.inpe.br/webelat/rindat/>) no período de 1999 a 2009, os autores mostraram que a

média de atividades de descargas elétricas para São Paulo, Campinas e Rio de Janeiro é da ordem de 8, 7 e 3 relâmpagos/km² por ano, respectivamente. A Figura 7 mostra em termos espaciais a densidade anual de descargas elétricas para o Sudeste do Brasil, considerando uma resolução espacial de 10 km para o período 1999-2009. Claramente observa-se a existência de um pico de atividades elétricas sobre as cidades de São Paulo e Campinas e na parte sul do estado do Rio de Janeiro.

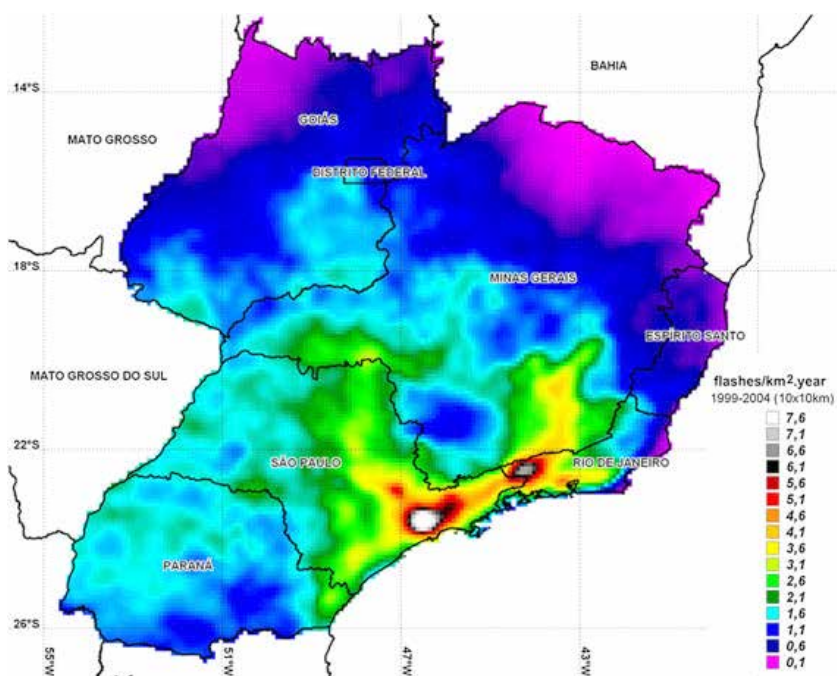


Figura 7 – Densidade de descarga elétrica média anual (relâmpagos/km² por ano) sobre o Sudeste do Brasil para o período 1999-2009 considerando os dados da rede RINDAT (Obtido de Pinto et al., 2013).

Utilizando os dez anos de dados de descarga elétrica da RINDAT, Cardoso et al. (2014) calcularam o número de mortes associadas a esse tipo de evento meteorológico. Como resultado geral, eles obtiveram que o número anual de mortes por relâmpago por milhões de pessoas no Brasil é de 0,8, um valor superior a 0,2, que representa a média observada nos países desenvolvidos (Holle, 2008). Em parte, a diferença pode ser explicada por uma maior percentagem da população envolvida em atividades rurais no

Brasil, em comparação aos países desenvolvidos. O Censo 2010 mostrou que a população é mais urbanizada que há dez anos. No Censo 2000, 81% dos brasileiros viviam em áreas urbanas; no Censo 2010, esse índice subiu para 84%. Esse número está relacionado com a incidência anual de descargas elétricas que atingem o solo no país, embora outros aspectos precisem ser considerados para melhor compreender as variações anuais de fatalidades. A Figura 8 mostra a localização de mortes por relâmpagos no Brasil entre 2000 e 2009. Esse trabalho de Cardoso et al. (2014) também fornece informações importantes sobre as regras de segurança para se proteger dos relâmpagos no Brasil.

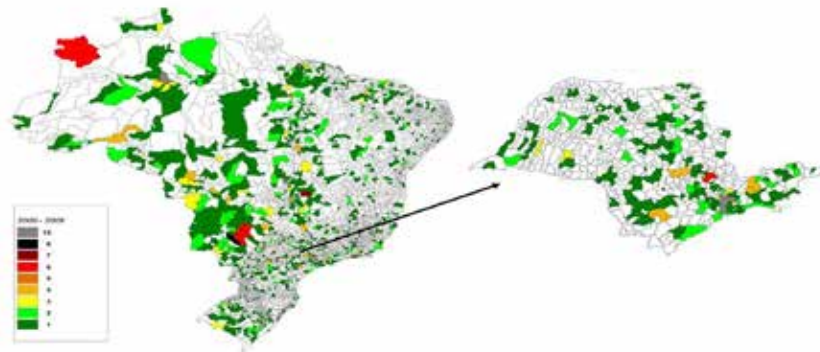


Figura 8 – Número total e localização de mortes por relâmpago no Brasil de 2000 a 2009 com destaque para o estado de São Paulo. Regiões em branco não relataram fatalidades durante o período (Adaptado de Cardoso et al., 2014).

Mineração de dados meteorológicos para previsão de eventos convectivos severos

As técnicas de mineração de dados para monitoramento e previsão de eventos convectivos severos disponibilizam ferramentas computacionais semiautomáticas que podem servir como auxílio ao meteorologista para a previsão de tempo. As previsões numéricas de modelos meteorológicos permitem identificar padrões indicativos de atividade convectiva fornecidos por variáveis de estado meteorológicas e/ou índices de instabilidade atmosférica. Dessa forma, foi desenvolvido e implementado ao longo do projeto o *software* de geração de campos de densidades de descargas EDDA

(Estimador de Densidade de Descargas Elétricas Atmosféricas) para monitorar eventos convectivos, bem como o *software* EDDA-CHUVA para estimativa da chuva convectiva. Ambas as ferramentas foram avaliadas operacionalmente no Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Também foram desenvolvidos algoritmos para detecção de padrões associados à atividade convectiva severa em saídas do modelo numérico de previsão do tempo Eta do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Tais algoritmos são baseados na teoria de conjuntos aproximativos, em redes neurais e em árvore de decisão, os quais apresentaram bons resultados quando foram testados fora do ambiente operacional.

O *software* EDDA-CHUVA demonstra a viabilidade de se estimar acumulados de chuva convectiva a partir de dados de descargas nuvem-solo. Esse algoritmo começou a ser avaliado operacionalmente no início de 2014 no CEMADEN e inclui as funcionalidades do *software* EDDA, que gera campos de densidade de ocorrência de descargas para monitoramento em tempo quase-real da atividade convectiva. Este último foi avaliado operacionalmente no CEMADEN em fins de 2012. A aplicação dessas ferramentas permitiu verificar que podem ser encontrados padrões associados à ocorrência de atividade convectiva nas previsões de modelos numéricos de mesoescala sendo esses padrões compostos por variáveis meteorológicas e/ou índices de instabilidade definidos a partir de dados “post-mortem” de eventos convectivos. Diversas abordagens de mineração de dados foram testadas com sucesso fora do ambiente operacional e estão sendo aperfeiçoadas. Um exemplo da evolução do EDDA-CHUVA pode ser observado na Figura 9, onde se pode avaliar a distribuição espacial da precipitação acumulada em 24 horas para o Sudeste do Brasil para um dia específico (1º de janeiro de 2013), que é comparada com dados observacionais para o mesmo dia. Apesar de superestimar a chuva em algumas regiões, os padrões gerais foram bem capturados.

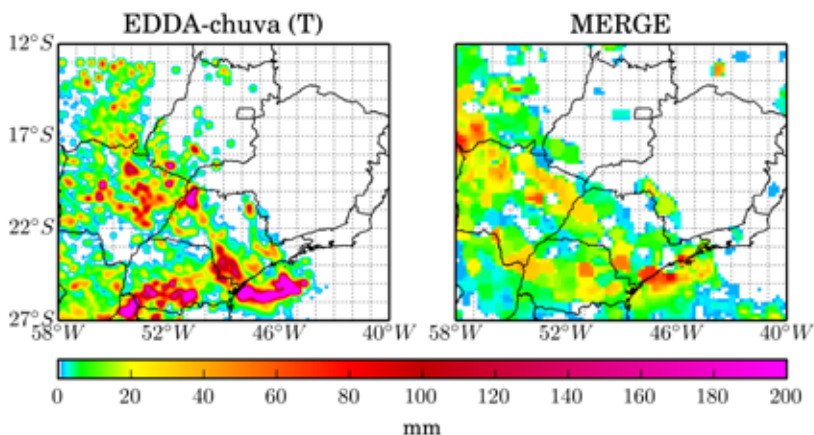


Figura 9 – Distribuição espacial da precipitação acumulada total estimada em 24 horas no dia 1º de janeiro de 2013 para o Sudeste Brasileiro: *software* EDDA-chuva (T) e MERGE (estimativa a partir de pluviômetros e dados do satélite TRMM) (Adaptado de Lima & Stephany, 2013).

Considerações finais

O subprojeto Detecção, Atribuição e Variabilidade Natural do Clima, inserido no INCT para Mudanças Climáticas, deu origem ao Tema Integrador Observações e Atribuição de Causas da Variabilidade e Extremos Climáticos. Ao longo destes últimos anos foram publicados 216 artigos científicos, entre revistas nacionais e internacionais, além de 49 capítulos de livros e 15 livros completos. Por outro lado, o grande legado a ser deixado por este trabalho de pesquisa são os recursos humanos formados: mais de 70 alunos, entre estudantes de graduação em nível de iniciação científica e de pós-graduação (mestrado e doutorado), além de pós-doutorado.

A comunicação dos resultados das pesquisas para a sociedade como um todo se deu através de várias mídias, em particular de jornais e TV. A Rede Globo, por exemplo, fez uma série especial para seu programa dominical Fantástico sobre descargas elétricas e impactos na sociedade, sendo este um trabalho desenvolvido no âmbito dos objetivos científicos originalmente propostos pelo subprojeto.

Outra importante contribuição relaciona-se com a interação entre diferentes pesquisadores de instituições distintas, possibilitando um

intercâmbio de ideias e discussões científicas, ingrediente necessário que possibilitou avançar no conhecimento da área.

Referências

Alexander, L. V.; X. Zhang; T. C. Peterson; e colaboradores, 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res. Atmos.*, v. 111, no. 5, Article ID D05109.

Alves, L. M., 2016: Análise estatística da sazonalidade e tendências das estações chuvosas e seca na Amazônia: Clima presente e Projeções futuras. Tese de Doutorado defendida no INPE, S. J. C, São Paulo, 112pp.

Cardoso, I.; O. Pinto Jr; I. R. C. A. Pinto; R. Holle, 2014: Lightning casualty demographics in BRAZIL and its implications to safety rules. *Atmospheric Research*, v. 135-136, p. 374-379.

Dias Pinto, J. R.; R. P. da Rocha, 2006: Estudo Sinótico de um Caso de Ciclogênese na Costa Sul e Sudeste do Brasil. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis.

Freitas, A. C. e T. Ambrizzi, 2012: Changes in the Austral Winter Hadley Circulation and the Impact on Stationary Rossby Waves Propagation. *Advances in Meteorology*, v. 2012, p. 1-15.

Gan, M. A. e B. V. Rao, 1991: Surface cyclogenesis over South America. *Mon. Wea. Rev.*, v. 119, p. 293-302.

Gan, M. A. e B. V. Rao, 1994: The Influence of the Andes Cordillera on Transient Disturbances. *Mon. Wea. Rev.*, v. 122, p. 1141-1157.

Haarsma, R. J e F. Selten, 2012: Anthropogenic changes in the Walker Circulation and their impact on the extra-tropical planetary wave structure. *Clim. Dyn.*, v. 39, p. 1781-1799. DOI: 10.1007/s00382-012-1308-1.

Haylock, M. R.; T. C. Peterson; L. M. Alves; T. Ambrizzi; Y. M. T. Anunciação; J. Baez; V. R. Barros; M. A. Berlato; M. Bidegain; G. Coronel; V. Corradi; V. J. Garcia; A. M. Grimm; D. Karoly, J. A. Marengo; M. B. Marino; D. F. Moncunill; D. Nechet; J. Quintana; E. Rebello; M. Rusticucci; J. L. Santos; I. Trebejo; L. A. Vincent, 2006: Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. *J. Climate*, v. 19, p. 1490-1512.

Hegerl, G. C.; H. von Storch; K. Hasselmann; B. D. Santer; U. Cubasch; P. D. Jones, 1996: Detecting greenhouse-gas-induced climate change with an optimal fingerprint method. *J. Clim.*, v. 9, p. 2281-2306.

Hegerl, G. C.; K. Hasselmann; U. Cubasch; J. F. B. Mitchell; E. Roeckner; R. Voss; J. Waszkewitz, 1997: Multi-fingerprint detection and attribution of greenhouse gas and aerosol-forced climate change. *Clim. Dyn.*, v. 13, p. 613-634.

Hegerl, G.C.; P. A. Stott; M. R. Allen; J. F. B. Mitchell; S. F. B. Tett; U. Cubasch, 2000: Optimal detection and attribution of climate change: Sensitivity of results to climate model differences. *Clim. Dyn.*, v. 16, p. 737-754.

Holle, R. L., 2008: Lightning-caused deaths and injuries in the vicinity of vehicles. 3rd Conf. on Meteorological Applications of Lightning Data. Amer. Meteor. Soc., New Orleans, LA, p. 10.

Hoskins, B. J. e T. Ambrizzi, 1993: Rossby wave propagation on a realistic longitudinally varying flow. *J. Atmos. Sci.* v. 50, p. 1661-1671.

Hoskins, B. J. e D. J. Karoly, 1981: The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. *J. Atmos. Sci.*, v. 38, p. 1179-1196.

Hu, Y. e Q. Fu, 2007: Observed poleward expansion of the Hadley circulation since 1979. *Atmos. Chem. Phys.*, v. 7, p. 5229-5236.

Hu, Y. e C. Zhou, 2008: Decadal changes in the Hadley circulation. *Advances in Geosciences*, v. 16, p. 61-71.

IPCC, 2007: Clim. Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp

Iwabe, C. M. N. e da Rocha R. P., 2009: An event of stratospheric air intrusion and its associated secondary surface cyclogenesis over the South Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, v. 114, p. 1-15, D09101. doi:10.1029/2008JD011119.

Johns, T. C.; J. M. Gregory; W. J. Ingram; C. E. Johnson; A. Jones; J. F. B. Mitchell; D. L. Roberts; D. M. H. Sexton; D. S. Stevenson; S. F. B. Tett; M. J. Woodage, 2001: Anthropogenic climate change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emission scenarios. *Hadley Centre Technical Note No. 22*, 62p.

Jones, P. D. e M. E. Mann, 2004: Climate over past millennia. *Rev. Geophys.*, v. 42, doi:10.1029/2003RG000143.

- Kalnay, E.; e Colaboradores, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v. 77, p. 437-471.
- Kanamitsu, M.; W. Ebisuzaki; J. Woollen; S.-K. Yang; J. J. Hnilo; M. Fiorino; G. L. Potter, 2002: NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Am. Met. Soc.*, v. 83, p. 1631-1643.
- Krüger, L. F., 2009: Projeções Climáticas das Ciclogêneses no Atlântico Sul Utilizando os Modelos HadAM3 e RegCM3. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, IAG/USP, 105p.
- Krüger, L. F.; R. P. da Rocha; M. S. Reboita; T. Ambrizzi, 2011: RegCM3 nested in HadAM3 scenarios A2 and B2: projected changes in extratropical cyclogenesis, temperature and precipitation over the South Atlantic Ocean. *Climatic Change*, v. 1, p. 1-23.
- Lima, G. R. T. e S. A. Stephany, 2013: New classification approach for detecting severe weather patterns. *Computers & Geosciences*, v. 57, p.158-165.
- Lu J; G. A. Vecchi; T. Reichler, 2007: Expansion of the Hadley cell under global warming. *Geophysical Research Letters*, v. 34, Article ID L06805. doi: 10.1029/2006GL028443.
- Lu J; C. Deser; T. Reichler, 2009: Cause of the widening of the tropical belt since 1958. *Geophysical Research Letters* v. 36, Article ID L03803. doi: 10.1029/2008GL036076.
- Marengo, J. A; T. Ambrizzi; G. Kiladis; B. Liebmann, 2002: Upper-air wave trains over the Pacific Ocean and wintertime cold surges in tropical-subtropical South America leading to Freezes in Southern and Southeastern Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 73, p. 223-242.
- Marengo, J. A., 2009: Long-term trends and cycles in the hydrometeorology of the Amazon basin since the late 1920s. *Hydrol. Processes*, v. 23, p. 3236-3244. doi:10.1002/hyp.7396.
- Marengo, J. A.; J. Tomsasella; L. M. Alves; W. Soares; D. A. Rodriguez, 2011: The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon Region. *Geophysical Research Letters*, v. 38, p. 1-5.
- Marengo JA, Espinoza JC. 2015. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia:causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, 36:1033–1050.
- Markson, R., 2007: The global circuit intensity. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v. 224, p. 233-241.
- Müller, G. V. e T. Ambrizzi, 2007: Teleconnection patterns and Rossby wave propagation associated to generalized frosts over Southern South America. *Clim. Dyn.*, v. 29 p. 633-645.

- Nobre, C. A., 2011: Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. Relatório Final / Carlos A. Nobre, coordenador. São José dos Campos, SP: INPE, 2011. 192 p. ISBN 978-85-17-00067-6
- Pal, J. S.; F. Giorgi; X. Bi; N. Elguindi; F. Solmon; X. Gao; S. Rauscher; R. Francisco; A. Zakey; J. Winter; M. Ashfaq; F. Syed; J. L. Bell; N. Diffenbaugh.; R. P. da Rocha, 2007: Regional Climate Modeling for the Developing World: The ICTP RegCM3 and RegCNET. *Bull. Am. Met. Soc.*, v. 88, p. 1395-1409.
- Pinto Jr., O. e I. R. C. A., Pinto, 2008: On the sensitivity of cloud-to-ground lightning activity to surface air temperature changes at different time scales in São Paulo, Brazil. *J. Geophys. Res.*, v. 113. doi: 10.1029/2008JD009841
- Pinto Jr., O.; I. R. C. A. Pinto; M. A. A. Ferro, 2013: Study of the long-term variability of thunderstorm days in southeast Brazil. *J. Geophys. Res.*, v. 118(11), p. 5231-5246.
- Piva, E. D. Estudo de caso sobre o papel dos fluxos de calor latente e sensível em superfície em processos de ciclogênese de costa leste ocorrido na costa da América do Sul. 162 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.
- Piva, E. D.; M. C. L. Moscati; M. A. Gan, 2008: Papel dos Fluxos de Calor Latente e Sensível em Superfície associado a um Caso de Ciclogênese na Costa Leste da América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, n. 4, p. 450-476.
- Reboita, M. S., 2008: Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade. Tese de Doutorado em Meteorologia, IAG/USP, 359p.
- Reboita, M. S.; C. M. Iwabe; R. P. da Rocha; T. Ambrizzi, 2009: Análise de um Ciclone Semi-Estacionário na Costa Sul do Brasil Associado a Bloqueio Atmosférico. *Rev. Bras. Meteorol.*, São Paulo , v. 24, n. 4, p. 407-422.
- Reichler, T. J., 2009: Changes in the Atmospheric Circulation as Indicator of Climate Change. In: *Climate Change: Observed impacts on Planet Earth*. Editor: Trevor M. Letcher, The Netherlands, pp. 145-164.
- Reichler, T.J. e I. M. Held, 2005: Evidence for a widening of the Hadley cell. 17th AMS Conference on Climate. Variability and Change, American Meteorological Society, Cambridge, Mass.
- Seidel, D. J.; Q. Fu; W. J. Randel; T. J. Reichler, 2008: Widening of the tropical belt in a changing climate. *Nature Geosciences*, v. 1, p. 21-24.
- Sekiguchi, M.; M. Hayakawa; A. P. Nickolaenko; Y. Hobara, 2006: Evidence on a link between the intensity of Schumann resonance and global surface temperature. *Ann. Geophys.*, v. 24, p. 1809-1817.

Silva Dias, M. A. F.; J. Dias; P. L. Silva Dias; E. D. Freitas; L. M. V. Carvalho, 2012: Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. *Climatic Change*, v. 116, p. 705-722.

Sinclair, M. R., 1996: Reply. *Mon. Wea. Rev.*, v. 124, p. 2615-2618.

Sugahara, S., 2000: Variação anual da frequência de ciclones no Atlântico Sul. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia – II Encontro Brasileiro de Interação Oceano Atmosfera, Outubro de 2000, Rio de Janeiro, 2607-2611.

Tyrrell, G. C. e D. J. Karoly, 1996: Links between tropical convection and variations of the extratropical circulation during TOGA COARE. *J. Atmos. Sci.*, v. 53(18), p. 2735-2748.

Vera, C. S.; P. K. Vigliarolo; E. H. Berbery, 2002: Cold Season Synoptic-Scale Waves over Subtropical South America. *Mon. Wea. Rev.*, v. 130, p. 684-699.

Yoon, J. H. e N. Zeng, 2010: An Atlantic influence on Amazon rainfall. *Clim. Dyn.*, v. 34, p. 249-264. doi:10.1007/s00382-009-0551-6.

Segurança Alimentar

Eduardo Delgado Assad¹
Renato de Aragão Rodrigues²
Stoécio Maia³
Luiz Claudio Costa⁴

Resumo

As ações referentes à segurança alimentar no âmbito dos estudos diretamente apoiados pelo INCT para Mudanças Climáticas foram basicamente centradas nos testes e adaptação de modelos e na avaliação de impactos de produtividade das culturas. Assim, foram estudados o impacto da fertilização do CO₂ na produtividade do milho e feijão, principalmente no estado de Minas Gerais, a avaliação da variabilidade da produção interanual do milho e da soja no Brasil sob os efeitos do aquecimento global, impacto do aquecimento global nas janelas de plantio do sorgo e sua compatibilidade com o zoneamento agrícola de risco climático, a adaptação e performance do modelo COPGRO para o feijão no Brasil, uso da água na produção de cana-de-açúcar e seus possíveis impactos na oferta de água no Brasil, estudos sobre seca e produtividade de culturas em condições de aquecimento global e finalmente os impactos do aquecimento global na produtividade da cana-de-açúcar no Brasil. A contribuição desse tema para o avanço do estado da arte das áreas de pesquisa do INCT para Mudanças Climáticas foi, principalmente, no ganho de conhecimento sobre o funcionamento

-
- 1 Embrapa Informática Agropecuária
 - 2 Embrapa Solos
 - 3 Instituto Federal de Alagoas
 - 4 Universidade Federal de Viçosa

das plantas sob condições de aquecimento global. Será preciso um esforço maior para cobrir todas as culturas de interesse comercial e que dizem respeito à segurança alimentar e nutricional no país. Os estudos realizados permitem fazer inferências diretas nas políticas de mitigação e adaptação da agricultura ao aquecimento global. Esse tema é atual e as políticas estão em discussão e elaboração. Estabelecer as vulnerabilidades para se evitar perdas futuras é de fundamental importância para essas políticas.

Introdução

O Relatório de Insegurança Alimentar no Mundo 2014, publicado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, na sigla em inglês), revela que o Brasil reduziu de forma muito expressiva a fome, a desnutrição e a subalimentação nos últimos anos. O Indicador de Prevalência de Subalimentação, medida empregada pela FAO há 50 anos para dimensionar e acompanhar a fome em nível internacional, atingiu nível inferior a 5%, o limite estatístico da medida, abaixo do qual se considera que um país superou o problema da fome.

Tal resultado vem ao encontro do que diversos estudos na temática, com diferentes indicadores, já apontavam, como o Relatório de Desenvolvimento Humano 2014, publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), e o Relatório Nacional de Acompanhamento dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, organizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), para citar alguns dos mais recentes.

A Política de Segurança Alimentar e Nutricional (SAN) ganhou impulso no Brasil por meio do reforço de marcos legais; da criação de um ambiente institucional que facilitou a cooperação e a coordenação entre os ministérios e as diferentes esferas de governo, com responsabilidades definidas; de maiores investimentos em áreas como agricultura familiar; e do forte envolvimento da sociedade civil no processo político.

Um dos marcos foi a promulgação da Lei Orgânica da Segurança Alimentar e Nutricional⁵, em 2006. A lei define segurança alimentar e nutricional como “a realização do direito de todos ao acesso regular e

5 Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111346.htm>. Acesso em 06/09/2016.

permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, tendo como base práticas alimentares promotoras da saúde que respeitem a diversidade cultural e que sejam ambiental, cultural, econômica e socialmente sustentáveis”. A amplitude dessa definição foi traduzida nas políticas e programas de governo, que incluíram ações que vão desde fomentar modelos agrícolas sustentáveis à educação alimentar e nutricional, abordagem que moldou o Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional⁶, atualmente em sua segunda edição.

O Brasil realizou grandes avanços na governança da segurança alimentar e nutricional ao longo da última década. Avanços significativos na diminuição da pobreza e da fome demonstram o êxito dessa abordagem intersetorial, participativa e bem coordenada. O Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional, desenvolvido com a participação da sociedade civil, está vinculado ao orçamento federal e a um sistema bem estruturado de monitoramento multidimensional da segurança alimentar e nutricional. O Plano Brasil Sem Miséria⁷, fundamentado em todos esses pontos, visa alcançar populações vulneráveis e investe na primeira infância – ações prioritárias que vislumbram o futuro.

Um esquema com comprovada utilidade, adotado na esfera internacional, aponta quatro dimensões da Segurança Alimentar e Nutricional (SAN): a disponibilidade do alimento, o acesso ao alimento, a utilização dos alimentos e dos nutrientes, e a estabilidade, que é uma dimensão transversal às outras três. É necessário garantir primeiro a disponibilidade de alimentos suficientes para toda a população, o que envolve questões de produção, comércio internacional e nacional, abastecimento e distribuição de alimentos.

Nesse sentido, as mudanças climáticas representam um imenso desafio à produção e à disponibilidade de alimentos, em cenários onde a disponibilidade de recursos naturais (como água e solo) e a geração de energia também são ameaçadas, ainda mais quando se leva em consideração o provável

6 Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (PLANSAN 2016-2019). Disponível em < <http://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2016/05/PLANSAN-2016.pdf>>. Acesso em 06/09/2016.

7 Disponível em < <http://mds.gov.br/assuntos/brasil-sem-miseria/o-que-e>>. Acesso em 06/09/2016.

aumento da frequência e intensidade dos extremos hidrometeorológicos e climáticos associados.

Outro aspecto que ameaça seriamente a segurança hídrica, alimentar e energética no Brasil e no mundo é o crescimento populacional. O trabalho “Perspectivas da População Mundial: A Revisão de 2015”, da Organização das Nações Unidas (ONU), aponta para uma população de 9,7 bilhões de pessoas no mundo até 2050, sendo que 6 bilhões de pessoas estarão vivendo em cidades e apenas 3 bilhões de pessoas, no campo.

Buscando fornecer subsídios para garantir a estabilidade e o aumento da produção e da produtividade na produção de alimentos no Brasil e no mundo, as pesquisas atuais em segurança alimentar no país buscam soluções para intensificar a produção agrícola nacional, de forma sustentável e totalmente integrada à manutenção e bom uso dos recursos hídricos e à geração de energia, diante deste cenário de aquecimento global e consequentes mudanças climáticas.

Muitos são os problemas enfrentados pela agricultura no Brasil e no mundo, principalmente por agricultores familiares, especialmente aqueles relacionados à pobreza e seus efeitos. As atuais vulnerabilidades sociais dessas populações são suscetíveis a aumentar com os impactos provocados pela mudança do clima.

Dentre os principais problemas identificados, podemos destacar:

1. 95% das perdas no setor agrícola brasileiro ocorrem em razão de inundações ou secas (Assad et al., 2008). Projeta-se que tais eventos extremos ocorram com mais frequência;
2. Considerando a magnitude relativa da variabilidade das precipitações em três escalas temporais - interanual, decenal e no longo prazo (100 anos), “a proporção da variação total explicada pela variabilidade do curto prazo é três vezes maior do que a tendência de longo prazo (mudança climática), e duas vezes maior do que a variabilidade decenal” (Baethgen, 2010);
3. A tendência futura indica redução das chuvas ao longo do tempo para as regiões Norte e Nordeste (INPE, 2015);
4. As principais perdas no ambiente rural projetadas por recentes estudos indicam a perda de terras agricultáveis como principal fator;
5. As regiões semiáridas do Nordeste ficarão mais secas, enquanto a parte leste da Amazônia brasileira se tornará um bioma mais parecido com a savana;

6. Para a agricultura, a tendência de seca pode levar a resultados negativos no âmbito da segurança alimentar, fator que acarretará preocupações para os agricultores familiares. Um exemplo que reflete essa preocupação é a projeção de que a mandioca pode desaparecer das regiões semiáridas do Nordeste. Projeta-se que a produção de milho também seja severamente impactada no Agreste do Nordeste (Santos et al., 2011);
7. Algumas culturas de sementes adaptadas ao clima tropical poderão migrar para o Sul do Brasil ou regiões mais altas para compensar o aumento na temperatura (Assad et al., 2008). Essa migração pode resultar na concorrência entre as áreas, bem como na migração do trabalho rural para regiões mais favoráveis;
8. Outros fatores esperados no âmbito do estresse criado nos sistemas agrícolas são a redução da fluidez das águas e do potencial de irrigação, aumento da incidência de pestes e doenças, mudanças nos biomas e diminuição da biodiversidade de animais e plantas. (World Bank, 2013).

Assim, uma compreensão abrangente dos principais fatores sociais, ambientais e econômicos que prejudicam a vida dos agricultores, em especial dos agricultores familiares, é importante para que medidas sejam tomadas a fim de aumentar a sua resiliência.

Para os grupos mais vulneráveis, mesmo pequenas mudanças no clima podem ter impactos desastrosos sobre suas vidas e seus meios de subsistência. A maioria das projeções de mudanças climáticas calculadas por modelos climáticos globais prevê que os danos serão desproporcionalmente suportados pelos agricultores de pequena escala, particularmente para os agricultores em países em desenvolvimento (Altieri & Koohakkan, 2008).

As tecnologias de produção agrícola com potencial de baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) e acúmulo de carbono no solo são extremamente estratégicas e poderão ser um diferencial mercadológico para os países que as adotarem, além de contribuírem para as ações de mitigação nacionalmente apropriadas (NAMAs) e a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Além disso, tecnologias como recuperação de pastagens degradadas, integração lavoura-pecuária-floresta, fixação biológica de nitrogênio, sistema plantio direto e florestas

plantadas, em geral, proporcionam aumento da produtividade e da renda líquida do produtor, além da capacidade de gerar empregos no meio rural.

Embora a agricultura seja uma das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa, a atividade é também altamente vulnerável às mudanças climáticas. Essa constatação deriva das consequências projetadas e decorrentes do aumento da temperatura global e da crescente variabilidade dos padrões de precipitação. Dessa forma, evidencia-se que uma mudança expressiva na paisagem agrícola deve ser esperada no Brasil durante as próximas décadas (Embrapa, 2008), incluindo as regiões Norte e Nordeste do país.

A produção agrícola é praticada por aproximadamente 30% da população rural global (Lasco et al., 2014), sendo os agricultores familiares os agentes mais vulneráveis e que precisarão de mais suporte para se adaptar. Embora seja um país com alta concentração de terra, no Brasil a agricultura familiar é responsável pela produção de grande parte da comida produzida nacionalmente. Decorrentes disso, as perdas causadas por eventos referentes ao clima no âmbito da agricultura familiar impactarão não somente a segurança alimentar dos agricultores diretamente dependentes dessa atividade, mas também os demais consumidores dependentes indiretamente dos produtos cultivados.

No sentido de garantir a segurança alimentar e nutricional da população, num mundo com previsão de crescimento populacional, necessidade de preservação ambiental, desenvolvimento de um novo modelo de crescimento econômico baseado na Economia Verde e mudanças climáticas, o desenvolvimento e disseminação de práticas de manejo que aumentem a resiliência dos produtores rurais frente à mudança do clima e impactem o mínimo possível o meio ambiente são de fundamental importância.

Levando esses aspectos em consideração, é fundamental que o mundo caminhe para a consolidação de uma agricultura sustentável, que seja economicamente viável, socialmente justa, ambientalmente correta e culturalmente diversa.

Para isso, é primordial que haja um amplo conhecimento dos recursos naturais do território nacional, em especial, solo e água. A partir dessas informações, é possível fazer um planejamento e ordenamento territorial e traçar os cenários de aptidão de uso da terra (ferramentas como o Zoneamento Agrícola de Risco Climático são de grande importância). A estratégia de ordenamento territorial pode ainda indicar quais produtos, tecnologias e sistemas de produção são mais indicados para ocupação do

solo em determinada região, considerando as características econômicas sociais e ambientais.

Os impactos do aquecimento global podem ser minimizados se o sistema de produção for capaz de usar mais intensamente as áreas de cultivo adequadas, identificadas neste capítulo. Parte da resposta deve vir da rotação de áreas de pastagem para o cultivo agrícola, onde haja o encurtamento do período de utilização de pastagens plantadas com um ciclo de três a cinco anos de culturas de cultivo intensivas.

Uma das principais culturas de cultivo do agronegócio, a soja, é também uma das culturas que devem ser mais afetadas pelas mudanças climáticas nas próximas décadas. A soja é altamente vulnerável à elevação de temperatura, e a sua plantação no nordeste do bioma Cerrado deve ser altamente impactada (Assad et al., 2008).

Dado que a soja é atualmente o principal produto agrícola do Brasil, essas perdas representam metade de todas as perdas agrícolas projetadas para o país (Margulis et al., 2010). Há dois potenciais resultados desse cenário, a saber: i) a diminuição da produção de soja na região Nordeste pode também diminuir as pressões do agronegócio sobre a agricultura familiar; ii) a diminuição na disponibilidade de terras para a produção de soja pode intensificar a expansão do agronegócio para terras atualmente ocupadas por pequenos e médios agricultores.

Métodos insustentáveis de uso da terra, tais como o plantio repetido de culturas comerciais no mesmo pedaço de terra, irrigação excessiva - que pode causar salinização na região Nordeste -, pastoreio excessivo pelo rebanho bovino, eliminação inadequada de resíduos, são atribuídos à falta de educação e conhecimento técnico que pode levar à degradação ambiental por parte, sobretudo, dos pobres e de pequenos agricultores.

Para o seu Quinto Relatório de Avaliação (AR5, 2013), o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) selecionou quatro Trajetórias Representativas de Concentração (Representative Concentration Pathways, RCP, na sigla em inglês) para compor seus cenários. As RCPs representam percursos diferentes para o forçamento radiativo total até 2100, identificados por seus níveis totais de forçamento radiativo: RCP2.6 = 2,6 Wm²; RCP4.5 = 4,5 W m²; RCP6.0 = 6,0 W m²; e RCP8.5 = 8,5 W m². Cada RCP reflete diferentes trajetórias para as emissões de gases de efeito estufa, partindo de uma trajetória de menor emissão e estabilização antes de 2100 (RCP 2.6) até uma trajetória de maior emissão de GEE (RCP 8.5). Há

também dois cenários de estabilização intermediários: RCP 4.5, que estima a estabilização das emissões de GEE até 2100; e RCP 6.0, que considera que o forçamento radiativo atingirá o pico após 2100, para então se estabilizar.

Até o final do século XXI, ou seja, ano de 2100, é esperado que a mudança de temperatura da superfície global exceda 1,5°C em todos os cenários RCP, com exceção do RCP 2.6 (cenário de baixa emissão: 1,0°C), sendo provável ou mais provável que não deva exceder 2°C em todos os cenários de emissões mais elevadas: 1,8°C para o RCP 4.5; 2,2°C para o RCP 6.0; e 3,7°C para o RCP 8.5. Esse aquecimento também é projetado para se estender para além de 2100 em todos os cenários, com exceção do RCP 2.6 (IPCC, 2014a). No entanto, é difícil determinar trajetórias de emissões futuras. As anomalias foram calculadas em relação ao período de 1850-1900.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vem avaliando os diferentes cenários de mudança global do clima propostos pelos modelos climáticos globais acoplados oceano-atmosfera nas avaliações AR4 e AR5 do IPCC e tem desenvolvido métodos de regionalização (*downscaling*) para o Brasil, utilizando modelos climáticos regionais, que são aplicados a projeções de mudança do clima a partir de modelos regionais de mudança climáticas, a fim de obter projeções climáticas mais detalhadas, com melhor resolução espacial.

Para esse fim, o INPE desenvolveu o modelo climático regional Eta-CPTEC (RCM) para a América do Sul e oceanos adjacentes, que é rodado em supercomputadores, dada a necessidade de enorme processamento em tempo real (PBMC, 2014).

Os resultados iniciais dos modelos climáticos regionais (Regional Climate Models, RCM, na sigla em inglês) derivados do modelo climático global do Hadley Centre (Reino Unido) foram disponibilizados em 2007. Mais recentemente, simulações Eta RCM conduzidas com as condições de clima global dadas por três modelos climáticos globais - o britânico HadGEM2-ES, o Brazilian Earth System Model (BESM), e o japonês MIROC5 - foram utilizadas para a avaliação das projeções de mudanças climáticas globais na América do Sul, América Central e Caribe, com uma resolução espacial horizontal de 20 km (conforme detalhado no Capítulo 13, Cenários climáticos para estudos de Impactos, Vulnerabilidade e Adaptação).

Além disso, quatro conjuntos de simulações regionalizadas (*downscaling*) baseados no Eta RCM realizados a partir de dois modelos climáticos

globais, o HadGEM2-ES e o MIROC5, e dois cenários RCP (4.5 e 8.5), foram elaborados a fim de avaliar as mudanças climáticas na América do Sul com base nas simulações do modelo climático regional Eta. As mudanças climáticas futuras foram avaliadas em faixas de tempo de 30 anos: 2011-2040; 2041-2070 e 2071-2100.

Os cenários globais (RCP 4.5 e RCP 8.5) sugeriram um aquecimento de 0,5-2°C para as regiões Norte e Nordeste do Brasil entre 2016 e 2035. Por um período de tempo semelhante (2011-2040), cenários regionalizados usando o Eta RCM apontam uma faixa semelhante para o aumento da temperatura utilizando as hipóteses do RCP 4.5 (0,5-1.5°C). No entanto, é possível destacar as diferenças locais, como, por exemplo, o fato de se esperar que as zonas costeiras sejam menos impactadas que o interior. Isto é particularmente problemático, uma vez que o interior do Nordeste já é atualmente mais seco e com tendências de reduzir a oferta pluviométrica (Lacerda et al., 2016). Ademais, é a área onde a agricultura familiar está concentrada e já enfrenta maiores desafios em relação à erradicação da pobreza. Tendências semelhantes podem ser observadas nas projeções regionalizadas baseadas no cenário RCP 8.5.

Entre 2041 e 2070, os impactos da mudança global do clima na região Nordeste são projetados para serem maiores, mas consistentes com a faixa de aumento de temperatura que é semelhante à das projeções do IPCC. Para o cenário regionalizado do RCP 4.5, as mudanças (devido à alta incerteza das mudanças de precipitação, aqui são consideradas somente as mudanças de temperatura) são menores durante o inverno (Junho-Julho-Agosto) e maiores durante o outono (Março-Abril-Maio) e primavera (Setembro-Outubro-Novembro). Diferenças também são mais elevadas para os níveis máximos de temperatura, nos cenários regionalizados RCP 4.5 e RCP 8.5. Estimativas feitas pelo INPE para os cenários regionalizados (PBMC, 2014) RCP 8.5 mostram uma pequena mudança na variação máxima de temperatura em comparação com os cenários globais usados pelo IPCC, com alterações chegando a um aumento de 4,5°C. Da mesma forma que, para o RCP 4.5, as projeções regionalizadas RCP 8.5 também mostram temperatura mais elevada no interior da região.

Projeções de precipitação, em geral, têm ainda maior incerteza do que aquelas de aumento da temperatura. Em relação a mudanças nos padrões de precipitação, o RCP 4.5 estima uma variação de -10% a +20% para o período 2016-2035 para as regiões Norte e Nordeste do Brasil, e uma faixa

semelhante de mudança (-20% a 20%), com uma distribuição espacial ligeiramente diferente, para o período seguinte, de 2046-2065. As estimativas do RCP 8.5 apresentam a mesma faixa para a mudança nos padrões de precipitação que o RCP 4.5, mas uma mudança de -20% seria mais provável (distribuição multi modelo de 25%).

Como era de se esperar, pelo fato de os modelos regionalizados representarem aspectos de resolução espacial mais fina como, por exemplo, topografia, contraste oceano-continente, para os padrões de chuva, os cenários regionalizados proporcionam ainda mais detalhes se comparados àqueles calculados pelos modelos climáticos globais. É possível ver os diferentes padrões para regiões específicas, e compará-los, em seguida, com as tendências atuais. Por exemplo, no norte do Nordeste brasileiro, a estação chuvosa ocorre durante Fevereiro-Março-Abril-Maio, e as projeções regionalizadas para Março-Abril-Maio apresentam reduções nos padrões de precipitação, juntamente com mais chuvas durante o verão (Dezembro-Janeiro-Fevereiro). A parte sul da Bahia experimenta mais chuvas durante o verão e os cenários regionalizados mostram uma redução da precipitação para essa região durante a estação chuvosa. Finalmente, o trimestre mais chuvoso da estação chuvosa da costa leste do Nordeste acontece durante o inverno (Junho-Julho-Agosto), e grandes mudanças não são mostradas nos cenários regionalizados. Reduções na precipitação durante a estação chuvosa, como previstas nos dois primeiros casos, são particularmente problemáticas caso não sejam compensadas por chuvas em outras épocas do ano.

Considerando que a variabilidade de curto prazo e os eventos extremos têm um impacto maior sobre a agricultura, e que as projeções mostram a possibilidade tanto de aumento como de diminuição nas tendências da precipitação, os formuladores de políticas públicas devem buscar iniciativas que possam fazer com que colheitas e agricultores sejam mais resilientes e menos vulneráveis em relação a alterações no regime de chuvas (Baethgen, 2010). Também se espera que a variabilidade de precipitação, com maior frequência de ocorrência de chuvas intensas (Carvalho et al., 2013) ao longo de diferentes anos, aumente nessas regiões.

Em resumo, um aumento de 0,8°C nas temperaturas médias globais desde 1950 pode não parecer muito, mas já causa impacto no sistema climático complexo, aumentando a frequência e a área coberta por condições meteorológicas extremas. Um verão excepcionalmente quente é dez vezes

mais comum hoje do que costumava ser entre 1951-1980, apenas algumas décadas atrás (Hansen et al., 2012).

No Brasil, a região onde se projeta o maior aumento na média de temperaturas nas próximas décadas é o Centro-Oeste. No entanto, até o final do século, projeta-se uma expansão dessa tendência também para o Norte e Nordeste, principalmente nas áreas centrais dessas regiões. Há ainda uma tendência geral para o Brasil de menor precipitação na estação de chuvas (verão), embora essa tendência seja mais forte para as regiões Sudeste e Centro-Oeste.

As regiões Norte e Nordeste devem passar maior variabilidade interanual de precipitação principalmente durante os meses de Dezembro-Janeiro-Fevereiro. Outros efeitos para essas regiões com relação à temperatura são:

- Expansão da tendência de elevação da temperatura para a região Nordeste, principalmente nas áreas centrais;
- Para o verão, as projeções indicam elevação entre 2 e 6°C na região;
- A parte nordeste da região Nordeste enfrentará elevação nas taxas de precipitação durante o verão.

Considerando que os eventos extremos devem crescer tanto em quantidade como em intensidade, políticas de adaptação sob medida para os pequenos agricultores devem levar em consideração os riscos de um aumento da variabilidade climática. As consequências esperadas desse novo padrão climático são secas mais constantes, bem como excesso de chuvas, por vezes na mesma região, durante anos diferentes. Políticas públicas para a agricultura também devem levar em consideração a intensificação das anomalias de temperatura locais, que na região podem resultar em ondas de calor mais extremas (Hansen et al., 2012). Se políticas públicas direcionadas não forem aplicadas, tais fenômenos terão consequências graves para diversos setores da economia no Brasil, em especial, a agricultura.

Evidências sugerem que a produção agrícola poderá ser muito afetada pela mudança climática, mas ainda há pouca compreensão quantitativa de como esses impactos na agricultura afetariam diretamente atividades econômicas em países como o Brasil (Hertel et al., 2010). Os efeitos das alterações climáticas na produção mundial de alimentos promovem aumento de preços e pobreza na sociedade. Em alguns casos, as mudanças climáticas

exercem uma influência positiva na redução da pobreza enquanto que em outros o mesmo não ocorre.

Evidentemente, os impactos das mudanças climáticas na segurança alimentar envolvem questões complexas, à medida que se integram os sistemas produtivos (Hertel, 2015).

Impacto da mudança do clima na produtividade de sementes cultivadas pela agricultura familiar no Brasil, nas regiões Norte e Nordeste

O impacto da mudança climática na produção agrícola depende dos efeitos sobre a produtividade, bem como nos mercados e preços. Os impactos das mudanças climáticas são maiores em produtores de baixa renda (FAO, 2016). Além disso, as mudanças climáticas já estão causando impactos na segurança alimentar e nutrição em comunidades mais vulneráveis (FAO, 2016).

O impacto de fatores climáticos, como o aumento da temperatura, nas culturas agrícolas, pode alterar os diferentes estágios de crescimento e desenvolvimento de cada planta, gerando consequências que podem agravar os efeitos na sua produtividade. Além das características de cada planta, o tipo de solo, a gestão agrícola e o genótipo de cada espécie são características importantes na relação do aumento de temperatura e produtividade (Carter, 2013). Em geral, se as exigências da cultura são satisfeitas, obtém-se bons níveis de produtividade, entretanto, quando isso não ocorre, pode-se esperar perdas de produtividade.

As alterações climáticas certamente criarão interferências na agricultura, alterações da temperatura, chuvas, ventos e elevação do nível do mar, podendo resultar em diferentes impactos, dependendo, por exemplo, do solo, do tipo de planta e da intensidade da alteração (Figura 1).

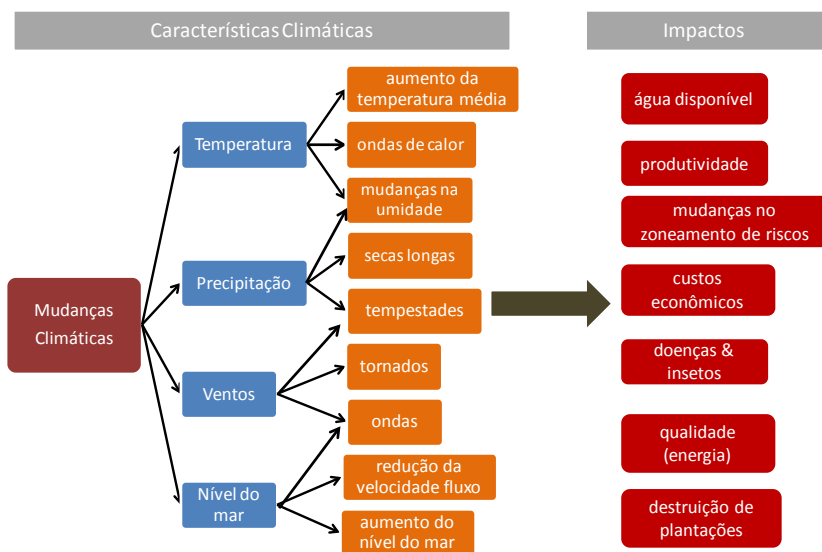


Figura 1 – Possíveis impactos das mudanças climáticas na agricultura (Assad et al., 2016).

A variabilidade climática é um fator importante na agricultura e bem conhecida pelo agricultor, no que diz respeito às chuvas e estiagens (variações naturais do clima) (Rocha, 2008). Os impactos causados pelo aumento da temperatura no setor da agricultura frente a um aquecimento igual ou superior a 3°C reforçam essa preocupação.

Uma avaliação preliminar dos cenários regionalizados produzidos pelo INPE (PBMC, 2014) também foi considerada para estimar as diferentes reações das plantas cultivadas em resposta às projetadas mudanças na temperatura e na precipitação. O resultado dessa pesquisa exploratória foi resumido na tabela a seguir.

Nas condições indicadas acima, o impacto da mudança climáticas na produtividade das culturas tende a ser como se segue na Tabela 1, segundo Assad et al., 2008:





Tabela 1 – Tendências de produção de algumas culturas no Brasil. Adaptado de Assad et al., 2008

	Brasil	Região Nordeste	Região Norte
Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	(↑)	(↓)	(↑)
Algodão (<i>Gossypium hirsutum</i>)	(↓)	(↓)	(↓)
Café (<i>Coffea arabica</i>)	(↓)	(↓)	(↓)
Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	(↓)	(↓)	(↓)
Feijão caupi (<i>Vigna unguiculata</i>)	(↓)	(↓)	-
Milho (<i>Zea mays</i>)	(↓)	(↓)	(↑)
Abacaxi (<i>Ananas comosus</i>)	(↓)	(↓)	(↓)
Banana (<i>Musa spp</i>)	?	(↓)	(↓)
Palma (<i>Elaeais guineensis</i>)	(↓)	(↓)	?
Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	(↓)	(↓)	-

Tomando como referência dois principais cenários do IPCC AR5 (RCP 4.5 e 8.5), a Tabela 2 a seguir apresenta as projeções dos cenários regionalizados para as regiões Norte e Nordeste do Brasil em termos dos impactos das mudanças da temperatura e da precipitação. Os quatro cenários simplificados são baseados na combinação das possíveis mudanças na temperatura e nos padrões de precipitação como uma tendência da variabilidade do clima no curto ou longo prazo.

Considerando as incertezas das modelagens climáticas, assim como o aumento de eventos extremos e da variabilidade do clima no decorrer do tempo, a tabela tem por objetivo oferecer uma estrutura simplificada para avaliar a vulnerabilidade das culturas de cultivo escolhidas. Os critérios utilizados estão baseados no Zoneamento Agrícola de Risco Climático, implantado no Brasil desde 1996 e que leva em consideração tipo de solo, temperatura, precipitação pluviométrica, ciclo da cultura, fases fenológicas, conforme descrito no trabalho de Assad et al., 2004.

Tabela 2 – Culturas de cultivo vulneráveis desagregadas por cenários de precipitação e temperatura

	 Warming trend Temperatura (RCP 4.5)	 Extreme temperature Temperatura (RCP 8.5)
(+) Precipitação  Extreme precipitation	<ul style="list-style-type: none"> • Mandioca • Café 	<ul style="list-style-type: none"> • Mandioca • Algodão • Café • Feijão • Milho • Abacaxi • Palma
(-) Precipitação  Drying trend	<ul style="list-style-type: none"> • Algodão • Café • Milho • Feijão caupi • Abacaxi • Banana • Palma 	<ul style="list-style-type: none"> • Mandioca • Palma • Algodão • Café • Feijão • Milho • Feijão caupi • Abacaxi • Banana • Cacau

É provável que os impactos das mudanças climáticas globais representem uma grande ameaça para a segurança alimentar no Brasil, se não consideramos ações de adaptação.

Estudos feitos no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas indicam que, se as cultivares, práticas de manejo e as tecnologias atuais forem mantidas, e caso as condições futuras do clima tendam ao cenário de emissões A1B do IPCC AR4 e RCP 8.5 do AR5, a mudança projetada do clima terá um efeito negativo na produtividade de milho no estado de Minas Gerais, quando se analisa apenas a água como fator de limitação para produtividade (Santos et al., 2011). Nesse mesmo sentido, os estudos de Costa et al. (2009) demonstraram que, nas condições de aquecimento, podem ocorrer reduções no potencial de produtividade do milho e do feijão para o período de 2050 a 2080 em até 30%, principalmente se forem associadas com o encurtamento de fases fenológicas. Entretanto, o efeito de fertilização por CO₂ (Costa et al., 2009) pode amortecer essa redução de produtividade pelo efeito térmico. Segundo Assad et al. (2016), considerando o aumento da

deficiência hídrica, o milho safrinha será a cultura mais afetada no Brasil, aumentado a área de alto risco climático para mais de 90%, no ano de 2085.

Grossi et al. (2013), analisando efeitos térmicos e de fertilização por CO_2 , encontraram mudanças no comportamento do sorgo, principalmente em Minas Gerais. Na linha da simulação de modelos, Justino et al. (2013) indicam perda substancial da produtividade de milho na região Norte do Brasil. Estudos similares também foram feitos para cana-de-açúcar (Marin et al., 2013), indicando aumento de produtividade. À exceção da cana-de-açúcar, as culturas estudadas atingem diretamente a agricultura familiar no Brasil.

De acordo com a base de dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), no cenário mais pessimista de aumento das emissões de CO_2 , o limite de aumento de 3°C no planeta seria ultrapassado aproximadamente em 2055, e de 4°C , aproximadamente, em 2075 (Figura 2).

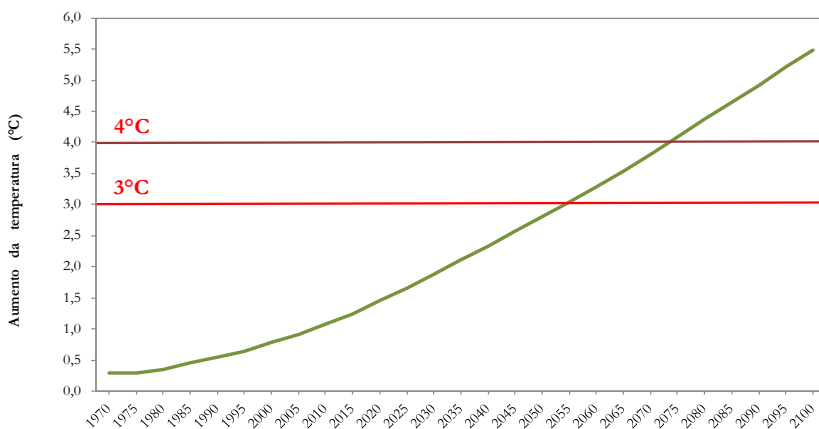


Figura 2 – Evolução do aumento de temperatura no planeta entre 1971-2013 (Elaborado pelos autores com base nos dados OECD, 2015).

A análise de dados da OECD da evolução das emissões de CO_2 per capita do Brasil entre 1971-2013 indica que as emissões se encontram em crescimento principalmente na última década (Figura 3). Porém, quando comparadas a outros países como Reino Unido e Argentina, apresentam valores inferiores.

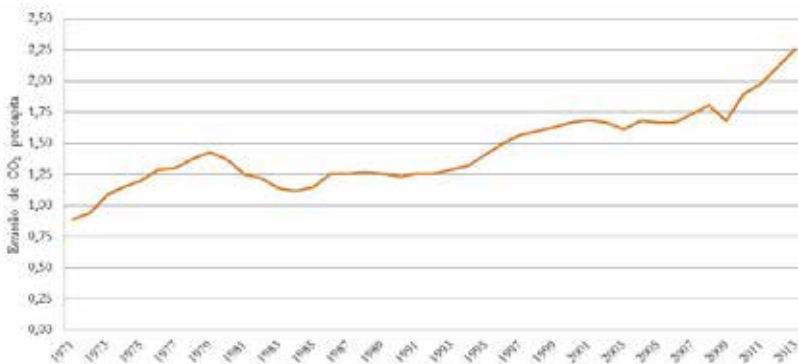


Figura 3 – Evolução das emissões de CO₂ per capita no Brasil entre 1971-2013, referentes à agricultura (Elaborado pelos autores com base nos dados OECD 2015).

O efeito direto do aumento da concentração de CO₂ nas plantas é a possibilidade do incremento da taxa de crescimento das plantas e produtividade das culturas, uma vez que a concentração de CO₂ é um fator limitante para fotossíntese. Se o aumento da concentração de CO₂ for acompanhado de aumento da temperatura do ar, poderá haver redução do ciclo das culturas e aumento da respiração do tecido vegetal, reduzindo ou anulando os efeitos benéficos do CO₂. No entanto, os efeitos do aumento da concentração do CO₂ e da temperatura variam de acordo com a cultura analisada (Walter et al., 2010).

O aumento de temperatura, junto com alterações dos padrões de chuva, deverá prejudicar a produção agrícola, reduzindo os ganhos de produtividade, contribuindo para aumento de preços dos alimentos e uma demanda de abastecimento cada vez mais precária (WEF, 2016).

Todos os aspectos da segurança alimentar são potencialmente afetados pela mudança climática, incluindo o acesso aos alimentos, utilização e estabilidade dos preços. O aumento da temperatura global de aproximadamente 4°C ou mais no final do século XXI, combinado com o aumento da demanda de alimentos, poderia representar grandes riscos para a segurança alimentar em níveis mundial e regional (IPCC, 2014b).

Entre 1980 e 2005, o Brasil obteve uma redução da pobreza de mais de 50%, sendo que a agricultura teve um papel importante, em parte significativa como resultado do aumento do investimento público em pesquisa, extensão e educação (Cervantes-Godoy & Dewbre, 2010).

O crescimento das exportações agrícolas brasileiras tem sido associado a uma alteração na composição do mercado, em que houve uma mudança de produtos tradicionais tropicais, como suco de laranja, café e em relação à soja, açúcar e carnes. A exportação da produção agrícola é em média de 25%, tendo alcançado 30% de participação em 2004 (~40% das exportações são destinadas ao mercado da União Europeia) (OECD, 2005).

A análise histórica da agricultura no Brasil indica que ela se encontra em fase de expansão, tanto no aumento da quantidade produzida como na área cultivada (Figura 4), sendo que o incremento tecnológico é evidente quando se observa o aumento da produção (4,8% aa) em relação ao aumento da área (1,7% aa). A agricultura brasileira está se movendo de regiões subtropicais do Sul para as áreas tropicais de savana brasileira no Centro-Oeste (Cerrado), onde a produção é principalmente de sequeiro (Assad et al., 2015).



Figura 4 – Evolução da produção de grãos e aumento de área no Brasil entre 1991-2013 (Adaptado de Assad et al., 2015).

O aumento da temperatura provocado pelas mudanças climáticas cria impactos nos serviços ecossistêmicos, como por exemplo, a polinização feita principalmente por insetos como as abelhas. Essa simbiose planta/polinizador é sensível a altas temperaturas, sendo que em locais tropicais como o Brasil esses polinizadores estão já perto de sua faixa ideal de tolerância de temperatura (FAO, 2016).

O aumento de temperatura igual ou superior a 3°C é suficiente para tornar inviável a agricultura em muitas áreas, não sendo possível ainda avaliar completamente o impacto no agronegócio brasileiro. Estudos baseados em

simulação de culturas para o arroz, feijão, milho, soja e café indicam grandes perdas de áreas cultivadas, considerando esse cenário.

A agricultura é um dos setores mais afetados por eventos naturais extremos. Com a mudança do clima, os riscos para a segurança alimentar e nutricional são multiplicados pelo esperado aumento na frequência e intensidade de extremos e desastres relacionados com o clima (FAO, 2015). O aumento da temperatura média também implica em alterações na precipitação e vento, dentre outros fatores.

As projeções dos efeitos das mudanças climáticas para 2050 no Brasil referentes à agricultura indicam que haveria perdas expressivas nesse setor da economia. As regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas no Brasil seriam a Amazônia e o Nordeste. Na Amazônia, o aquecimento pode chegar a 8°C em 2100. Alguns modelos indicam a possibilidade de alteração da Floresta Amazônica, a chamada “savanização” (Senna et al., 2014). Haveria perdas expressivas para a agricultura em todos os estados, com exceção daqueles com climas mais frios, no Sul-Sudeste, que passariam a ter temperaturas mais amenas. Com exceção da cana-de-açúcar, todas as culturas sofreriam redução das áreas com baixo risco de produção, em especial soja (-34% a -30%), milho (-15%) e café (-17% a -18%) (Tabela 3). A produtividade cairia em particular nas culturas de subsistência no Nordeste (Margulis & Dubeux, 2010).

Tabela 3 – Perdas acarretadas pela mudança no clima na agricultura do Brasil (em R\$ de 2008)

Tipo de cultura	Variação % da área de baixo risco (2050)	Impacto na produtividade média por região	Perda econômica anual (R\$)
Arroz	-12%	-12% (CO) e +44% (S)	R\$ 530 milhões/ano
Algodão	-14%	----	R\$ 408 milhões/ano
Café	-17%	----	R\$ 1.597 milhões/ano
Feijão	-10%	-8% (CO) e +37% (S)	R\$ 363 milhões/ano
Soja	-34%	-0,7 (CO) e +21% (S)	R\$ 6.308 milhões/ano
Milho	-15%	-27% (NE) e -10% (S)	R\$ 1.511 milhões/ano
Cana-de-açúcar	139%	+66% (S) e +34% (SE)	----

Adaptado de Margulis & Dubeux (2010).

A redução da área de baixo risco para a agricultura deve promover fortes perdas de produção, sendo que o aumento de temperatura implica

que todas as culturas analisadas neste trabalho sofrerão impactos negativos (com exceção da cana-de-açúcar e da mandioca), apresentando uma diminuição de produção, que pode ser dramática em algumas regiões (Pinto et al., 2008).

Considerando as condições esperadas para os próximos anos e dependendo das espécies, as respostas fisiológicas de culturas sugerem que a dinâmica de crescimento será acentuada, com ligeiras modificações em desenvolvimento, tais como a floração e a frutificação (Da Matta et al., 2010). Além disso, destacam-se variações na qualidade dos alimentos num ambiente mais quente, com alta concentração de CO₂. Espera-se, por exemplo, a diminuição das concentrações de proteína e de nutrientes minerais, bem como a composição lipídica alterada (DaMattaa et al., 2010).

Um estudo de modelagem climática (modelo HadCM3 usando o cenário de emissões A2 do IPCC AR4) para as projeções de mudança de temperatura na agricultura brasileira para o ano de 2040 indica que existem alguns impactos positivos devido a mudanças de temperatura em função de aumentos de temperatura mínima, enquanto impactos negativos surgem a partir do estresse hídrico devido a aumento da evapotranspiração (Silva et al., 2014).

Para os níveis de temperatura estimados até 2100, a região Nordeste brasileira poderá apresentar aumentos de temperatura de até 3,4°C; temperatura média futura está compreendida no intervalo de 28,37 a 28,63°C. Com base nessas estimativas, nota-se que culturas como a mandioca, cujo plantio acontece em temperaturas médias entre 20°C e 27°C, estarão muito suscetíveis ao clima, o que, diretamente, reflete em impactos econômicos para os estados produtores do Nordeste. Vale observar que, em média, o nível de precipitação da região Nordeste poderá reduzir cerca de 10%.

Principais atividades desenvolvidas e contribuições do tema Segurança Alimentar desde o início do INCT para Mudanças Climáticas

As ações referentes à segurança alimentar no âmbito dos estudos diretamente apoiados pelo INCT para Mudanças Climáticas foram basicamente centradas nos testes e adaptação de modelos e avaliação de impactos de produtividade. Assim, foram estudados:

- impacto da fertilização do CO₂ na produtividade do milho e feijão
- avaliação da variabilidade interanual do milho e da soja no Brasil sob os efeitos do aquecimento global
- impacto do aquecimento global nas janelas de plantio do sorgo
- performance do modelo COPGRO para o feijão no Brasil
- uso da água na produção de cana-de-açúcar
- estudos da sobre seca e produtividade de culturas em condições de aquecimento global
- impactos do aquecimento global na produtividade da cana-de-açúcar no Brasil

A contribuição desse tema para o avanço do estado da arte das áreas de pesquisa do INCT para Mudanças Climáticas será, principalmente, no ganho de conhecimento sobre o funcionamento das plantas sob condições de aquecimento global. Será preciso um esforço maior para cobrir todas as culturas de interesse comercial e que dizem respeito à segurança alimentar e nutricional no país.

Os estudos realizados permitem fazer inferências diretas nas políticas de mitigação e adaptação da agricultura ao aquecimento global. Este tema é atual e as políticas estão em discussão e elaboração. Estabelecer as vulnerabilidades para se evitar perdas futuras é de fundamental importância para essas políticas.

Os principais instrumentos a serem adotados pelo tema transversal para acompanhar a atuação global no sentido de cumprimento das metas do INCT para Mudanças Climáticas dizem respeito à validação de modelos de produção e produtividade adaptados ao Brasil e sua extensão geográfica. Ao mesmo tempo, é importante a definição de políticas públicas principalmente de adaptação das espécies produtivas e que fazem parte do agronegócio brasileiro.

Espera-se que o ganho de conhecimento ocorrido durante o INCT para Mudanças Climáticas permita nortear as ações de adaptação genética das culturas no Brasil e estabelecer os limites da adaptação por região, ou por bioma. O conhecimento das respostas à fertilização por CO₂ e por deficiência hídrica acentuada poderá indicar novas linhas de pesquisa na busca de espécies da biodiversidade brasileira, cujos genes já tenham na sua expressão gênica, tolerância a altas temperaturas e à seca.

Referências

- Altieri, M. A., & Koohafkan, P. (2008). *Enduring farms: climate change, smallholders and traditional farming communities*. Environment and development series 6. Penang: Third World Network.
- ANA. (2010). *Panorama Nacional: Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água*. Engecorps, Cobrape. Brasília: ANA.
- ANA. (2007). *Diagnóstico da outorga de direito de recursos hídricos no Brasil, e, Fiscalização dos usos de recursos hídricos no Brasil*. Brasília: ANA.
- ANA. (2015). *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Informe 2014*. Brasília: Agência Nacional de Águas.
- ANEEL. (2015). *Sistema de Apoio à Decisão*. Acesso em fevereiro de 2016, disponível em <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550>
- Assad, E. D., Pinto H. S., Zullo Jr., J., Ávila, A. M. H. de, 2004. Impacto das Mudanças Climáticas no Zoneamento Agroclimático do Café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 11, 2004.
- Assad, E. D., Marin, F. R., Valdivia, R. O., & Rosenzweig, C. (2015). AgMIP regional activities in a global framework: The Brazil experience in a Global Framework. Em C. Rosenzweig, & D. Hillel (Eds.), *Handbook of Climate Change and Agroecosystems: The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP) Integrated Crop and Economic Assessment, Part 2* (pp. 355-374). ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation Vol. 3. Imperial College Press. doi:10.1142/9781783265640_0023
- Assad, E. D., Martins, S. M., Beltrão, N. E., & Pinto, H. S. (janeiro de 2013). Impacts of climate change on the agricultural zoning of climate risk for cotton cultivation in Brazil. *Pesq. Agrope. Bras.*, 48(1), pp. 1-8. doi:10.1590/S0100-204X2013000100001
- Assad, E. D., Oliveira, A. F., Nakai, A. M., Pavão, E., Pellegrino, G., & Monteiro, J. E. (2016). Impactos e vulnerabilidades da Agricultura Brasileira às mudanças climáticas. Em MCTI (Ed.), *Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil* (pp. 127-187). Brasília, DF, Brasil: MCTI.
- Assad, E., & Pinto, H. S. (2008). *Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil*. Brasília: Embrapa.
- Baethgen, W. E. (Março-Abril de 2010). Climate Risk Management for Adaptation to Climate Variability and Change. *Crop Science*, 50.
- Bernardo, S. (1989). *Manual de Irrigação*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.

- Bernardo, S. (08 de agosto de 2006). *Agência Embrapa de Informação tecnológica*. Acesso em 2016, disponível em https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana_irrigada_producao_000fizvd3t102wyiv802hvm3jlwle6b8.pdf
- Brasil. (15 de setembro de 2006). Lei nº 11.346. *Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional*.
- Brasil. (2009). *Construção do Sistema e da Política Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional: a experiência brasileira*. FAO e IICA, CONSEA - Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome. Brasília: MDS.
- Brasil. (2011). *Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional 2012-2015*. Brasília.
- Brasil. (2013). *LEI Nº 12.787, DE 11 DE JANEIRO DE 2013*. Fonte: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112787.htm
- Cabral, O. M., Gash, J. H., Rocha, H. R., Marsden, C., Ligo, M. A., Freitas, H. C., Gomes, E. (2011). Fluxes of CO₂ above a plantation of Eucalyptus in southeast Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(1), pp. 49-59.
- Cabral, O. M., Rocha, H. R., Gash, J. H., Ligo, M. A., Tasch, J. D., Freitas, H. C., & Brasílio, E. (2012). Water use in a sugarcane plantation. *GCB Bioenergy*, 4(5), pp. 555-565.
- Carter, T. R. (2013). Agricultural Impacts: Multi-model yield projections. *Nature Climate Change*, 3, pp. 784-786.
- Carvalho, I., Korcelski, C., Pelissari, G., Hanuas, A., & Rosa, G. (2013). Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, 9.
- Cervantes-Godoy, D., & Dewbre, J. (2010). Economic Importance of Agriculture for Poverty Reduction. (O. Publishing, Ed.) *OECD Food, Agriculture and Fisheries Working Papers*. doi:10.1787/5kmmv9s20944-en
- CODEVASF. (Jan de 2016). Acesso em Jan de 2016, disponível em Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba: <http://www2.codevasf.gov.br/empresa/DefaultPage>
- CONAB. (2015). *Companhia Nacional de Abastecimento*. Acesso em fevereiro de 2016, disponível em Levantamento de Safra: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>
- Costa, L. C., Justino, F. B., Oliveira, L. J., Sediñana, G. C., Ferreira, W. P., & Lemos, C. F. (2009). Pontial forcing of CO₂, technology and climage changes in maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) yield in southeast Brazil. *Environmental REsearch Letters*, pp. 1-10.

- DaMatta, F. M., Grandisb, A., Arenque, B. C., & Buckeridge, M. S. (7 de August de 2010). Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. *Food Research International*, 43(7), pp. 1814-1823. Fonte: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996909003421>
- DNOCS. (jan de 2016). *Departamento Nacional de Obras Contra as Secas*. Acesso em jan de 2016, disponível em <http://www.dnocs.gov.br/>
- FAO. (2011). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture. Managing systems at risk*. New York: Earthscan.
- FAO. (2016). *Climate change and food security: Risks and responses*. No prelo.
- FAO, IFAD & WFP. (2015). *The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress*. Roma: FAO. Acesso em 6 de Setembro de 2016, disponível em <http://www.fao.org/3/a4ef2d16-70a7-460a-a9ac-2a65a533269a/i4646e.pdf>
- FEALQ. (2014). *Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil*. IICA, MI. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz.
- Grossi, M. C., Justino, F., Andrade, C. L., Santos, E. A., Rodrigues, R. A., & Costa, L. C. (2013). Modeling the impact of global warming on the sorghum sowing window in distinct climates in Brazil. *European Journal of Agronomy*, 51, pp. 53-64.
- Hansen, J., Sato, M., & Ruedy, R. (2012). Perception of climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 109, pp. E2415-E2423.
- Hertel, T. W. (2015). Food security under climate change. *Nature Climate Change*, 6, pp. 10-16.
- Hertel, W. T. (2012). Increasing Climate Extremes and the New Climate Dice. Acesso em 7 de julho de 2015, disponível em http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2012/20120811_DiceDataDiscussion.pdf
- Hertel, W. T., Burke, M. B., & Lobell, D. B. (2010). The Poverty Implications of Climate-Induced Crop Yield Changes by 2030. *GTAP Working Paper*.
- Hertel, W. T., Verma, M., Ivanic, M., Magalhães, E., Ludena, C., & Rios, A. R. (2015). GTAP-POV: A Framework for Assessing the National Poverty Impacts of Global Economic and Environmental Change. *GTAP Technical Paper*.
- IBGE. (dezembro de 2014). *SIDRA*. Acesso em 16 de dezembro de 2015, disponível em *Produção Agrícola Municipal*: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PA&z=t&o=11>
- IBGE. (2015). *Produção Agrícola Municipal: culturas temporárias e permanentes*. Rio de Janeiro: IBGE.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). (2015). Cenários de Mudanças Climáticas: Regionalização. Unpublished.

Instituto Rio Grandense do Arroz. (Dezembro de 2015). *Safras*. Acesso em 11 de Dezembro de 2015, disponível em IRGA: http://www.irga.rs.gov.br/upload/20150720134318producao_rs_e_brasil.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *4th Assessment Summary for Policymakers*. WG1. IPCC.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). *5th Assessment Summary for Policymakers*. WG1. IPCC.

IPCC. (2014a). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.). Geneva, Switzerland: IPCC.

IPCC. (2014b). Summary for policymakers. Em C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, . . . L. L. White (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the IPCC AR5* (pp. 1-32). Cambridge and New York: Cambridge University Press.

IPEA. (2014). *Objetivos de Desenvolvimento do Milênio - Relatório Nacional de Acompanhamento*. IPEA.

Justino, F., Mélo, A. S., Setzer, A., Sismanoglu, R., Sediya, G. C., Ribeiro, G. A., Sterl, A. (2011). Greenhouse gas induced changes in the fire risk in Brazil in ECHAM5/MPI-OM coupled climate model. *Climatic Change*, 106, pp. 285-302. doi:10.1007/s10584-010-9902-x

Justino, F., Oliveira, E. C., Rodrigues, R. A., Gonçalves, P. H., Souza, P. J., Stordal, F., Costa, L. C. (2013). Mean and interannual variability of maize and soybean in Brazil under global warming conditions. *American Journal of Climate Change*, 02, pp. 237-253.

Lasco, R. D., Delfino, R. J., & Espaldon, M. L. (2014). Agroforestry systems: helping smallholders adapt to climate risks while mitigating climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5, pp. 825-833.

Lima, J., Ferreira, R., & Christofidis, D. (1999). O Uso da Irrigação no Brasil. Em SRH., Aneel & MME., *Estado das água no Brasil - 1999. Perspectivas de gestão e informação de Recursos Hídricos*. (pp. 73-82). SRH.; MMA.

Machado-Filho, H., Moraes, C., Bennati, P., Rodrigues, R. A., Builles, M., Rocha, P., Vasconcelos, I. (2016). *Mudança do clima e os impactos na agricultura familiar no Norte e Nordeste do Brasil - Working Paper nº 141*. Brasília: Centro Internacional de Políticas para o Crescimento Inclusivo.

Margulis, S., & Dubeux, C. B. (2010). *Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades*. São Paulo: IBEP Gráfica. Fonte: https://www.scribd.com/fullscreen/34595160?access_key=key-o7i2sr431843t6irzyp

Marin, F. R., Jones, J. W., Singels, A., Royce, F., Assad, E. D., Pellegrino, G. Q., & Justino, F. (2013). Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. *Climatic Change*, 117(1/2), pp. 227-239.

Marouelli, W., & silva, R. H. (dezembro de 2015). *Embrapa Hortaliças*. Acesso em 14 de dezembro de 2015, disponível em Embrapa: http://www.cnpq.embrapa.br/paginas/sistemas_producao/cultivo_da_pimenta/irrigacao.htm

Ministério do Planejamento. (2011). *PPA 2012-2015. Plano Mais Brasil - Mais Desenvolvimento, mais igualdade, mais participação. Mensagem Presidencial*. Brasília.

Ministério do Planejamento. (2014). *PPA Mais Brasil*. Acesso em fevereiro de 2016, disponível em <http://ppamaisbrasil.planejamento.gov.br/sitioPPA/paginas/todo-ppa/programas.xhtml>

Ministério do Planejamento. (2015). *Plano Plurianual 2016-2019. Desenvolvimento, Produtividade e Inclusão Social*. Brasília.

Nolasco, C. L., Lahsen, M., & Ometto, J. P. (2016). Segurança Alimentar e Mudanças Ambientais Globais: uma análise no contexto da sociedade brasileira. *Sustentabilidade em Debate*, 7(1), pp. 29-43.

OECD. (2005). *Review of Agricultural Policies - Brazil*. OECD.

OECD. (2015). *Air and GHG emissions (indicator)*. OECD. doi:10.1787/93d10cf7-en

Oliveira, E. C., Costa, J. M., Trazilbo, J. P., Ferreira, W. P., Justino, F., & Neves, L. O. (2012). The performance of the CROPGRO model for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield simulation. *Ata Scientiarum Agronomy*, 34, pp. 22-30.

Ortega, A., & sobel, T. (jul/dez de 2010). Desenvolvimento territorial e perímetros irrigados: avaliação das políticas governamentais implantadas nos perímetros irrigados Bebedouro e Nilo Coelho em Petrolina (PE). *Planejamento e Políticas Públicas*, 35.

PBMC. (2014). *Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*. Fonte: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos_publicos/GT2/GT2_volume_introducao.pdf

Pinto, H. S., Assad, E. D., Junior, J. Z., Evangelista, S. R., Otavian, A. F., Ávila, A. M., Coral, G. (2008). *Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil*. São Paulo: Embrapa.

PNUD. (2014). *Relatório do Desenvolvimento Humano 2014*. Nova York: PNUD. Acesso em 6 de Setembro de 2016, disponível em http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2014_pt_web.pdf

Rocha, M. T. (2008). Muda o clima, muda a agricultura. *Revista Agrianual*, 11-13.

Roquetti Filho, D. (2014). *Projeções para adoção, produção agrícola e balanços de gases de efeito estufa para o arroz, feijão, trigo, milho e soja no Brasil, 2011-2062*. Tese de mestrado em agronegócio. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas.

Salati, E., Schindler, W., Victoria, D. C., Salati, E., Souza, J., & Villa Nova, N. (2009). *Economia das mudanças climáticas no Brasil. Estimativas da oferta de recursos hídricos no Brasil em cenários futuros de clima (2015 - 2100)*. FBDS.

Santos, R. S., Costa, L. C., Sediyaama, G. C., Leal, B. G., Oliveira, R. A., & Justino, F. B. (2011). Avaliação da relação seca/produktividade agrícola em cenário de mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26, pp. 313-321.

Schaeffer, R., Szklo, A., Lucena, A., Souza, R., Borba, B., Costa, I., . . . Cunha, S. D. (2008). *Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil*. COPPE/UFRJ.

Senna, M.C.A.; Costa, M.H.; Davidson, E.A.; Nobre, C.A. Modeling the impact of net primary production on post disturbance Amazon Savannization. *An. Acad. Bras. Ciênc.* vol.86 no.2, Rio de Janeiro, Junho 2014, <http://dx.doi.org/10.1590/0001-37652014108212>

Silva, A., Pires, R., Ribeiro, R., Machado, E., & Rolim, G. (2012). Consumo de água de variedades de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento subsuperficial. *INOVAGRI-International Meeting*. Fortaleza.

Silva, M., Arantes, M., Rhein, A. F., Gava, G., & Kolln, O. (2014). Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 241-249.

Silva, V. P., Valentim, J. F., Vianna, M., & Assad, E. D. (2014). When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *global Environmental Change*, 28, pp. 84-97.

SIPPI. (2015). *Sistema de Informação sobre Projetos Públicos de Irrigação*. Acesso em junho de 2015, disponível em Ministério da Integração Nacional: <http://www.mi.gov.br/sistema-de-informacoes-sobre-projetos-publicos-de-irrigacao>

Sparovek, G., Leite, C., Barreto, A., Maule, R., & Dourado, D. (2015). Análise territorial e potencial da agricultura irrigada no Brasil. *ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna*.

UNDP. (2014). *The Extractive Sector and Sustainable Development. Enhancing Public-Private-Community Cooperation in the Context of the Post-2015 Agenda. 2014 Meeting Report*. Brasília: UNDP.

UNESCO. (2003). *Water for people, water for life*. UNESCO.

Walter, L. C., Streck, N. A., Rosa, T. H., & Krüger, C. A. (2010). Mudança climática e seus efeitos na cultura do arroz. *Ciência rural*, 40(11), pp. 2411-2418.

WEF. (2016). *The Global Risks Report 2016, 11th Edition*. The Global Competitiveness and Risks. World Economic Forum.

World Bank. (2013). *Impacts of Climate Change on Brazilian Agriculture*. Washington D.C.: World Bank.

Segurança Hídrica

Alfredo Ribeiro Neto¹
José Almir Cirilo¹

Resumo

Os estudos dos grupos de pesquisa atuantes no INCT para Mudanças Climáticas propiciaram importantes avanços no tema mudanças climáticas e recursos hídricos. Estudos de impactos foram desenvolvidos em grandes e médias bacias hidrográficas da Amazônia, Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil. O uso de modelagem hidrológica para determinação da anomalia da vazão nos cenários do IPCC foi consolidado ao longo do período de execução do projeto. Como fruto dessa metodologia, tem-se a avaliação dos cenários sobre a geração de energia hidrelétrica em bacias da Amazônia e na bacia do Prata. Os eventos de cheia e seca ocorridos nos últimos 20 anos na Amazônia e no Nordeste foram analisados no sentido de auxiliar o entendimento dos fatores climáticos intervenientes sobre a hidrologia dessas regiões. Ações de adaptação às mudanças climáticas são apresentadas em trabalhos que avaliaram medidas de enfrentamento do evento de seca iniciado em 2012 no Nordeste, uso das cisternas para captação de água da chuva e tecnologia para tratamento de efluentes.

1 Universidade Federal de Pernambuco

Introdução

A constatação de que a escassez hídrica é um limitador ao desenvolvimento sinaliza para a hipótese de que a água pode vir a ser motivo de sérios confrontos futuros em pelo menos cinco regiões do mundo. Olhando para o futuro, merecem destaque alguns dos principais desafios relacionados com os recursos hídricos, tendo em conta cenários de crescimento populacional, padrões de desenvolvimento esperados para as gerações futuras e as perspectivas potenciais de mudanças climáticas globais.

O subprojeto Recursos Hídricos do INCT para Mudanças Climáticas, que deu origem ao Tema Integrador Segurança Hídrica, teve a participação de instituições que desenvolveram pesquisas nas regiões consideradas *hotspots* das mudanças do clima no Brasil, como o Nordeste e a região amazônica. No que concerne ao termo segurança hídrica, este artigo não se restringe apenas ao estudo das variáveis da relação disponibilidade x demanda. Apresentam-se, também, estudos relacionados a desastres naturais causados por inundações e o impacto do regime hidrológico sobre a geração de energia elétrica. Para as Nações Unidas, segurança hídrica é “a capacidade de uma população garantir o acesso sustentável à quantidade adequada e qualidade aceitável para seu sustento, bem-estar humano e desenvolvimento socioeconômico, para garantir proteção contra poluição e desastres relacionados à água, e para preservação dos ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política” (UN-Water, 2013).

O subprojeto baseou-se fortemente no uso de modelos de simulação para representação do ciclo hidrológico e estimativa do escoamento nas bacias hidrográficas. Os resultados obtidos, através da aplicação dos cenários climáticos gerados para o século XXI, nas diversas regiões do Brasil, permitiram estabelecer um quadro dos impactos nos recursos hídricos em âmbito nacional.

O artigo apresenta, inicialmente, os resultados obtidos com as análises de impactos sobre os recursos hídricos em bacias hidrográficas da Amazônia, Nordeste e Sul/Sudeste, assim como impactos sobre a geração de energia. Em seguida, apresentam-se estudos relacionados a eventos de inundações e secas. Por fim, relacionam-se as atividades que resultaram na avaliação de medidas de adaptação em recursos hídricos para enfrentamento das mudanças climáticas.

Análise de impactos sobre os recursos hídricos

A estimativa dos impactos dos cenários das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos tem sido feita com a saída do escoamento superficial diretamente do modelo oceânico-atmosférico de circulação global (OAGCM) (Milly, 2005) ou com o uso de modelos hidrológicos forçados com precipitação e variáveis climatológicas (para o cálculo da evapotranspiração potencial) provenientes das simulações dos cenários do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, na sigla em inglês) (Siqueira Júnior et al., 2015; Demaria et al., 2013; Nóbrega et al., 2011).

Estudos na Amazônia

Na bacia do rio Amazonas, foi realizada simulação hidrológica para seus mais importantes afluentes, conforme ilustrado na Figura 1. Os afluentes são os rios Purus, Madeira, Tapajós, Xingu e Tocantins. A simulação hidrológica foi aplicada em estudos de mudanças do clima e mudanças de uso do solo e cobertura vegetal. O modelo utilizado nas simulações foi o MHD-INPE (Rodriguez & Tomasella, 2014), desenvolvido a partir do modelo de grandes bacias MGB-IPH (Collischonn et al., 2007).

O modelo MHD-INPE gera fluxos em cada célula utilizando uma abordagem desenvolvida por Rodriguez e Tomasella (2014), que combina elementos do Topmodel e um conceito de distribuição de probabilidade da capacidade de armazenamento usada no modelo Xinanjiang (Zhao, 1992). A evapotranspiração é estimada com a equação de Penman-Monteith e é separada em evaporação da água interceptada pela vegetação, transpiração da vegetação e evaporação do solo. Cada célula é dividida em unidades de resposta hidrológica (HRU - *Hydrological Response Units*, na sigla em inglês), e o balanço hídrico é resolvido para cada unidade. A propagação do escoamento entre as células é realizada com o modelo de Muskingum-Cunge (Tucci, 1998).

O modelo usa dados meteorológicos (temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, velocidade do vento, pressão atmosférica, radiação incidente e precipitação) como entrada. As simulações foram realizadas com passo de tempo diário. A rede de drenagem é derivada do modelo digital do terreno (MDT). A combinação dos mapas de tipos de solo com uso do solo e cobertura vegetal é usada para a definição das HRUs dentro de cada célula.

A Figura 1 mostra os resultados do modelo hidrológico para os afluentes do rio Amazonas. Para os rios Madeira, Xingu e Tocantins, apresentam-se, também, os valores do escoamento para o cenário A1B do IPCC AR4 projetados para vários intervalos de tempo no século XXI.

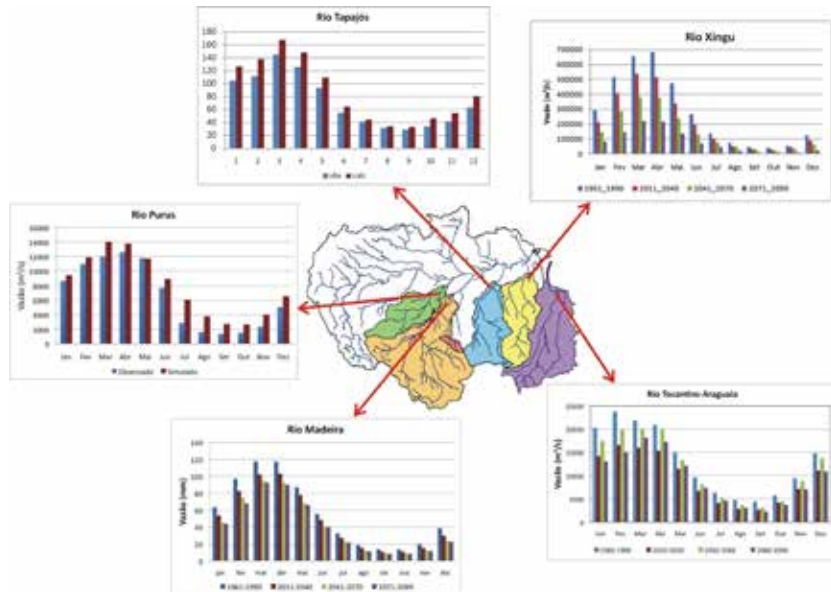


Figura 1 – Médias mensais (m^3/s) das vazões observadas e simuladas pelo modelo hidrológico MHD-INPE para os rios Tapajós e Purus, e simulações futuras usando os dados dos cenários gerados pelo modelo Eta-CPTEC para o cenário A1B do IPCC AR4 nas bacias dos rios Madeira, Tocantins-Araguaia e Xingu (Rede Clima, 2011).

Os impactos resultantes da aplicação dos cenários de mudanças do clima e mudanças de uso do solo (conversão de floresta em outros tipos de uso tais como pastagens e cultivos) foram estimados por Siqueira Júnior et al. (2015) na bacia do rio Madeira. Para os cenários do IPCC, foram utilizados quatro membros de simulações com o modelo regional Eta-CPTEC aninhado ao modelo global HadCM3 do IPCC AR4 para o cenário A1B do SRES (Special Report on Emissions Scenarios). Os membros do modelo Eta-CPTEC são perturbações do conjunto de parâmetros, conforme apresentado em Chou et al. (2011). Tais perturbações são classificadas como de controle (CTRL), média (MIDI), baixa (LOW) e alta (HIGH). Além dos membros do modelo HadCM3-Eta-CPTEC, utilizaram-se os modelos globais MIROC5, CSIRO-MK3, IPSL-CSMA-LR e HADGEM2-ES do IPCC

AR5. O cenário da mudança do uso do solo foi extraído do modelo desenvolvido por Soares-Filho et al. (2006), que é construído por meio da tendência de alteração registrada com imagens de satélite entre 1997 e 2002, a inclusão de projetos de estradas planejadas e a representação das áreas de proteção existentes e planejadas. De forma geral, verifica-se redução da vazão no rio Madeira nos cenários de mudança do clima. Quando se simulam os cenários do IPCC com a alteração do uso do solo e a cobertura vegetal, verifica-se um contrabalanceamento parcial do impacto da mudança do clima com a elevação da vazão do período de estiagem. Na estação de cheias, o efeito da mudança do uso do solo foi menos importante. Deve-se ressaltar que a alteração da chuva é resultante apenas do aumento da concentração de CO₂ conforme cenários do IPCC, mas sem considerar a possível alteração da chuva decorrente da mudança da cobertura vegetal.

Ainda na bacia do rio Madeira, Rodriguez (2011) analisou o efeito das mudanças do uso e cobertura da terra na resposta hidrológica da bacia do rio Ji-Paraná. O autor utilizou simulação com o modelo MHD-INPE e dados observados de precipitação e descarga à procura de sinais que pudessem estar associados com a perda de floresta na bacia. A média anual simulada considerando a mudança do uso da terra de floresta para pastagem foi superior à simulada considerando cobertura florestal inalterada. Utilizando dados observados de precipitação, vazão e alteração do uso do solo, verificaram-se correlações que indicam, em geral, o incremento das descargas de pico e a redução das descargas menores associada com o aumento do desflorestamento. O autor verificou que a influência da mudança do uso do solo na resposta hidrológica se reduz com o aumento do tamanho da bacia. Com a remoção da floresta, a bacia perde a capacidade de regularização do fluxo, e as diferenças entre as descargas extremas se incrementam.

Estudos no Nordeste

Trabalho realizado por Escarião et al. (2012) teve o intuito de avaliar diferentes categorias de modelo hidrológico em estudos de impactos das mudanças climáticas sobre a vazão nos rios com estudos simplificados de sensibilidade a variações prescritas de aumentos de temperatura e variações de precipitação. Foram selecionados os seguintes modelos:

- O SFMODEL (São Francisco Model) é um modelo empírico-estatístico que relaciona, por meio de equação de regressão linear

- múltipla, a vazão do rio com a precipitação e a temperatura, considerando cenários de mudanças climáticas (Azevedo, 1999);
- O GRH (Grupo de Recursos Hídricos/UFPE) é um modelo de simulação hidrológica mensal do tipo conceitual concentrado, caracterizando-se pela combinação de dois reservatórios lineares e funções de transferência (Cirilo et al., 1997);
 - O MIKE SHE (DHI, 1993) é um modelo hidrológico conceitual, determinístico, distribuído e de base física adaptado do código original do SHE – (Système Hydrologique Européen) (Abbott et al., 1986) e foi desenvolvido conjuntamente pelo British Institute of Hydrology, Danish Hydraulic Institute Water and Environment (DHI) e pela companhia de consultoria francesa Société Grenobloise d'Études et d'Applications Hydrauliques (SOGREAH);
 - A rede neural artificial do tipo Perceptron Multicamadas é reconhecida por seu poder de funcionar como aproximador universal de funções lineares e não lineares. Para sua implementação, é necessário definir duas características da rede: a arquitetura e a função de ativação dos neurônios.

Os testes foram realizados na bacia do rio Piancó, no estado da Paraíba. Foram criados cenários a partir da geração de séries sintéticas de possíveis mudanças climáticas devido ao aumento da concentração atmosférica de gases de efeito estufa, com a variação da temperatura do ar entre +1°C e +4°C e variação da precipitação entre -20% e +20%.

Ficou evidente que em nível anual há diferenças marcantes quando se comparam os resultados entre os modelos (Figura 2). Em nível mensal, as diferenças existentes são ainda mais evidentes, havendo grande diversidade de resultados quando se analisam os conjuntos de cenários. As mudanças percentuais da vazão média são muito mais sensíveis às alterações de precipitação do que às alterações de temperatura. A escolha da categoria do modelo hidrológico se mostra uma etapa importante nos estudos de impacto em recursos hídricos.

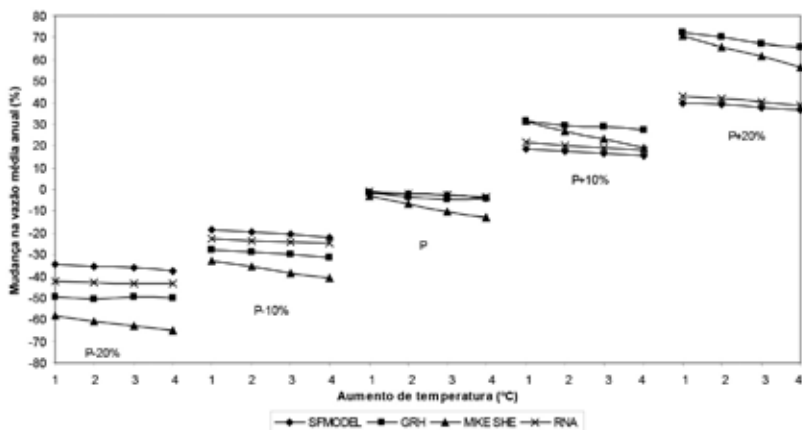


Figura 2 – Mudança percentual da vazão média anual calculada no período de base e nos cenários a partir da alteração da precipitação (P) e temperatura do ar.

De forma semelhante aos estudos realizados na Amazônia, modelo hidrológico foi uma ferramenta importante nos estudos em bacias do Nordeste. Grandes centros populacionais como a Região Metropolitana do Recife (RMR) são altamente dependentes de recursos hídricos provenientes de outras regiões. Parte da RMR é abastecida com água do rio Tapacurá, afluente do rio Capibaribe. Montenegro e Ragab (2012) avaliaram os impactos decorrentes dos cenários IPCC AR4 e de mudanças do uso do solo com utilização do modelo hidrológico distribuído DiCaSM (Distributed Catchment Scale Model) desenvolvido para estimar o balanço hídrico na bacia hidrográfica. O impacto resultante do cenário B1 do IPCC AR4 correspondeu à redução da vazão em 20% até o final do século XXI. A mudança do uso do solo de cultivo de hortaliças para cana-de-açúcar resultaria em redução da recarga do aquífero em -11% e aumento da vazão em aproximadamente 5%.

Em termos de abastecimento humano, o extremo oposto dos grandes centros urbanos são as populações rurais difusas. No Nordeste do Brasil, o programa de disseminação de cisternas utilizadas para captação da água da chuva tornou-se uma política pública de combate à pobreza e inclusão social. Rocha et al. (2015) avaliaram o impacto dos cenários SRES A1B sobre o funcionamento de cisternas em regiões com diferentes características pluviométricas na Paraíba. Assumindo que a vulnerabilidade é dada como a percentagem de meses em que as cisternas não atendem à

demanda, verificou-se que em 2050 a vulnerabilidade poderá dobrar com relação ao clima atual, podendo comprometer a efetividade da utilização desse equipamento.

Estudos no Sul/Sudeste

Grande parte da geração de energia hidrelétrica do Brasil é proveniente de bacias das regiões Sul e Sudeste. A avaliação apresentada neste item tem relação com o Capítulo 4 – Segurança Energética.

Nas regiões Sul e Sudeste do país, o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH) foi utilizado na avaliação do impacto dos cenários do IPCC nas bacias hidrográficas dos rios Grande (Nóbrega et al., 2011), Paraná (Adam et al., 2015) e Prata (Pontes et al., 2015). O MGB-IPH (Collischonn et al., 2007) é um modelo chuva-vazão distribuído por células que utiliza Unidade de Resposta Hidrológica (URH) baseada em mapas de uso e tipo de solo. O componente de balanço hídrico no solo no MGB-IPH é composto dos processos de interceptação da precipitação, equacionamento do balanço de água no solo, evapotranspiração e geração dos escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo.

Nóbrega et al. (2011) avaliaram as incertezas relativas às simulações de impactos sobre as vazões tomando como estudo de caso a bacia do rio Grande, afluente do rio Paraná. De um lado, utilizou-se o Modelo Climático Global (MCG) HadCM3 com cenários de aumento da temperatura global (variando de +1°C a +6 °C) e cenários do SRES AR4 (B1, B2, A1B e A2). Por outro lado, foram utilizados seis MCGs (CCCMA CGCM31, CSIRO Mk30, IPSL CM4, MPI ECHAM5, NCAR CCSM30, UKMO HadGEM1) para um único cenário SRES AR4 (A1B) e um único cenário de aumento da temperatura global (+2°C). Para Nóbrega et al. (2011), no caso da bacia do rio Grande, a mais importante fonte de incerteza provém das diferenças entre os climas futuros projetados por diferentes MCGs. Os cenários de emissão do SRES AR4 ou a magnitude da elevação da temperatura média global possuem influência secundária no grau de incerteza dos resultados.

Na bacia do Alto Paraná, utilizaram-se os quatro membros do modelo climático regional Eta-CPTEC a partir de simulação do MCG HadCM3 (SRES A1B) conforme descrito anteriormente no item 2.1 (Estudos na Amazônia). Foi realizada a avaliação de impacto dessas simulações sobre as vazões máximas e mínimas até a seção do reservatório da usina

hidrelétrica (UHE) de Itaipu, que corresponde à bacia do Alto Rio Paraná (BARP) (Figura 3). As hidrelétricas instaladas na área de drenagem da BARP possuem produção correspondente a 50% da energia elétrica gerada no Brasil. No geral, os resultados sugerem que a variabilidade natural do clima pode ser mais importante do que a mudança climática decorrente da emissão de gases de efeito estufa (GEE) (Adam et al., 2015). Chega-se a essa conclusão observando as curvas que relacionam a vazão máxima com o tempo de retorno. A Figura 4 mostra o resultado para a UHE Itaipu e o membro CTRL. Verifica-se que a maior parte das vazões máximas dos períodos futuros 2011-2040 (Fut 01), 2041-2070 (Fut 02) e 2071-2099 (Fut 03) encontram-se nos limites do intervalo de confiança de 95% referente às vazões máximas do clima atual. Uma exceção diz respeito à UHE Rosana, onde o sinal da mudança da vazão máxima se manteve positivo para todos os membros. Tanto no caso das vazões mínimas como nas vazões máximas, ficou evidenciado que o membro utilizado é o fator de maior influência no resultado.

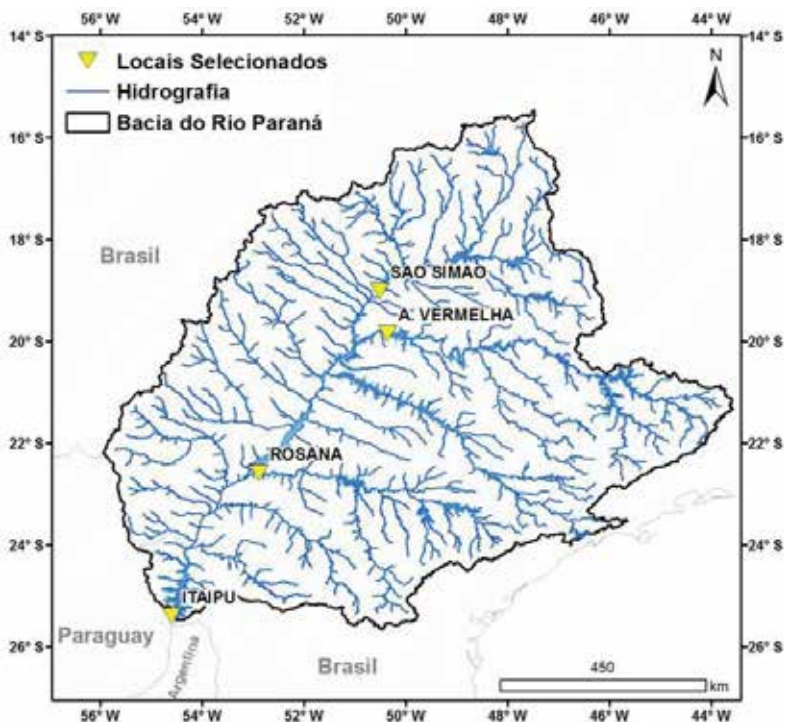


Figura 3 – Seções avaliadas na bacia do Alto Rio Paraná (Adam et al., 2015).

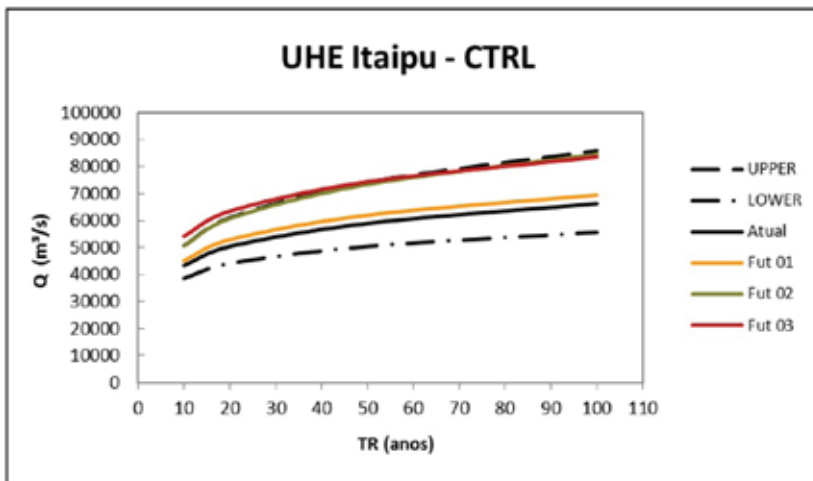


Figura 4 – Vazões máximas em função do tempo de retorno (TR) para o período atual e períodos futuros, membro CTRL. A linha preta contínua representa o período atual (1961-1990). As linhas tracejadas representam os limites inferior e superior do intervalo de confiança de 95% (Adam et al., 2015).

Geração de energia

Assim como o item anterior, a avaliação apresentada neste item tem relação com o Capítulo 4 – Segurança Energética. Os resultados a respeito dos impactos sobre a geração de energia em grandes usinas instaladas na Amazônia, Sul e Sudeste do país podem ser utilizados como subsídio para o planejamento das ações do setor de produção de energia no Brasil, visando ao enfrentamento das consequências da redução da geração de energia. O Brasil é altamente dependente dos recursos hídricos para a geração de energia. Segundo Mohor et al. (2015), a necessidade crescente de energia para sustentar o crescimento econômico no país tem resultado na expansão da geração de energia hidrelétrica na Amazônia. Esses autores simularam o comportamento hidrológico de diversas bacias com o modelo hidrológico MHD-INPE forçado com cenários climáticos dos MCGs MIROC-5, CSIRO-Mk3.6.0, IPSL-CM5A-LR e HadGEM2-ES (cenário IPCC AR5 RCP 4.5) e também cenários climáticos em mais alta resolução espacial calculados pelo modelo climático regional Eta-CPTEC aninhado ao modelo HadCM3 (cenário IPCC AR4 A1B). A aplicação foi realizada para a bacia do rio Tapajós com foco na usina hidrelétrica de Teles Pires, que possui potência instalada de 1820 MW, vazão máxima de 3919 m³/s, queda hidráulica

de 59 metros e vazão mínima de 560 m³/s. A Figura 5 apresenta o resultado das simulações com o modelo hidrológico MHD-INPE para o período base (1970-1990) e para o período que engloba o final da vida útil da usina (2041-2070). O impacto resultante dos cenários é representado por meio da curva de duração de potência que indica a porcentagem do tempo que certo valor de potência é igualado ou superado. A simulação do membro M3 do modelo Eta-CPTEC forneceu a projeção mais crítica com uma produção de energia de 1,7 x 10⁶ MWh/ano entre 2041 e 2070, que é 82% mais baixo que a produção hipotética de 9,6 x 10⁶ MWh/ano simulada para o período base. Ressalta-se que os demais membros e MCGs apresentaram redução significativa do potencial de geração apesar de ser em um nível inferior ao do membro M3.

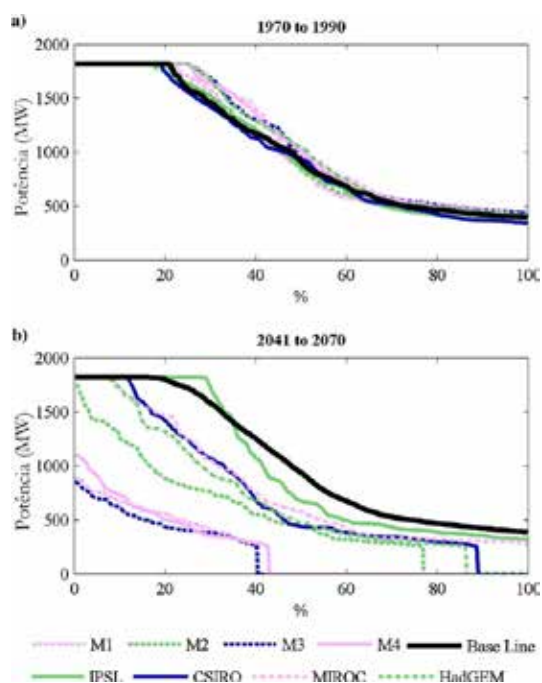


Figura 5 – Curvas de duração de potência na seção da usina de Teles Pires (a) 1970-1990 e (b) 2041-2070 (Mohor et al., 2015).

Na bacia do rio Madeira, as simulações hidrológicas para estimativa do impacto sobre o potencial de geração de energia na hidrelétrica de Santo Antônio não mostraram consenso (Siqueira Júnior et al., 2015). Foram utilizados quatro membros de simulações com o modelo regional Eta-CPTEC

aninhado ao modelo global HadCM3 do IPCC AR4 para o cenário A1B do SRES. Os cenários do modelo Eta-CPTEC-HadCM3 indicaram redução consistente de até 45% até 2099, enquanto outras projeções mostraram efeitos menos importantes com sinais mistos. Caso se incluam nas simulações as mudanças do uso do solo, as projeções com o modelo Eta-CPTEC-HadCM3 mostram reduções suaves, enquanto outros modelos indicam aumento de até 38% (caso do modelo global IPSL-CSMA-LR).

Na bacia do Prata, utilizando o modelo hidrológico MGB-IPH e simulações do modelo Eta-CPTEC aninhado ao modelo global HadCM3 e cenário IPCC AR5, Pontes et al. (2015) estimaram alteração do regime de vazões nas UHEs de Furnas, Itaipu e Salto Grande. A Figura 6 apresenta as curvas de permanência e a localização das UHEs. Percebe-se comportamento distinto entre as UHEs localizadas na parte superior da bacia (Itaipu e Furnas) e a UHE Salto Grande, localizada mais ao sul. Nas duas primeiras, a vazão se mantém próxima da condição atual no futuro (Fut 2 e Fut 3) e redução no início do século (Fut 1). Em Salto Grande, a vazão no início do século (Fut 1) fica próxima da atual, enquanto a vazão da segunda metade do século (Fut 2 e Fut 3) apresenta elevação.

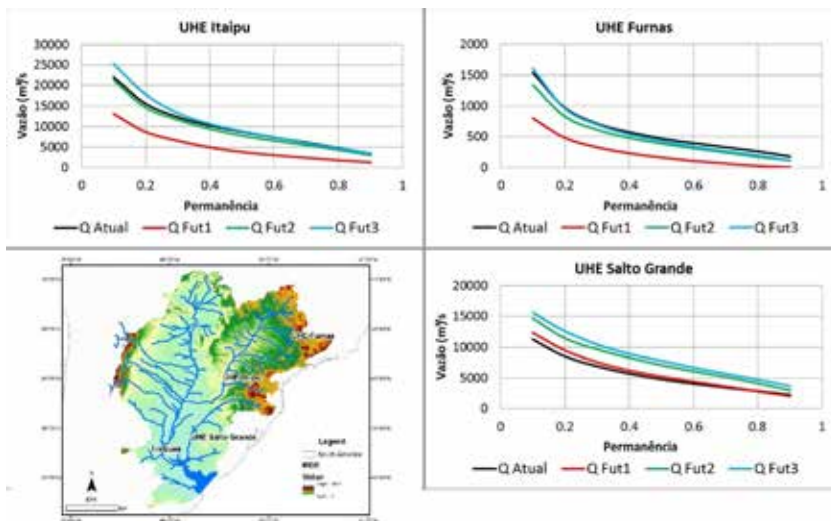


Figura 6 – Curvas de permanência para os períodos 1961-1990 (Atual), 2011-2040 (Fut 1), 2041-2070 (Fut 2) e 2071-2099 (Fut 3) (Pontes et al., 2015).

Estudos de extremos

Eventos de seca e cheia na Amazônia

Este item está relacionado com o Capítulo 1 sobre observações e atribuição de causas da variabilidade e extremos climáticos. As secas hidrológicas ocorridas na Amazônia são geralmente associadas com eventos fortes de El Niño (Marengo et al., 2008; Marengo et al., 2011). Tomasella et al. (2011) verificaram que o evento ocorrido em 2005 diferencia-se da regra geral em virtude da ausência de defasagem das vazões mínimas entre os tributários que formam a bacia do rio Amazonas. De acordo com Marengo et al. (2008), esse processo foi induzido pelo aquecimento anômalo das águas do Atlântico Norte tropical, enquanto a temperatura da superfície do mar (SST) no Pacífico estava próxima do normal. Tomasella et al. (2013) compararam os efeitos hidrológicos dos eventos de seca de 1997 e 2005 sobre a planície de inundação da Amazônia e discutiram os potenciais impactos ecológicos e humanos. Os resultados revelaram que os efeitos do evento de 2005 foram exacerbados porque a precipitação foi mais baixa e a evapotranspiração foi mais alta no pico da estação seca, comparadas com o evento de 1997.

Análise similar foi feita por Marengo et al. (2011) a respeito do evento de seca do ano de 2010 na Amazônia. O evento teve início no começo do verão austral durante o El Niño e foi intensificado como uma consequência do aquecimento do Atlântico Norte Tropical. Os autores verificaram uma tendência para o aumento dos eventos secos e muito secos, particularmente no sul da Amazônia durante a estação seca, concomitantemente com o aumento da duração da estação seca.

Tendo em mente que os cenários de mudança do clima sugerem um aumento na frequência e intensidade dos eventos de extremos climáticos, um melhor entendimento de como os ecossistemas da Amazônia vão lidar com esses extremos é crucial para avaliar o grau de vulnerabilidade de todo o sistema natural a perturbações decorrentes das ações humanas e para melhorar a habilidade de modelar tais extremos e reduzir as incertezas dos cenários climáticos futuros aplicados na escala regional (Tomasella et al., 2011; Borma & Nobre, 2013)).

No extremo oposto aos eventos de seca, no ano de 2009 foi registrada a cheia mais severa em 107 anos na Amazônia, conforme medições do nível

da água no porto de Manaus (AM) no rio Negro. O texto a seguir apresenta as conclusões obtidas por Marengo et al. (2012). Em termos de anomalia positiva da precipitação na Amazônia em 2009, comparativamente com outros eventos de cheia (e.g. 1989 e 1999), verifica-se menor quantidade de chuva em 2009. Entretanto, algumas características da distribuição espacial e temporal da chuva contribuíram para que o evento de cheia mais recente produzisse maiores valores de vazão e nível da água nos rios. A anomalia positiva da precipitação foi mais persistente em 2009 no noroeste e oeste da Amazônia, estendendo-se de dezembro de 2008 a março de 2009. Outro aspecto foi a ocorrência do pico da estação chuvosa mais cedo que o normal na parte norte da bacia do rio Negro. Isso resultou em picos de vazão adiantados em dois meses no trecho do rio Amazonas entre Manacapuru e Jatuarana. O inverso ocorreu com a geração de escoamento na bacia do rio Madeira, principal tributário da porção sul da bacia amazônica. A anomalia positiva na região da Bolívia se estendeu até abril de 2009, resultando no pico de vazão no rio Madeira em julho de 2009, um mês mais tarde que o normal. Dessa forma, verifica-se que os picos de vazão dos tributários do norte e do sul entram em fase, fazendo com que seja amplificado o pico de vazão no rio Amazonas em Óbidos, cuja ocorrência em 2009 se deu em maio, um mês antes de anos considerados normais.

Os resultados do INCT para Mudanças Climáticas possuem grande potencial de utilização na formulação de políticas públicas na área e para auxiliar em ações dos órgãos responsáveis pela gestão da água no país. Tomasella et al. (2013), por exemplo, ao comparar os eventos de seca de 1997 e 2005 na Amazônia, identificaram os fatores que contribuíram para uma melhor resposta do poder público em 2005, no intuito de minimizar os impactos sobre a população. Ao contrário de 1997, em 2005 estava regulada a declaração pelo governo federal do estado de calamidade pública nos municípios. Em 1999, o Conselho Nacional de Defesa Civil definiu os critérios para declarar calamidade pública em território nacional. Outro ponto foi a utilização de imagens de satélite e dados meteorológicos disponíveis em tempo real para convencimento das autoridades em todos os níveis governamentais para a tomada de decisão. Os autores atestaram, também, a existência, em 2005, de uma rede de conhecimento que elevou o nível de conscientização da população, facilitou a disseminação da informação na imprensa e facilitou um papel mais ativo das organizações ambientais.

Eventos de seca e cheia no Nordeste

Em 2012, teve início no Nordeste do Brasil (NEB) um novo período de seca com impactos socioeconômicos significativos para a região. Silva et al. (2015) analisaram esse evento de seca no estado da Paraíba sob a ótica do princípio institucional de Oström (Oström, 2000). O princípio é investigado em termos de adaptação à variabilidade climática, em que se procura definir quem tem o direito de uso da água não apenas em períodos de seca, mas, também, em períodos de chuva. Mais informações a respeito desse período de seca são apresentadas e discutidas na seção seguinte, que trata da avaliação de medidas adaptativas com ênfase para o Nordeste.

Com respeito a inundações, a Zona da Mata Sul do estado de Pernambuco sofreu em 2010 o evento de cheia mais severo já registrado na região. Uma série de estudos foi realizada posteriormente no sentido de analisar o processo de formação da cheia nas bacias hidrográficas dos rios Una, Sirinhaém, Mundaú e Paraíba do Meio, cuja localização é mostrada na Figura 7 (Dantas et al., 2014; Ribeiro Neto et al., 2015). Nas simulações, utilizaram-se os modelos desenvolvidos pelo Hydrologic Engineering Center (HEC) do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE): modelo chuva-vazão HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) e modelo hidrodinâmico HEC-RAS (River Analysis System). A geometria do leito menor e maior dos rios foi determinada por meio de levantamento com técnica LiDAR (Light Detection and Ranging, na sigla em inglês), que utiliza feixes de laser emitidos a partir de uma aeronave para escanear a área do rio e adjacências. Um exemplo de resultado é mostrado na Figura 8, em que se apresenta a área inundada na cidade de Palmares (PE), referente ao evento de cheia de 2010.



Figura 7 – Bacias hidrográficas modeladas em Pernambuco para estudos de cheia.

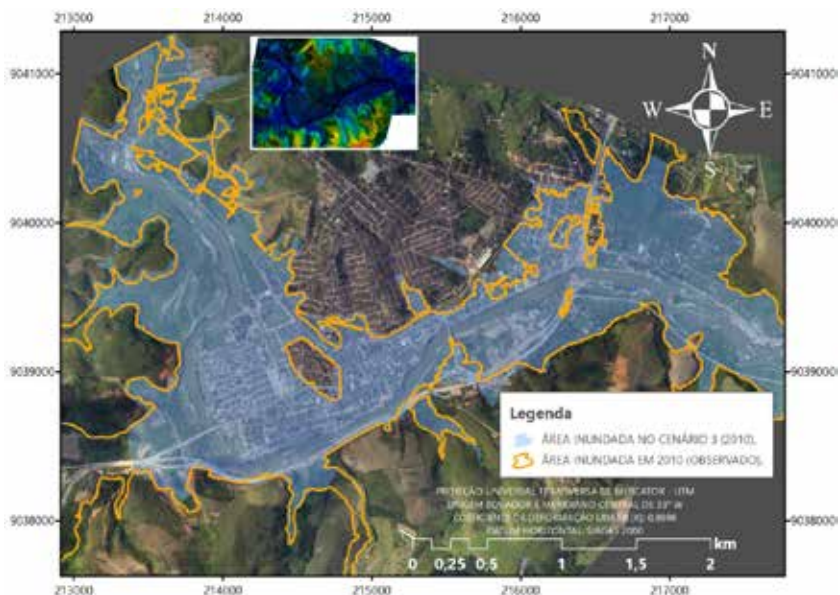


Figura 8 – Área inundada simulada com o modelo HEC-RAS e o limite levantado em campo no rio Una, na cidade de Palmares (PE) (Dantas et al., 2014).

Na linha de utilização dos resultados deste INCT para a formulação de políticas públicas, destaca-se que a simulação hidrológica-hidrocinâmica nas bacias hidrográficas da Mata Sul do estado de Pernambuco desencadeou o desenvolvimento de produtos relevantes para o monitoramento e previsão de cheias. O Monitor Avançado de Enchentes (MAVEN) (Silva et al., 2014) integra em um ambiente web os modelos de simulação hidrológica e hidrocinâmica, dados de precipitação, vazão e nível da água de estações de monitoramento, e precipitação prevista pelos modelos Eta-CPTEC, WRF e BRAMS. Foi possível, também, por meio do modelo HEC-RAS, gerar manchas de inundação para diferentes valores de nível da água nas cidades afetadas por cheias na bacia do rio Una.

Avaliação de medidas adaptativas

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas na Universidade Federal de Campina Grande, no estado da Paraíba, propondo a gestão dos recursos hídricos como uma ferramenta de adaptação à variabilidade e às mudanças climáticas para ser aplicada na região semiárida do NEB (Braga et al., 2012; Silva et al., 2013; Silva et al., 2015; Silva et al., 2016). O reservatório Epitácio Pessoa é um exemplo de manancial que sofre pressões tanto do lado da demanda para abastecimento como do lado da disponibilidade hídrica (localização na Figura 9). Silva et al. (2013) analisaram a governança da adaptação à variabilidade climática no reservatório Epitácio Pessoa por meio da avaliação das políticas de recursos hídricos federal e estadual e dos planos de recursos hídricos do Estado e da bacia do rio Paraíba (onde se localiza o reservatório). A própria criação das políticas e planos de recursos hídricos pode ser entendida como uma evolução para enfrentamento do problema. No entanto, os autores identificaram outras medidas que podem aprimorar a gestão do reservatório como a adoção de novas formas de sustento dos agricultores, redução de áreas irrigadas, métodos de irrigação mais eficientes, culturas que exigem menos água e redução de perdas nos sistemas de distribuição de água.

Silva et al. (2015) realizaram análise da operação de quatro reservatórios de usos múltiplos no estado da Paraíba durante os períodos de seca 1997-2000 e 2012-2015 (localização na Figura 9). Verificou-se que a aplicação do instrumento de outorga associada à sua fiscalização pode prevenir o excessivo deplecionamento do armazenamento de água nos reservatórios.

O caso do reservatório Epitácio Pessoa (capacidade de 411 milhões de m³) ilustra a relação entre a fiscalização e a outorga de direito de uso da água. Campanhas de fiscalização realizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA) iniciadas em 2013 identificaram vários usuários de água não autorizados. Até mesmo a companhia de abastecimento praticava retiradas de água superiores ao permitido pela outorga emitida pelo órgão regulador. Tanto o evento de seca de 1997-2000 quanto o de 2012-2016 resultaram em crise hídrica em decorrência da gestão inadequada dos recursos hídricos na região.

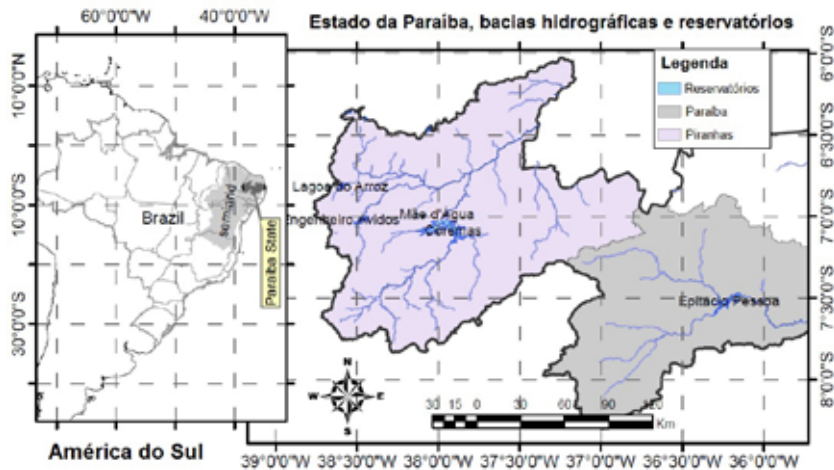


Figura 9 – Reservatórios analisados no estado da Paraíba (Silva et al., 2015).

Rêgo et al. (2015) ressaltam o papel relevante exercido pelo Ministério Público Estadual (MPE) da Paraíba, a imprensa e a população, no sentido de reduzir os impactos resultantes da seca do período de 2012-2016. A abertura de Inquérito Civil Público por parte do MPE, a realização de audiências públicas e campanhas de conscientização da necessidade de economia de água são exemplos de ações tomadas pela sociedade para fazer pressão junto aos órgãos gestores federal - Agência Nacional de Águas e estadual - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.

No NEB, o atendimento dos aglomerados urbanos é realizado por meio de grandes reservatórios, sistemas adutores e transposição de bacias que podem suprir a demanda hídrica mesmo em períodos de secas pluviométricas, ainda que em alguns casos com a implementação de racionamento.

O grande desafio de abastecimento se refere às populações difusas localizadas fora das cidades e de outros núcleos urbanos (Nóbrega et al., 2012). Algumas alternativas de abastecimento para essa população são os pequenos reservatórios (vulneráveis a longas secas) e poços (de baixa produção e baixa qualidade da água). O aproveitamento de água de chuva tem se mostrado uma alternativa ao abastecimento humano e adaptação às regiões onde os recursos hídricos são escassos. Andrade et al. (2015) avaliaram o papel das cisternas como um equipamento para enfrentamento da escassez hídrica nas bacias dos rios Pajeú (Pernambuco) e Piranhas-Açu (Paraíba e Rio Grande do Norte). Verificou-se o funcionamento das cisternas como um elemento de gestão do risco, quando captam água da chuva e abastecem as famílias durante o período anual de estiagem, e como um elemento de gestão da crise, quando recebem água da Operação Carro Pipa.

Andrade et al. (2015) destacam, ainda, que medidas de adaptação às mudanças climáticas focadas em tecnologias adaptadas à realidade local, como acontece no caso das cisternas, podem influenciar positivamente o gerenciamento do risco e da crise em secas no semiárido brasileiro. Apesar da eficiência constatada, percebe-se que essa tecnologia apresenta vulnerabilidade em períodos de seca persistente como os ocorridos em 1997-2000 e 2012-2015.

Outro aspecto relativo à segurança hídrica diz respeito à qualidade da água. No âmbito do INCT para Mudanças Climáticas (subprojeto Tecnologias Observacionais para Mudanças Climáticas), realizaram-se estudos para o desenvolvimento de técnicas para tratamento de águas residuais. Eletrodos de diamante dopados com boro (BDD - Boron Doped Diamond, na sigla em inglês) têm se mostrado eficientes na aplicação como anodos em processos eletroquímicos de tratamento de águas residuais com poluentes orgânicos e inorgânicos onde os métodos convencionais não são eficazes. Um estudo sistemático foi realizado concernente à produção, caracterização e aplicação de eletrodos BDD para oxidação de compostos orgânicos (Migliorini et al., 2016, Migliorini et al., 2011), além de redução de compostos inorgânicos (Ribeiro et al., 2014). Como resultado da consolidação das partículas de cobre sobre os filmes de diamante dopados com boro, foi possível melhorar a redução do nitrato. Destaca-se, ainda, a utilização do diamante dopado com boro na oxidação do corante laranja-16, que é muito utilizado na indústria têxtil.

Considerações finais

É possível fazer uma avaliação positiva dos resultados do projeto com respeito às contribuições para o avanço do estado da arte da área de recursos hídricos e mudanças climáticas. Houve um avanço significativo nos estudos de impactos sobre as bacias hidrográficas brasileiras como, por exemplo, o aprimoramento de técnicas de correção de tendenciosidade nos valores das variáveis climatológicas calculadas com os modelos climáticos e a avaliação das anomalias sobre o regime de vazões nos rios. Em outro exemplo, verifica-se que a análise do comportamento hidrológico da bacia amazônica em eventos extremos tem ajudado na compreensão dos fatores que contribuem para amplificação dos impactos. A entrada em fase dos hidrogramas dos tributários do norte e do sul da bacia, por exemplo, influenciaram os eventos de seca de 2005 e de cheia de 2009 (Tomasella et al., 2011; Marengo et al., 2012). Além disso, o aquecimento das águas do Atlântico Norte Tropical acima do normal e a posição mais ao sul da Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) são fatores também identificados como intervenientes, respectivamente, nos eventos de seca (Tomasella et al., 2011; Marengo et al., 2011) e cheia (Marengo et al., 2012). No Nordeste, a avaliação dos instrumentos existentes na Política Nacional de Recursos Hídricos para enfrentamento dos eventos de seca e a avaliação da captação de água de chuva para abastecimento de populações difusas têm contribuído para o aprimoramento das possíveis medidas de adaptação a serem utilizadas quando da intensificação do clima no futuro. Os resultados da avaliação de cisternas, por exemplo, mostram a necessidade do aumento da área de captação para que não haja aumento da vulnerabilidade hídrica das populações.

Dentre as metas propostas, além dos resultados apresentados ao longo deste capítulo, alcançou-se êxito no desenvolvimento da plataforma computacional TerraHidro, voltada para a geração de drenagem e o pré-processamento de informações de entrada de modelos hidrológicos distribuídos de grande escala. Outra meta se refere à formação e capacitação de recursos humanos em estudos de mudanças climáticas. No âmbito do subprojeto Recursos Hídricos, foram formados mestres e doutores, assim como profissionais que atuaram como bolsistas de desenvolvimento tecnológico. Os resultados obtidos nessa área se devem, em grande parte, à atuação dos bolsistas.

Referências

- Abbot, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'connell, P.E., Rasmussen J. (1986). An Introduction to the European Hydrological System-Systeme Hydrologique European 'SHE' 2: Structure of a Physically-Based, Distributed Modeling System. *ASCE Journal of hydrologic Engineer*, 87: p.61-77.
- Adam, K. N., Fan, F. M., Pontes, P. R., Bravo, J. M., & Collischonn, W. (2015). Mudanças Climáticas e vazões extremas na Bacia do Rio Paraná. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(4), 999-1007.
- Andrade, T. S., Nóbrega, R. L., Ribeiro Neto, A., & Galvão, C. O. (2015). Estratégias de adaptação e gestão do risco: o caso das cisternas no Semiárido brasileiro. *ClimaCom Cultura Científica*, 2, 1.
- Azevedo, J.R.G. (1999). Water resources and global warming for the São Francisco River in Brazil. Ph.D. Thesis, University of Southampton, Southampton, England.
- Borma, L.S., Nobre, C.A. Secas na Amazônia: Causas e Consequências. 1a. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. v. 1. 398p
- Braga, C. F., Braga, A. C., Galvão, C. O., & Silveira, J. A. (2012). Análise do abastecimento de água e expansão urbana no contexto das mudanças climáticas e das políticas públicas brasileiras. Em X. S. Nordeste (Ed.), *Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste* (p. n.p.). Porto Alegre: ABRH.
- Chou, S.C., Marengo, J.A., Lyra, A.A., Sueiro, G., Pesquero, J.F., Alves, L.M., Kay, G., Betts, R., Chagas, D.J., Gomes, J.L., Bustamante, J.F., Tavares, P. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. *Clim Dyn.* doi:10.1007/s00382-011-1002-89, 2011.
- Cirilo, J.A., Baltar, A.M., Rolim Júnior, A.L., Torres Filho, C.O. (1997). Processamento Integrado de Dados para Análise Hidrológica. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2, 15-28.
- Collischonn, W., Allasia, D. G., Silva, B. C., & Tucci, C. E. (2007). The MGB-IPH model for large-scalerainfall-runoffmodelling. *Hydrological Sciences Journal*, 52, 878-895.
- Dantas, C. E., Cirilo, J. A., Ribeiro Neto, A., & Silva, E. R. (2014). Caracterização da Formação de Cheias na Bacia do Rio Una em Pernambuco: Análise Estatística Regional. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(4), 239-248.
- Demaria, E. M., Maurer, E. P., Thrasher, B., Vicuña, S., & Meza, F. J. (10 de October de 2013). Climate change impacts on an alpine watershed in Chile: do new model projections change the story? *Journal of Hydrology*, 502, pp. 128-138. Fonte: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.08.027>

- Escarião, R. D., Montenegro, S. M., Azevedo, J. R., & Ribeiro Neto, A. (2012). A Influência do Modelo na Resposta Hidrológica a Cenários de Mudanças Climáticas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17(3), 81-91.
- Marengo, J. A., Nobre, C. A., Tomasella, J., Oyama, M. D., Oliveira, G. S., Oliveira, R., . . . Brown, I. F. (1 de February de 2008). The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, 21(3), pp. 495-516. doi:10.1175/2007JCLI1600.1
- Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, L. M., Soares, W. R., & Rodriguez, D. A. (22 de June de 2011). The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, 38, p. L12703. doi:10.1029/2011GL047436
- Marengo, J. A., Tomasella, J., Soares, W. R., Alves, L. M., & Nobre, C. A. (January de 2012). Extreme climatic events in the Amazon basin. *Theor Appl Climatol*, 107(1), pp. 73-85. doi:10.1007/s00704-011-0465-1
- Migliorini, F. L., Braga, N. A., Alves, S. A., Lanza, M. R., Baldan, M. R., & Ferreira, N. G. (2011). Anodic oxidation of wastewater containing the Reactive Orange 16 Dye using heavily boron-doped diamond electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 192, pp. 1683-1689.
- Migliorini, F. L., Steter, J. R., Rocha, R. S., Lanza, M. R., Baldan, M. R., & Ferreira, N. G. (2016). Efficiency study and mechanistic aspects in the Brilliant Green dye degradation using BDD/Ti electrodes. *Diamond Related Materials*, 65, pp. 5-12.
- Milly, P. C., Dunne, D. A., & Vecchia, A. V. (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438, pp. 347-350.
- Mohor, G. S., Rodriguez, D. A., Tomasella, J., & Siqueira Júnior, J. L. (2015). Exploratory analyses for the assessment of climate change impacts on the energy production in an Amazon run-of-river hydropower plant. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, pp. 41-59.
- Montenegro, S.; Ragab, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. (2012). *Journal of Hydrology*, v.434-435, pp.55-68. [http:// dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.036](http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.036)
- Nóbrega, M. T., Collischonn, W., Tucci, C. E., & Paz, A. R. (2011). Uncertainty in climate change impactson water resources in the Rio Grande basin, Brazil. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, pp. 585-595. doi:10.5194/hess-15-585-2011
- Nóbrega, R. L., Galvão, C. O., Palmier, L. R., & Ceballos, B. S. (2012). Aspectos Político-Institucionais do Aproveitamento de Água de Chuva em Áreas Rurais do Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17, pp. 1-10.
- Ostrom, E. (2005). *Understanding Institutional Diversity*. Princeton, USA: Princeton University Press.

Pontes, R. R., Fan, F. M., Bravo, J. M., & Collischonn, W. (2015). Tópicos iniciais sobre a hidrologia da bacia do Prata no contexto das mudanças climáticas utilizando os modelos MGB-IPH e Eta-CPTEC. Em X. S. Hídricos (Ed.), *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Porto Alegre: ABRH.

Rede CLIMA. Relatório de Atividades 2010.2011. Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais. São José dos Campos. 61 p.

Rêgo, J. C., Galvão, C. O., Ribeiro, M. M., Albuquerque, J. P., & Nunes, T. H. (2015). A crise do abastecimento de Campina Grande: atuações dos gestores, usuários, poder público, imprensa e população. Em X. S. Hídricos (Ed.), *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Porto Alegre: ABRH, 2015.

Ribeiro Neto, A., Cirilo, J. A., Dantas, C. E., & Silva, E. R. (2015). Caracterização da Formação de Cheias na Bacia do Rio Una em Pernambuco: Simulação Hidrológica-Hidrodinâmica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20, pp. 394-403.

Ribeiro, M. C., Couto, A. B., Ferreira, N. G., & Baldan, M. R. (2014). Nitrate Removal by Electrolysis Using Cu/BDD Electrode Cathode. *ECS Transactions*, 58, pp. 21-26.

Rocha, M. S., Galvão, C. O., & Nóbrega, R. L. (2015). Vulnerabilidade de cisternas rurais sob clima atual e futuro: análise de três casos na Paraíba. Em D. B. Santos, S. S. Medeiros, L. T. Brito, J. Gnadlinger, E. Cohin, V. P. Paz, & H. R. Gheyi (Eds.), *Captação, Manejo e Uso de Água de Chuva* (pp. 35-42). Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido.

Rodriguez, D. A. (2011). *Impactos dos padrões espaciais da vegetação nas variáveis atmosférica e terrestre do ciclo hidrológico, em bacia de floresta amazônica*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Doutorado em Meteorologia. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Rodriguez, D. A., & Tomasella, J. (21 de May de 2015). On the ability of large-scale hydrological models to simulate land use and land cover change impacts in Amazonian basins. *Hydrological Sciences Journal*. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2015.1051979>

Silva, A. C., Galvão, C. O., & Silva, G. S. (2015). *Droughts and governance impacts on water scarcity: an analysis in the Brazilian semi-arid*. International Association of Hydrological Sciences. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences.

Silva, A. C., Galvão, C. O., Ribeiro, M. M., & Andrade, T. S. (2016). Adaptation to climate change: institutional analysis. Em E. Kolokytha, S. Oishi, & R. Teegavarapu, *Sustainable Water Resources Planning and Management under Climate Change*. Tokio: Springer.

Silva, A. C., Galvão, C. O., Silva, G. S., & Souza Filho, F. A. (2013). Ostrom's institutional design principles and reservoir management: a study on adaptation to climate variability and change. *IAHS-AISH Publication*, 362, pp. 101-106.

Silva, E. R., Oficialdegui, E. O., Cirilo, J. A., Ribeiro Neto, A., Dantas, C. E., & Santos, K. A. (2014). *Monitor Avançado de Enchentes (MAVEN): a hydroclimatologic framework for early flood alert systems*. 6th International Conference on Flood Management. São Paulo: Proceeding of the 6th International Conference on Flood Management.

Siqueira Júnior, J. L., Tomasella, J., & Rodriguez, D. A. (2015). Impacts of future climatic and land cover changes on the hydrological regime of the Madeira River basin. *Climatic Change*, 129, pp. 117-129. doi:10.1007/s10584-015-1338-x

Tomasella, J., Borma, L. S., Marengo, J. A., Rodriguez, D. A., Cuartas, L. A., Nobre, C. A., & Prado, M. C. (2011). The droughts of 1996-1997 and 2004-2005 in Amazonia: hydrological response in the river main-stem. *Hydrological Processes*, 25, pp. 1228-1242. doi:10.1002/hyp.7889

Tomasella, J., Pinho, P. F., Borma, L. S., Marengo, J. A., Nobre, C. A., Bittencourt, O. R., . . . Cuartas, L. A. (2013). The droughts of 1997 and 2005 in Amazonia: floodplain hydrology and its potential ecological and human impacts. *Climage Change*, 116, pp. 723-746. doi:10.1007/s10584-012-0508-3

Tucci, C.E.M. 1998 Modelos hidrológicos. ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre. 669 p.

UN-Water. (2013). *Water Security & the Global Water Agenda - A UN-Water Analytical Brief*. Ontario: United Nations University.

Zhao, R. J. (1992). The Xinanjiang model applied in China. *Journal of Hydrology*, 135, pp. 371-381.

Segurança Energética

Enio Bueno Pereira¹

Resumo

O Plano Decenal de Energia antecipa uma demanda de energia crescente no país, a qual deverá ser suprida por quaisquer que sejam as fontes de energia - nuclear, termoelétrica, hidrelétrica ou outras renováveis. Embora a maior parte da energia elétrica gerada no Brasil venha da hidroeletricidade, essa matriz de geração relativamente limpa está se degradando com a entrada de novas centrais termoelétricas, seja devido ao crescimento da demanda seja em resposta a crises hídricas que ameaçam a segurança energética do país. Entre as várias alternativas de fontes limpas, destacam-se a eólica e a solar, esta última com um potencial teórico enorme e ainda pouco explorado. Apesar do grande potencial, energias intermitentes como a solar e a eólica esbarram em barreiras que hoje estão sendo superadas através da combinação do avanço tecnológico, da escala de mercado e da disseminação da informação. O INCT para Mudanças Climáticas buscou, dentro do enfoque da segurança energética, ampliar o conhecimento sobre o potencial solar e eólico nacional, sua variabilidade, tendências de médio e longo prazo, e as possibilidades de complementaridade com outras fontes de energia despacháveis, como a hídrica.

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Introdução

A crescente demanda de energia e de alimentos vem acarretando profundas mudanças no meio ambiente e na qualidade de vida, colocando as sociedades diante de novos desafios em um planeta com recursos naturais finitos. O crescimento da demanda energética, somado à perspectiva de redução dos suprimentos de fontes de energias convencionais, tem sido motivo de preocupação nos países produtores, com implicações na economia global. É também sabido que a segurança energética de uma nação depende da pluralidade de suas fontes de energia. O Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC AR5, 2014) adverte que as mudanças climáticas globais são uma realidade e decorrem, sobretudo, do aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelo consumo de combustíveis fósseis. Sem dúvida, será necessário um esforço mundial de inserção de novas formas de energia de fontes mais limpas nas matrizes energéticas nos próximos 20 anos, como uma das formas de mitigar os efeitos do aquecimento global. Todos esses cenários têm levado a iniciativas que apontam para o uso cada vez mais intenso das energias de fontes renováveis² como forma de possibilitar um processo de desenvolvimento sustentável e em equilíbrio com o meio ambiente.

A grande maioria das fontes de energia alternativa e renovável apresenta um potencial que supera a demanda mundial conforme apresentado na Tabela 1. Entre as fontes alternativas, a energia solar é a que mais se destaca, devido ao seu elevado potencial teórico. Embora todas elas se mostrem capazes de suprir as necessidades energéticas da humanidade sem comprometer o conceito de sustentabilidade, o grande desafio é o de aproveitar tais capacidades de uma maneira economicamente competitiva.

2 Fontes cuja energia é retirada de processos geofísicos (como os ventos e fontes de calor geotérmicos), processos biológicos (como a biomassa) ou do Sol (radiação solar), e que se renovam naturalmente com uma frequência maior ou igual à sua taxa de consumo.

Tabela 1 – Potencial teórico das energias renováveis no mundo

Fonte	Fluxo Anual (EJ/ano)	Porcentagem da produção primária global
Bioenergia	1.900 - 3.000	335% - 529%
Energia Solar	3.900.000	687.831%
Energia Geotérmica	1.300	229%
Energia Hídrica	130 - 315	23% - 56%
Energia dos Oceanos	700 - 3.350	123% - 591%
Energia Eólica	28.400	5.009%
Produção Primária Global	567	

Moriarty e Honnery (2012); Fouquet (2011); Report #IEO2017 (2017).

Dentre as alternativas de geração elétrica, a tecnologia solar fotovoltaica foi a que teve o maior aumento na capacidade instalada mundialmente nos últimos dez anos (Tabela 2). Além dos incentivos que vários países aplicaram para essa forma de energia - em decorrência de compromissos assumidos de mitigação de emissões de gases de efeito estufa, tais como as tarifas de injeção na rede e de compensação (Martins et al., 2008; GT-GDSF, 2008; Tiepolo, 2015) -, a queda nos preços dos módulos fotovoltaicos foi o principal fator para esse crescimento acelerado. Isso graças ao desenvolvimento tecnológico e à economia de escala de mercado. Esses valores foram reduzidos para um quinto do valor original nos últimos seis anos, enquanto que para o sistema de geração como um todo, o valor caiu para um terço.

Tabela 2 – Evolução da capacidade total instalada no mundo de várias energias renováveis entre os anos de 2011 e 2016

FONTE	Capacidade Global Instalada (GW)		Variação Percentual (%)
	Ano de 2011	Ano de 2016	
Hídrica	960	1.096	14%
Biomassa	38	112	195%
Geotérmica	13	14	4%
Solar Voltaica	71	303	327%
Solar Heliotérmica	1,8	4,8	167%
Eólica	238	487	105%

Adaptado de REN21 (2014 e 2017).

Energia e desenvolvimento nacional

De acordo com o último relatório do Balanço Energético Nacional (EPE-BEN, 2015), a maior parte da energia elétrica gerada no Brasil provém de fontes renováveis, principalmente através de fonte hidrelétrica (65,1%), complementada pelos combustíveis fósseis (23%) e nucleares (2,5%), e com uma parcela menor das renováveis não hidráulicas (9,4%). Contudo, essa matriz brasileira de energia elétrica relativamente limpa, se comparada com a do restante do mundo, está se degradando com a entrada de novas centrais termoelétricas, não somente devido à crescente demanda de energia, mas também em resposta à recente crise hídrica pela qual passamos. O Plano Decenal de Energia (EPE-PDE, 2015) antecipa uma demanda de energia crescente a uma taxa média de 3,9% a.a., acrescentando uma demanda adicional de cerca de 266 TWh até 2024, a qual deverá ser suprida por quaisquer que sejam as fontes de energia - nuclear, termoelétrica, hidrelétrica ou outras renováveis. Já na matriz de energia primária, o segmento de transporte permanece liderando o crescimento da demanda energética e de emissões, apesar do avançado programa nacional de inserção de biocombustíveis.

Não obstante o país já possuir uma matriz de geração elétrica predominantemente renovável, a busca de alternativas que possibilitem diminuir

a alta dependência das hidrelétricas foi uma das prioridades do INCT para Mudanças Climáticas, de forma a aumentar a segurança energética nacional sem comprometer a capacidade de atender às necessidades das futuras gerações. A vulnerabilidade das hidrelétricas às condições climáticas leva a situações de racionamento e conflitos relacionados ao uso do recurso e constituem hoje uma constante preocupação do país. Além disso, os recursos hídricos destinados à geração de energia concorrem com recursos hídricos destinados à agricultura, ao abastecimento, à manutenção da biocapacidade e outros fins. Aliada à necessidade de diversificar as fontes de energia e de reduzir essa dependência, existem ainda os compromissos da implementação do Acordo de Paris sobre Mudança do Clima e da Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável, com base nas chamadas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, na sigla em inglês), correspondentes à diminuição de emissão de gases de efeito estufa. O país incluiu em sua NDC a meta de reduzir em 37% as emissões de gases de efeito estufa em 2025 e de 43% em 2030, ambas com relação a 2005, e alcançar 45% de energias renováveis (incluindo hidrelétrica). Alguns objetivos da Agenda 2030 têm um claro componente ambiental de garantir acesso a energia limpa, promover consumo e produção responsáveis e de tornar as cidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis. Nesse sentido, a partir de dezembro de 2015, o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD, 2015) busca dar impulso a esse esforço, porém, ainda existem barreiras tecnológicas e de informação que devem ser rompidas com maior esforço em pesquisas e na formação de recursos humanos.

Geração solar e eólica no Brasil

O Brasil possui elevados índices de incidência solar. Apesar de ser um país com dimensões continentais e das diferentes características climáticas de seu território, o país apresenta condições ideais para o aproveitamento da geração de energia empregando a tecnologia solar.

A média anual de irradiação solar global no Brasil oferece uma boa uniformidade, com níveis nacionais de irradiância solar global incidente entre 1500 kWh/m² e 2500 kWh/m². Esses valores são muito maiores que os de países que fazem uso da tecnologia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica em grande escala, como a Alemanha, que tem esses

números entre 900 kWh/m² e 1250 kWh/m² (Pereira, et al., 2006). Nesse país, o custo nivelado da energia LCE³ atingiu entre 78 a 142 € por MWh em 2013, comparável ao custo da energia gerada a partir de óleo, gás natural ou mesmo carvão (Kost et al., 2013).

No Brasil, o preço médio de venda da energia fotovoltaica no 1º Leilão de Energia de Reserva de 2015 variou de R\$ 296,00 (73 €)⁴ a R\$ 305,51 (75,2 €) por MWh (EPE-DEE, 2015), portanto, já bem próximo da paridade com o custo de venda da energia termoeletrica produzida no Brasil, que é da ordem de R\$ 205,00 (51 €) por MWh. Entretanto, a utilização da tecnologia solar para geração elétrica no país ainda é muito pequena.

As características climáticas locais ou regionais definem a melhor tecnologia de geração solar a ser implementada. Como exemplo, a tecnologia de geração heliotérmica⁵ é fortemente dependente de altos níveis de radiação direta normal incidente (DNI) que, por sua vez, sofre impacto de elevadas cargas de aerossóis, além da nebulosidade. Por isso, o desenvolvimento de metodologias destinadas ao mapeamento preciso das diversas componentes da irradiação solar incidente foi uma das prioridades deste INCT para Mudanças Climáticas.

Além do grande potencial solar ainda praticamente inexplorado, o Brasil possui excelentes áreas para exploração da geração elétrica com tecnologia eólica, principalmente na região Nordeste do país, com um potencial teórico continental calculado para torres aerogeradoras de 50 metros de altura de 143 GW (Amarante et al., 2001). Com o desenvolvimento tecnológico, as torres dos aerogeradores modernos hoje são superiores a 80 metros, fazendo com que esse potencial seja consideravelmente maior, podendo chegar a mais de 300 GW, conforme resultados preliminares deste INCT para Mudanças Climáticas.

Ainda, as características climáticas da região Nordeste do Brasil, com a constância dos ventos alísios, propiciam fatores de capacidade superiores a 40%, acima do que se pode encontrar em países que são hoje líderes na exploração da energia eólica, como a China e a Espanha, por exemplo. O

3 Custo de energia nivelado (LEC), é o valor presente do custo de implantação, operação e manutenção de uma planta de geração de eletricidade dividido pela estimativa da energia gerada ao longo do tempo de vida da planta geradora.

4 Cotação média do Euro de 28 de março de 2016.

5 Geração a partir da transformação irradiação solar direta em energia térmica e subsequentemente em energia elétrica através de turbinas a vapor d'água em alta temperatura.

Brasil vem aumentando rapidamente a exploração desse potencial eólico em seu território, de forma que a capacidade de geração dessa fonte cresceu de 255 kW em 1992 para 8,98 GW em 2016. O preço médio de venda da energia eólica registrado no 2º Leilão de Energia de Reserva de 2015 (www.ccee.org.br) foi de R\$ 203,4 por MWh, já em paridade com o da energia termelétrica. Os novos leilões de energia, dos quais a fonte eólica participa, deverão elevar o volume de instalações de energia eólica no país para mais de 24 GW até 2024. No entanto, esse nível de crescimento antecipado é ainda pequeno e representa apenas pouco mais de 8% da matriz de geração elétrica nacional (EPE-PDE, 2015).

Barreiras à penetração das energias não despacháveis

Apesar do enorme potencial, energias intermitentes como a solar e a eólica esbarram em barreiras que hoje estão sendo superadas através da combinação do avanço tecnológico, da escala de mercado e da disseminação da informação. São elas: a barreira do custo e a do conhecimento. A primeira está sendo superada com a evolução tecnológica e a economia de escala, que reduz custos médios de produção, aumentando a competitividade e aproximando as tarifas dessas energias à paridade com as energias convencionais, como a hidrelétrica, por exemplo. Já a barreira do conhecimento inibe a penetração de tecnologias de geração não despachável de energia elétrica.

Energias do tipo não despachável têm impacto nas decisões tomadas em todas as escalas de tempo e em todas as regiões geográficas, uma vez que uma fonte de geração de energia variável e apenas parcialmente previsível irá implicar no balanço entre a geração e a demanda de outras fontes de energia despacháveis. Essa barreira pode ser vencida com o aumento do conhecimento não só do potencial de energia disponível, mas também da variabilidade da fonte, da capacidade de previsão de geração por essas fontes e da complementaridade com fontes consideradas despacháveis, como a hidráulica.

A longo prazo, fontes renováveis de energia, como a solar e a eólica, sofrem impacto direto de alterações do clima e, considerando que projetos de geração que envolvem tais tecnologias têm vida útil típica de 20 anos, a viabilidade de um projeto deve levar em conta informações sobre os impactos de longo prazo a fim de assegurar o retorno do investimento.

Contribuição à penetração das energias solar e eólica

O INCT para Mudanças Climáticas buscou, dentro do enfoque da segurança energética, ampliar o conhecimento sobre os potenciais solar e eólico nacional, sua variabilidade, tendências de médio e longo prazo, e possibilidades de complementaridade com outras fontes de energia, a fim de fornecer subsídios visando alcançar os objetivos da NDC e de fomentar o desenvolvimento de novas políticas públicas para o setor de energia balizados no Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC, 2008) e o Plano Plurianual (PPA, 2015). Com esse objetivo, formou-se um consórcio de instituições participantes:

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Centro de Ciência do Sistema Terrestre / Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN) <<http://labren.ccst.inpe.br>>

UFAL – Universidade Federal de Alagoas / Instituto de Ciências Atmosféricas / Grupo de Micrometeorologia <<http://www.ufal.edu.br/unidadeacademica/icat/pesquisa/grupos-nucleos>>

UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá / Instituto de Recursos Naturais / Grupo de Estudos em Ciências Atmosféricas, Oceânicas e Ambientais <http://www.somos.unifei.edu.br/setores_academicos/view/20>

UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense / Centro de Ciência e Tecnologia / Laboratório de Meteorologia < <http://uenf.br/cct/lamet/>>

UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo – Campus Baixada Santista / Departamento de Ciências do Mar < <http://www.imar.unifesp.br>>

As principais perguntas norteadoras que balizaram os estudos deste INCT para Mudanças Climáticas, com foco na segurança energética como forma de promover um desenvolvimento sustentável e em equilíbrio com o meio ambiente foram:

- Qual o potencial solar e eólico nacional?
- Quais as possibilidades de complementaridade das fontes solar-hídrica-eólica?

- Como as mudanças climáticas afetam o regime de ventos e a irradiação solar incidente no Brasil a longo prazo?

O levantamento do potencial solar nacional foi uma das prioridades. Para tanto, foram realizadas várias melhorias e aplicações do modelo de transferência radiativa BRASIL-SR utilizado no levantamento do recurso solar em nível nacional. O modelo BRASIL-SR foi desenvolvido e está sendo aperfeiçoado no LABREN-INPE. É um modelo físico para obtenção de estimativas da radiação solar incidente na superfície. O modelo foi utilizado para vários estudos sobre o potencial solar nacional e para gerar 15 anos de saídas horárias de irradiação solar nas suas várias componentes - global, difusa, direta e no plano inclinado, que foram empregadas para a confecção da segunda edição ampliada e revisada do Atlas Brasileiro de Energia Solar, lançado em 2017. Os dados do modelo estão sendo amplamente utilizados tanto por setores governamentais (EPE-DEE, 2015, Energia Solar Paulista, 2013) como pela iniciativa privada (Petrobras, SolerGo) além de vários trabalhos de pesquisa e formação de recursos humanos em nível de mestrado e doutorado no país. A Figura 1 ilustra os níveis de irradiação solar direta normal no Brasil calculada pelo modelo e validada com dados de superfície.



Figura 1 - Média anual da irradiação direta normal (kWh/m²).

Visando dar suporte ao gerenciamento da geração solar no Sistema Interligado (SIN), estudos pioneiros com foco no desenvolvimento de metodologias de previsão de curto prazo de irradiância solar incidente foram desenvolvidos, com emprego de saídas de modelos de mesoescala WRF e ajustes com redes neurais artificiais. Esses estudos mostraram índices de acerto para previsões de até 24 horas superior a 60%. Sob o ponto de vista de avanços tecnológicos, foram iniciados estudos independentes de viabilidade técnica e econômica do uso de várias tecnologias fotovoltaicas e sobre como maximizar a eficiência da conversão fotovoltaica de vários tipos de coletores, levando em conta as características do clima intertropical e seus efeitos na irradiação solar incidente (Lima et al., 2016).

Como suporte ao desenvolvimento e validação de modelos e aplicações na área solarimétrica e de energia solar, o INPE implantou e opera a rede SONDA <<http://sonda.ccst.inpe.br>>, que se constitui hoje na única rede radiométrica de abrangência nacional cooperada com redes internacionais BSRN e AeroNet. A rede (Figura 2) fornece dados de irradiância solar nas várias componentes e dados meteorológicos complementares que servem de referência para validação de modelos de levantamento solar e eólico.



Figura 2 – A estação SONDA de São Martinho da Serra (RS) e a distribuição das estações da rede.

As pesquisas desenvolvidas no INCT para Mudanças Climáticas buscam estender o conhecimento do potencial eólico nacional, seja através de ajustes estatísticos de modelos climáticos regionais, tais como o WRF, o Eta e o BRAMS - validados com dados de torres anemométricas -, seja pelo mapeamento da camada limite atmosférica continental e oceânica através da tecnologia LIDAR. Os resultados preliminares deste indicam um

incremento do potencial teórico em nível nacional da ordem de 10 vezes o que foi levantado em 2001 pelo MME/CEPEL (Amarante et al., 2001). Os dados mostram a necessidade de uma reavaliação desse potencial, com foco no avanço da tecnologia atual de geração em torres de aerogeradores. Os resultados indicam também a necessidade de estender o levantamento desse potencial para áreas alagadas pelas usinas hidrelétricas e para a região oceânica costeira, ainda muito pouco estudada no país.

Sob o ponto de vista climatológico, o INCT para Mudanças Climáticas tem buscado ampliar o conhecimento sobre as tendências de longo prazo no regime de ventos nas principais áreas de exploração da tecnologia eólica de geração elétrica, o Nordeste e o Sul do país, com o emprego de modelo climático regionalizado (Eta - HadCM3) e com base no cenário A2 do IPCC AR4 (Pereira et al., 2013). Os resultados apresentados na Figura 3 indicam um prognóstico favorável para exploração da energia eólica nessas regiões até o final deste século. Procurou também examinar a frequência de retorno de ventos extremos máximos e mínimos em dados observados de superfície. Ventos extremos têm impacto negativo na geração eólica, seja pela redução do fator de capacidade dos parques eólicos, seja por comprometer a segurança estrutural das torres de aerogeradores. Esse trabalho demandou o levantamento de séries históricas de dados de ventos METAR em vários aeroportos brasileiros e em estações meteorológicas da rede nacional entre 1947 e 2014, em parceria com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), através da aplicação dos testes de distribuição de probabilidade e análise da variação de frequência. Os resultados indicam áreas com maior frequência de incidência de ventos extremos máximos, principalmente na região Sul do país (Pes et al., 2017).

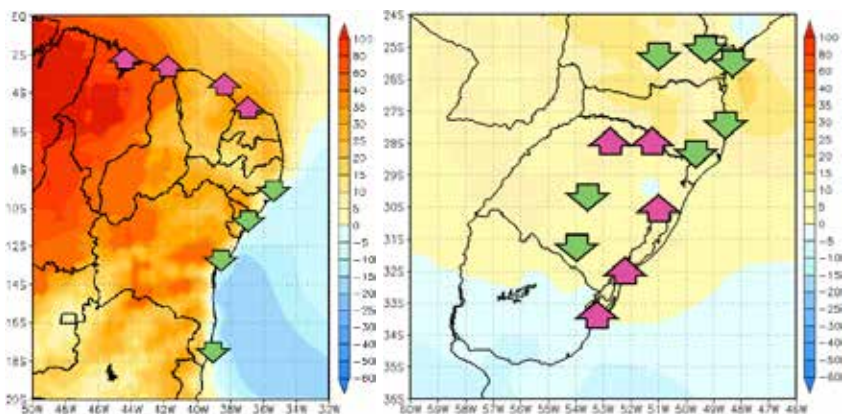


Figura 3 – Prognóstico em % de variação para a densidade de potência eólica no Brasil para o final do século. As setas representam ajustes realizados com as saídas ajustadas com redes neurais artificiais em séries históricas de estações meteorológicas.

Sob o ponto de vista mais tecnológico, foram desenvolvidas metodologias para a previsão de curto prazo da energia do vento em parques eólicos, adequadas à região Nordeste brasileira (Gonsalves, 2011 e Ramos et al., 2013). Para ilustrar o avanço atingido, a Figura 4 mostra erro percentual das previsões para uma torre anemométrica localizada em Girau do Ponciano, no Estado de Alagoas, para o ano de 2009, empregando metodologia desenvolvida pela UFAL. Por exemplo, as previsões de 24 horas da velocidade média diária (MD) tiveram mais da metade dos valores estimados com desvios entre 0 e 10%. A maioria absoluta dos casos (94,52%) se concentra nas três primeiras faixas de erro. Para a estimativa das médias horárias ainda é preciso melhorar a metodologia.

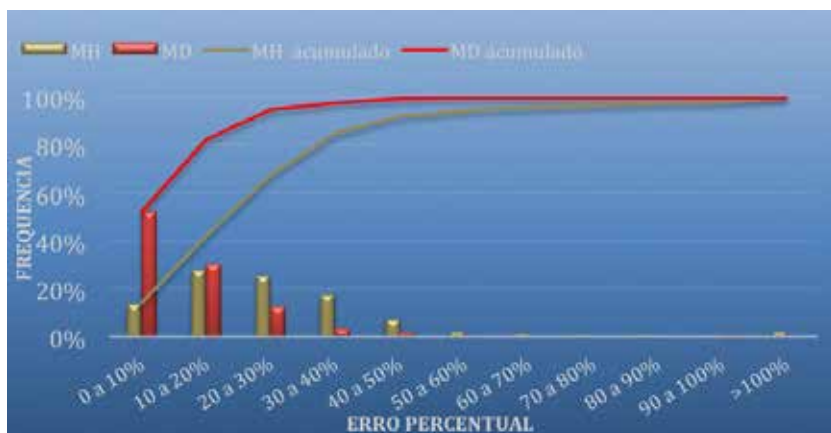


Figura 4 – Erro percentual de previsão eólica para a torre anemométrica de Girau do Ponciano (AL).

O INCT para Mudanças Climáticas facilitou a atuação de várias instituições colaboradoras como a UNIFEI, o INPE, o IAG/USP e o DGEO/UFSC na geração de informação sobre o aproveitamento eólico em reservatórios hidrelétricos, buscando mecanismos de complementaridade entre essas duas fontes de energia (Pimenta et al., 2015). Também foram utilizados métodos inovadores para estudos eólicos, tais como o desenvolvimento de uma plataforma flutuante com compensação da superfície livre e o uso de veículos aéreos não tripulados (Vants) para prospecção eólica.

A informação adquirida durante a vigência do INCT para Mudanças Climáticas no que concerne à segurança energética tem sido usada para a divulgação do conhecimento através de cursos de curta duração e convênios com o setor produtivo e para a formação de recursos humanos através de cursos de pós-graduação *stricto sensu*. Visando ampliar a rede de conhecimento em nível internacional, o INCT para Mudanças Climáticas buscou estabelecer parcerias com instituições internacionais de prestígio na área de meteorologia da energia e colaborações nacionais e intra INCTs. Além disso, vários convênios de P&D com o setor produtivo e com órgãos governamentais foram estabelecidos.

Consideração finais

Os estudos realizados dentro do escopo do INCT para Mudanças Climáticas na área da segurança energética foram pioneiros, mas não esgotam de forma alguma a demanda de conhecimento. Os estudos reforçam a necessidade de buscar informações que transcendem o levantamento dos potenciais teóricos de geração solar e eólica, cuja metodologia foi firmemente estabelecida dentro desse escopo. Fontes de energia intermitente e não despacháveis estão fortemente atreladas a fatores meteorológicos e climáticos que demandam uma ciência bastante interdisciplinar, envolvendo estudos de variabilidade, complementaridade e até mesmo de possibilidades de cogeração com várias fontes despacháveis de energia, a fim de estabelecer um equilíbrio dinâmico entre a oferta e a demanda de energia na rede. Deve-se, ainda, levar em consideração os aspectos socioeconômicos envolvidos. Dentro dessa perspectiva, a continuidade das pesquisas deve buscar não somente levantar os potenciais reais de geração solar e eólica e de redução de incertezas, como também definir parâmetros que possibilitem uma maior penetração das tecnologias de geração solar e eólica, buscando informação e gerando cenários de expansão das várias tecnologias em função das características locais, tais como rede de distribuição, microclima, demanda e oferta, custo, opções de complementaridade, entre outras.

Referências

- Amarante, O. C., Brower, M., Zack, J., & Sá, A. L. (2001). *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. MME.
- Brasil. (2008). *PNMC - Plano Nacional sobre Mudança do Clima*. Brasília: Governo Federal - Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. Fonte: http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf
- Brasil. (2015). *PPA - Plano Plurianual*. Brasília: Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. Fonte: <http://www.planejamento.gov.br/assuntos/planejamento-e-investimentos/plano-plurianual>
- EPE-BEN. (2015). *Balanço Energético Nacional Ano Base 2014*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética.

EPE-DEE. (2015). *Expansão da Geração, 1º Leilão de Energia de Reserva de 2015, Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos*. empresa de Pesquisa Energética, Nº EPE-DEE-127/2015-r0.

EPE-PDE. (2015). *Plano Decenal de Energia 2024*. Empresa de Pesquisa Energética, EPE/MME. Fonte: <http://www.epe.gov.br/PDEE/Sumário%20Executivo%20do%20PDE%202024.pdf>

Fouquet, R. (2011). Environmental Innovation and Societal Transitions. 1. 198–199. doi: 10.1016/j.eist.2011.10.007. Book review of: Smil, V. *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*, Praeger, Santa Barbara, CA (2010), Hardcover: ISBN 978-0-313-38177-5. 178 pages.

Gonsalves, A. (2011). *Refinamento das previsões de vento do modelo Eta utilizando redes neurais artificiais. Dissertação de Mestrado*. INPE.

Governo do Estado de São Paulo. (2013). *Energia Solar Paulista*. Secretaria de Energia - Subsecretaria de Energias Renováveis. Fonte: <http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/455.pdf>

GT-GDSE. (2008). *Relatório do Grupo de Trabalho em Sistemas Fotovoltaicos 2008*. Brasília: Ministério de Minas e Energia.

HiperEnergy. (s.d.). Fonte: Downloads Solergo: <http://hiperenergy.com.br/downloads-solergo/>

iNDC. (2015). Fonte: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.). Geneva, Switzerland: IPCC.

Kost, C., Mayer, J. N., Thomsen, J., Hartmann, N., Senkpiel, C., Philipps, S., et al. (2013). Levelized cost of electricity renewable energy technologies study. Freiburg, Germany: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE.

Lima, F. J., Martins, F. R., Pereira, E. B., Lorenz, E., & Heinemann, D. (2016). Forecast for surface solar irradiance at the Brazilian Northeastern region using NWP model and artificial neural networks. *Renewable Energy*, 87(807), pp. 807-818.

Martins, F. R., Rütther, R., Pereira, E. B., & Abreu, S. L. (2008). Solar energy scenarios in Brazil. Part two: Photovoltaics applications. *Energy Policy*, 36, pp. 2865-2877.

MME. (2015). *ProGD*. Fonte: Ministério de Minas e Energia: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3013891/15.12.2015+Apresentação+ProGD/bee12bc8-e635-42f2-b66c-fa5cb507fd06?version=1.0>

Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. (2015). *PDE 2015 - Plano Decenal de Expansão de Energia 2024*. Brasília: MME/EPE.

Moriarty, P. e D. Honnery (2012). What is the global potential for renewable energy?, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 244-252, doi:10.1016/j.rser.2011.07.151

Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., & Rütther, R. (2006). *Atlas brasileiro de energia solar*. INPE.

Pereira, E. B., Martins, F. R., Pes, M. P., Cruz Segundo, E., & Lyra, A. (2013). The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil. *Renewable Energy*, 49, pp. 107-110.

Pes, M. P., Pereira, E. B., Marengo, J. A., Martins, F. R., Heinemann, D. E Schmidt, M. (2017) - Climate trends on the extreme winds in Brazil, *Renewable Energy*, 110-120, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.101>

Petrobras. (s.d.). *Termo de Cooperação 0050.0066337.11.9*. INPE-Petrobras-FUNDEP.

Pimenta, F. M., & Assireu, A. T. (2015). Simulating reservoir storage for a wind-hydro hybrid system. *Renewable Energy*, 76, pp. 757-767.

Ramos, D. N., Lyra, R. F., & Silva Jr., R. S. (2013). Previsão do vento utilizando o modelo atmosférico WRF para o estado de Alagoas . *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28, pp. 163-172.

REN21-a Renewables 2014 Global Status Report, UNEP ISBN 978-3-9815934-1-9

REN21-b Renewables 2017 Global Status Report, UNEP ISBN 978-3-9818107-6-9

Report #IEO2017 (2017). International Energy Outlook 2017, acesso em 19/12/2017 - <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>

Tiepolo, C. M. (2015). *Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná*. Tese de Doutorado. Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

Saúde

Sandra Hacon¹
Christovam Barcellos¹
Diego Ricardo Xavier¹
Renata Gracie¹
Beatriz Fátima Alves de Oliveira¹
Paulo Artaxo²
Eliane Ignotti³

Resumo

Impactos das mudanças climáticas já são observados no Brasil em alguns setores. As pesquisas recentes indicam que as diferentes regiões do país apresentam registros de efeitos adversos à saúde humana, principalmente em populações vulneráveis, marcadas pelas desigualdades sociais. As doenças de veiculação hídrica relacionadas à crise de abastecimento de água apontam o aumento da diarreia infantil nas regiões Norte e Nordeste. Outros resultados que apresentaram evidência no desenvolvimento do projeto INCT para Mudanças Climáticas foram os impactos na mortalidade geral devido a eventos climáticos extremos, como enchentes e secas, e as doenças transmitidas por vetores, como dengue e malária; o incremento da morbidade por doenças respiratórias associadas aos efeitos sinérgicos da interação da poluição do ar com os fatores meteorológicos; e o aumento da mortalidade de idosos por doenças cardiovasculares relacionadas aos extremos de temperatura. A partir do projeto INCT para Mudanças Climáticas, o subprojeto Saúde teve a oportunidade de ampliar o escopo do Observatório de Clima e Saúde e desenvolver aplicativos para a integração e disseminação de dados sobre clima, ambiente, população e saúde no Brasil.

1 Fundação Oswaldo Cruz

2 Universidade de São Paulo

3 Universidade do Estado de Mato Grosso

A disponibilização de dados e informações permite que o usuário obtenha resultados de indicadores e riscos das mudanças climáticas para a saúde dos brasileiros. O observatório também contribui para a estrutura de um sistema de alertas sobre eventos extremos, de modo a subsidiar os tomadores de decisão no planejamento de ações proativas e preventivas. As abordagens metodológicas para avaliação e análise de dados de saúde e das projeções dos cenários climáticos ainda necessitam avançar no desenvolvimento de modelos de impacto e vulnerabilidade que contemplem a dinâmica social considerando diferentes escalas territoriais (macrorregiões, estados e municípios). O projeto também contribuiu de forma significativa para a formação de mestres e doutores, com a inserção de instituições nacionais e internacionais nos projetos, e para avanços nas parcerias internacionais.

Introdução

A discussão do tema mudanças climáticas teve início em nível internacional a partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em junho de 1972 em Estocolmo. Nessa época, os governantes, as comunidades científicas e a população mundial desconheciam os riscos globais para a humanidade. A partir da criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), em 1988 (<http://ipcc.ch/>), no âmbito das Nações Unidas (ONU), por iniciativa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da Organização Meteorológica Mundial (OMM), os governantes, sociedades científicas, organizações não governamentais e uma pequena parcela da população mundial passaram a conhecer o tema, que foi internalizado pelas esferas governamentais nacionais e internacionais na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, em junho de 1992, no Rio de Janeiro (RJ). Nessa mesma data foi criada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC).

Na saúde humana, as mudanças climáticas podem produzir impactos sobre a saúde humana por diferentes vias. Por um lado, impactam de forma direta, como no caso das ondas de calor, ou mortes causadas por outros eventos extremos, como furacões e inundações. Mas, muitas vezes, esse impacto é indireto, sendo mediado por mudanças no ambiente, como a alteração de ecossistemas e de ciclos biogeoquímicos, que podem modificar a distribuição de doenças vetoriais, de veiculação hídrica e as associadas ao

aumento da poluição do ar. Apesar de didaticamente classificados, os impactos das alterações climáticas na saúde humana são complexos e, muitas vezes, multifatoriais e não lineares. Portanto, poderão ser potencializados ou minimizados em função das características dos determinantes individuais e coletivos inerentes a uma determinada organização social e de suas inter-relações.

A maioria dos estudos sobre os potenciais impactos à saúde associados às mudanças climáticas considerou cenário de risco de aquecimento menor ou igual a 2°C. Essa projeção otimista ainda não apresenta elementos confirmatórios, considerando os resultados das políticas de emissões adotadas até o presente. Os modelos climáticos indicam que, para o período de 2081-2100, o aumento da temperatura média global está estimado entre 0,3°C e 4,8°C em relação ao período de referência, de 1986 a 2005, a depender da trajetória de emissões de gases de efeito estufa (GEE) (IPCC, 2013). Considerando as incertezas associadas às mudanças econômicas, ambientais, sociais, demográficas e geopolíticas, alguns países, incluindo áreas do território brasileiro, poderão experimentar um aumento de 4°C até 7°C na temperatura para aqueles cenários de mais altas emissões de GEE, o que poderá acarretar novas doenças e exacerbações de outras existentes no cenário atual (IPCC, 2014). Se as emissões de gases de efeito estufa continuarem nas suas atuais proporções, o planeta estará caminhando em direção a um aquecimento médio global de mais de 3°C, com 20% de chances de atingir um valor de 4°C próximo ao final deste século (World Bank, 2012).

Entre os vários acordos assinados no âmbito da UNFCCC, está o comprometimento científico de “promover e cooperar em pesquisas científicas, tecnológicas, técnicas, socioeconômicas e outras, em observações sistemáticas e no desenvolvimento de bancos de dados relativos ao sistema climático”. O Brasil vem fazendo a sua parte, por meio de várias iniciativas, incluindo o programa dos institutos nacionais de ciência e tecnologia em áreas estratégicas, entre elas, mudanças climáticas.

A partir do INCT para Mudanças Climáticas, o subprojeto Saúde, coordenado pela Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), teve a oportunidade de compartilhar e expandir o Observatório de Clima e Saúde; ampliar conceitos (Freitas et al., 2011); desenvolver estudos de vulnerabilidade, bem como aperfeiçoar metodologias integradas de projeção de impactos das mudanças climáticas para a saúde humana, considerando diferentes escalas territoriais (macrorregiões, estados e municípios); avançar em estudos de

projeções climáticas e impactos à saúde; estudar efeitos sinérgicos para a saúde humana entre as interações de aumento da temperatura e a poluição atmosférica; e desenvolver os primeiros estudos sobre os efeitos derivados da queima de biomassa na Amazônia ao nível celular e molecular, entre outras contribuições. Também permitiu integrar de forma multi e interdisciplinar a temática da saúde pública e mudanças climáticas na formação de mestres e doutores, com a inserção de instituições nacionais e internacionais, assim como avançar nas parcerias com instituições internacionais.

Entre as várias atividades do subprojeto Saúde, a estruturação do Observatório de Clima e Saúde, em parceria com o Ministério da Saúde e a Organização Panamericana da Saúde, tem como iniciativas a conscientização e a mobilização da sociedade para a discussão e tomada de decisão sobre os problemas decorrentes das mudanças climáticas, assim como a integração de várias áreas do conhecimento, facilitando o acesso à informação para toda a sociedade. O projeto desenvolveu aplicativos e um site para a constituição de um Observatório de Clima e Saúde (www.climasaude.icict.fiocruz.br), voltado para a integração e disseminação de dados sobre clima, ambiente, população e saúde no Brasil numa plataforma de livre acesso, com o objetivo de subsidiar pesquisas e o monitoramento dos efeitos das mudanças ambientais e climáticas sobre a saúde (Jancløes et al., 2014).

A disponibilização de dados e informações permite que o usuário obtenha resultados de indicadores, riscos e impactos das mudanças climáticas para a saúde dos brasileiros. O observatório também permite estruturar um sistema de alertas sobre eventos extremos, definindo ações proativas e preventivas que possam subsidiar os tomadores de decisão de forma antecipada.

Contexto do subprojeto

O suprojeto Saúde foi composto por vários outros subprojetos, contemplando geograficamente o território nacional, com ênfase nas regiões Centro-Oeste e Norte, principalmente a Amazônia, e com foco em grupos vulneráveis. O projeto se desenvolveu em cinco linhas de pesquisa, compreendendo o contexto da vulnerabilidade socioeconômica e de acesso aos serviços de saúde; avanços nas metodologias de avaliação de impactos quali-quantitativos de doenças respiratórias e cardiovasculares causadas por variações sazonais de temperatura e precipitação, e aquelas exacerbadas

pelos efeitos sinérgicos da interação da poluição do ar e de fatores meteorológicos; doenças de veiculação hídrica relacionadas à crise de abastecimento de água, assim como nos estudos dos impactos na mortalidade geral devido a eventos climáticos extremos, como enchentes e secas e as doenças transmitidas por vetores, como dengue e malária.

Estudos recentes observaram como possíveis efeitos das mudanças ambientais globais e climáticas sobre a saúde o agravamento da incidência de problemas de saúde existentes, se mantidos seus padrões socioepidemiológicos (Gonçalves et al., 2016); estimativas do incremento percentual de mortes por doenças cardiopulmonares para 18 capitais brasileiras, de acordo com os cenários climáticos RCP 4.5 e 8.5 (Oliveira et al., 2017); a dispersão espacial de algumas doenças para novas áreas receptivas e vulneráveis; e a emergência de novas doenças, principalmente em relação às arboviroses, como zika, dengue e chikungunya (Barcellos & Lowe, 2013).

Os estudos desenvolvidos no âmbito INCT para Mudanças Climáticas evidenciam a necessidade de aperfeiçoamento de sistemas de vigilância em saúde com novas tecnologias, capazes de detectar, diagnosticar de forma precoce e tratar agravos à saúde inusitados, ou fora dos padrões atuais de transmissão. Nesse sentido, o projeto procurou desenvolver estudos sobre a situação atual de algumas doenças sensíveis ao clima (DSC) e identificar fatores climáticos e ambientais que podem promover uma mudança nesse quadro (Barcellos et al., 2009).

Os impactos das mudanças climáticas sobre a saúde podem se dar por diferentes formas e caminhos. Raramente se pode dizer que esses impactos são resultado direto e linear do aumento da temperatura. Vários outros fatores podem causar ou agravar esses efeitos. Este projeto procurou mostrar como o clima altera as condições de saúde, mais especificamente:

- Que problemas de saúde podem surgir ou ser agravados com as mudanças climáticas;
- Que outros fatores sociais e ambientais estão relacionados às causas dessas doenças;
- Como essas doenças podem progredir nos próximos anos, devido às projeções das mudanças climáticas.

Para isso, foi preciso reunir e analisar um grande número de dados e informações que permitiram compreender a situação da saúde da população, suas vulnerabilidades socioambientais e socioeconômicas, analisar o

risco climático e seus impactos para diferentes grupos etários, e subsidiar os gestores com dados, informações e ferramentas que possam contribuir com ações proativas e fundamentação para as políticas públicas de Clima e Saúde.

Amazônia, saúde e as mudanças climáticas

Nas últimas décadas, os estudos sobre os impactos do aumento da temperatura na saúde humana têm se concentrado em estudos de casos retrospectivos, como os impactos na mortalidade causados pelas ondas de calor que atingiram a Europa em 2003 e a Rússia em 2010 (Robine et al., 2008; Matsueda, 2011), e estudos de avaliação da relação exposição-resposta, com estabelecimento do risco relativo entre temperatura e diversos desfechos na saúde, sobretudo na mortalidade geral (Kingsley et al., 2015, Gasparini et al., 2015). Muitos desses estudos têm procurado estabelecer os limiares de temperatura a partir dos quais se iniciam os efeitos em desfechos de morbimortalidade, seja em condições extremas de calor ou frio. Tanto os valores de risco relativo quanto os limiares de temperatura vêm sendo usados na quantificação dos impactos das mudanças climáticas por meio da estimativa do excesso de mortes ou internações hospitalares em diferentes cenários de mudanças climáticas (Wu et al., 2014; Huynen & Martens, 2015; Kingsley et al., 2015). No Brasil, os primeiros estudos sobre saúde e as projeções climáticas foram desenvolvidos no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas (Hacon et al., 2016).

Outros estudos buscaram relacionar as mudanças climáticas e a poluição atmosférica (Hacon et al., 2016), tendo como foco os efeitos do ozônio, do material particulado e da temperatura (Jacob, Winner, 2009; Doherty et al., 2009) em diversos estudos sobre poluentes e efeitos na saúde humana (Gouveia et al., 2006; Ignotti et al., 2010). Esses fatores, no entanto, não atuam de forma isolada, isto é, possuem efeitos sinérgicos sobre os organismos, e muitas vezes provêm de fontes de emissão em comum. A temperatura, nesse caso, atua como uma variável que interage com as demais (fator de confusão), potencializando os efeitos da poluição sobre a saúde, e é controlada por meio de técnicas estatísticas multivariadas. O caso das queimadas na Amazônia foi estudado no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas - a interação entre estiagem, queimadas, poluição atmosférica e aumento de temperatura (Rodrigues et al., 2016).

Na Amazônia, o aumento das concentrações de material particulado da queima de biomassa e seus efeitos na saúde estão sendo estudados nos grupos mais vulneráveis, como as crianças e os idosos (Ignotti et al., 2010; Oliveira et al., 2012; Smith et al., 2014), de modo a contribuir com as políticas públicas de adaptação e seu monitoramento. Na medida em que se avança para a elevação da temperatura de 3°C ou mais para algumas regiões do Brasil, e concomitante aumento da ocorrência de secas intensas, tende-se a aumentar ainda mais o risco da exposição a poluentes atmosféricos, principalmente o material particulado e o ozônio, decorrentes da queima de biomassa.

Apesar da extensa literatura disponível sobre a relação saúde e poluição atmosférica em centros urbanos no Brasil, especialmente das regiões Sudeste e Sul, até 2008 poucos estudos abordavam os efeitos da fumaça oriunda da queima de biomassa para a saúde pública na região amazônica. A partir do projeto INCT para Mudanças Climáticas, parcerias nacionais e internacionais com o Laboratório de Física Atmosférica da Universidade de São Paulo, a Universidade Estadual de Mato Grosso, a Universidade de Rondônia, a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Departamento de Genética e Biologia Celular), a Universidade Federal de Mato Grosso, a Universidade do Estado do Amazonas/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC e DPI), a Universidade de Exeter, a Universidade de Basel, e o Instituto Tropical e Saúde Pública da Suíça permitiram o desenvolvimento de um conjunto de estudos sobre os efeitos das queimadas e fatores meteorológicos para a saúde da população da região Norte e Centro-Oeste do país. Esse recorte geográfico teve como objetivo estudar os impactos sinérgicos das queimadas, considerando a sazonalidade das regiões e os parâmetros meteorológicos para a saúde humana no Arco do Desmatamento.

Os estudos sobre os impactos das queimadas na saúde humana e suas relações com a sazonalidade tiveram início na região do Arco do Desmatamento em 2009, analisando a relação da mortalidade e morbidade de doenças respiratórias e cardiovasculares em grupos etários mais vulneráveis (crianças e idosos). Esses estudos inicialmente tiveram caráter retrospectivo, descritivo e exploratório, mostrando os efeitos de variações sazonais e espaciais na distribuição de determinados indicadores de morbimortalidade. Contribuíram para o entendimento do incremento dos efeitos da exposição à poluição gerada pela queima de biomassa, evidenciando que

a taxa de internação por doenças respiratórias nesses grupos alcançava valores três vezes maiores no período da seca quando comparada ao período chuvoso na Amazônia.

Os resultados indicaram que os estados de Rondônia e Mato Grosso foram os mais impactados pelos efeitos sinérgicos das queimadas e a seca na Amazônia brasileira (Ignotti et al., 2010; Pereira et al., 2011; Andrade Filho et al., 2012 e 2013; Barros et al., 2013; Gonçalves et al., 2013; Nunes et al., 2013; Rodrigues et al., 2013; Silva et al., 2014; Jacobson et al., 2014). Os estudos no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas permitiram conhecer os mecanismos genéticos de proteção e predição dos efeitos da exposição ao material particulado oriundo das queimadas na Amazônia, em relação às doenças respiratórias com evidências de efeitos de estresse oxidativo e respostas inflamatórias usando células de pulmão (A549) (Alves et al., 2011 e 2014). Um estudo mais recente evidenciou que o Reteno, um marcador de queimadas na Amazônia, presente no PM10, causa dano ao nível do DNA e morte celular mesmo em baixas concentrações no material particulado (Alves et al., 2016).

Os estudos na região do Arco do Desmatamento se ampliaram, incluindo doenças transmissíveis e as vulnerabilidades socioambientais. O projeto desenvolveu um trabalho de mapeamento de vulnerabilidade e impactos para os municípios brasileiros no contexto da Terceira Comunicação Nacional para a UNFCCC. Nesse estudo foram construídos índices de vulnerabilidade socioeconômica, associada ao acesso a serviços de saúde e ambiental em nível municipal. Além disso, a abordagem de carga de doença foi aplicada para quantificar o impacto do aumento da temperatura e da ocorrência de ondas de calor na mortalidade geral, doenças respiratórias e diarreia. Os resultados preliminares foram suficientes para identificação de áreas mais vulneráveis e sob maior risco climático. Porém, apesar das informações sobre exposição climática serem refinadas e mais específicas, os riscos relativos aplicados foram aqueles sugeridos para uma avaliação mais geral, e não levam em conta a complexidade do contexto de vulnerabilidade da população brasileira (Hacon et al., 2016).

Estudos de algumas doenças transmissíveis, condições sociais e desmatamento na Amazônia brasileira evidenciaram que a hanseníase está associada aos indicadores de condições de vida e à ocupação do território. O estudo indica que o desmatamento e, conseqüentemente, a mudança no uso da terra, exercem papel importante na transmissão e manutenção da hanseníase no território (Xavier et al., 2010).

As grandes cidades da região, como Rio Branco (AC), enfrentam ameaças do efeito de ilha de calor urbano, juntamente com o aumento de temperatura e mudança no padrão de precipitação. Esses fatores combinados podem elevar o nível de infestação pelos mosquitos transmissores de dengue (*Aedes aegypti*) e, conseqüentemente, da incidência de dengue (Horta et al., 2014). Outros estudos sobre a influência de fatores climáticos em níveis local e regional ainda são necessários para a análise tanto dos padrões de distribuição temporal e espacial dos vetores, quanto da influência da dinâmica de transmissão da dengue e outras doenças vetoriais.

O efeito combinado de padrões de uso do solo e clima pode influir na transmissão da malária, tanto pelo desmatamento, quanto pela extração seletiva de madeira, queimadas, urbanização e construção de estradas na região. Esses indicadores foram calculados para cada município da Amazônia Legal e foi verificada a sua associação com a incidência de malária (contagem de casos), usando uma regressão binomial negativa, controlada pela população. Tanto a presença de estradas pavimentadas ou não pavimentadas quanto as queimadas aumentaram o risco de transmissão, enquanto a extração seletiva de madeira apresentou tendência de redução dos riscos de malária. Esses resultados mostram a importância da regulação e monitoramento de todos os tipos de desmatamento que vêm sendo empreendidos nas áreas de ocupação recente da Amazônia, incluindo o desmatamento seletivo e localizado, produzido por garimpos, assentamentos, pequenas áreas de exploração de madeira, onde podem ocorrer maiores perturbações no uso do solo, com graves conseqüências sobre a transmissão de malária (Hahn et al., 2014).

A equipe de pesquisadores do Observatório do Clima, associada a pesquisadores estrangeiros, atuou na polêmica levantada por um artigo na revista PLOS (Valle, D, Clark J. *Conservation efforts may increase malaria burden in the Brazilian Amazon*. Eisele T., ed. PLoS ONE. 2013;8(3):e57519) afirmando que a existência de áreas protegidas da Amazônia brasileira poderiam agravar as condições de transmissão de malária na região. A disseminação desse tipo de afirmação pode incentivar iniciativas de desmatamento e desregulação do controle ambiental da região, além de não contribuir para o controle da malária. A resposta foi preparada por pesquisadores ligados ao INCT para Mudanças Climáticas, em conjunto com a Universidade de Wisconsin (EUA) (Hahn et al., 2013) e mostrou que a metodologia empregada pelo primeiro grupo de pesquisadores era tendenciosa e sobrevalorizou o

papel das áreas de preservação na transmissão da malária. O novo estudo do grupo do Observatório mostrou que as periferias urbanas, áreas de ocupação recente, de garimpo, novas estradas e territórios indígenas são hoje os maiores responsáveis pela permanência da transmissão de malária e que estes se localizam próximos às áreas protegidas.

Estudos na escala nacional - interações Clima-Saúde

Os eventos extremos hidrometeorológicos e climáticos afetam a dinâmica das doenças de veiculação hídrica, como a leptospirose, as hepatites virais e as doenças diarreicas, como a gastroenterite. Essas doenças podem se agravar com alterações na temperatura, na umidade e no regime de chuvas com as enchentes ou secas, e alterar o transporte de microrganismos, a emissão de poluentes e, conseqüentemente, afetar a saúde humana. Outro impacto indireto relacionado com as doenças de veiculação hídrica provém da qualidade e do acesso à água e dos fatores de higiene pessoal. As doenças respiratórias e cardiovasculares também podem ser influenciadas por eventos extremos que acelerem o processo de queimadas de vegetação, exacerbação da poluição do ar em áreas urbanas e de queima de biomassa, como na Amazônia. Além disso, situações de desnutrição podem ser ocasionadas por perdas na agricultura, principalmente a de subsistência, devido às geadas, ciclones, vendavais, secas e cheias e outros eventos climáticos extremos.

Os desastres naturais de origem em extremos climáticos produzem efeitos diretos e indiretos sobre a saúde humana e são, em geral, registrados nos sistemas de informação da Defesa Civil, que relatam os números de vítimas imediatas. No entanto, diversos problemas de saúde podem ocorrer ao longo de meses depois desses desastres e são dificilmente monitorados e mensurados. O projeto investigou o estudo de caso de municípios atingidos pela enchente de novembro de 2008 no estado de Santa Catarina. As informações sobre o estudo de caso geradas por diferentes fontes de disseminação de dados, suas contradições e suas semelhanças, bem como sobre os reflexos do desastre nos sistemas de saúde, foram recuperadas e analisadas no contexto da saúde pública. Os resultados identificaram discordâncias nas informações divulgadas pela Defesa Civil, fontes da imprensa e nos registros de mortalidade segundo o Sistema provido pelo DATASUS. Diversas causas de internação e de óbito tiveram sua frequência significativamente

elevada alguns meses após as enchentes de Santa Catarina em novembro de 2008, como a leptospirose, acidentes vasculares-cerebrais (AVC), quedas e outros acidentes, e as doenças transmissíveis em geral (Xavier et al., 2014). Esses agravos devem ser foco de políticas específicas, já que não fazem parte da rotina de avaliação de danos dos desastres naturais e podem passar despercebidos pelos sistemas de alerta e vigilância em saúde.

A relação entre a ocorrência de eventos climáticos extremos, desastres e efeitos sobre a saúde foi estudada usando dados combinados do Relatório de Avaliação de Danos (AVADAN) do ano 2000 a 2010, disponibilizados pela Defesa Civil (Freitas et al., 2014). Esses relatórios, que continham 10.001 registros inicialmente organizados em formulários, foram georreferenciados segundo o município de ocorrência, fornecido pelos instrumentos de avaliação de danos. Foi criado um sistema de disseminação de dados individuais dos desastres naturais, de análise espacial do conjunto de desastres por tipologia, e de visualização em forma de mapas. Além disso, esses dados foram relacionados com registros de notificação de doenças (SINAN) e mortalidade (SIM) (Xavier et al., 2014). A Figura 1 mostra a distribuição de número de eventos e de óbitos relacionados a eventos climáticos extremos causados por chuvas intensas (deslizamentos, inundações bruscas e graduais) no Brasil de 2000 a 2011, que foi obtida com base nos dados do AVADAN, consolidados no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas.

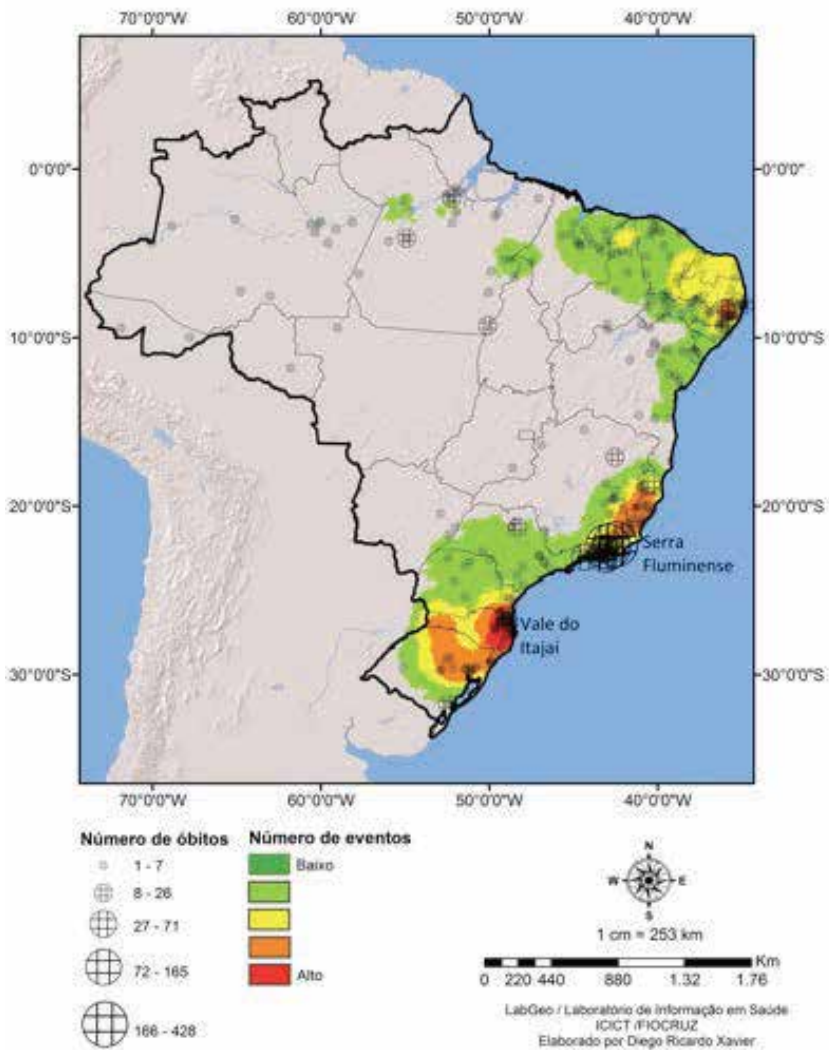


Figura 1 – Áreas de concentração de deslizamentos, inundações bruscas e graduais e número de óbitos relacionados de 2000 a 2011 (AVADAN, consolidado pelo Observatório de Clima e Saúde. www.climasaude.icict.fiocruz.br).

No Brasil, o maior número de eventos é observado nas secas, com 49% do total registrado. Em seguida, são observadas as inundações bruscas, com 31%. O percentual de afetados também é maior em eventos de secas, com 52% dos afetados; as inundações bruscas apresentam cerca de 28%; nas inundações graduais e em causas eólicas ocorre um maior percentual de

afetados em um menor número de eventos. Apesar de um número menor de eventos em comparação com as demais causas, a média de atingidos pelos deslizamentos é a maior observada, com mais de 115 mil pessoas afetadas em cada desastre (Freitas et al., 2014).

Mais recentemente, estão sendo estudados os efeitos da seca prolongada sobre a saúde da população. Esse projeto, que conta com a participação da Universidade de Columbia (IRI), dos Estados Unidos, e financiamento do CNPq, trata e disponibiliza dados da NASA sobre as condições de clima e vegetação. A região Nordeste e particularmente a área do semiárido brasileiro têm registrado eventos acumulados de seca e estiagem, cujo efeito é magnificado pela maior vulnerabilidade da população e do território (Sena et al., 2106). A ocorrência de grandes surtos de diarreia nessa região, investigada no âmbito do projeto, em cooperação com o Instituto Nacional do Semiárido (INSA) e do Centro de Estudos e Pesquisas em Emergências e Desastres em Saúde (CEPEDES), mostrou o efeito combinado de uma crise hídrica, provocada por um evento climático extremo, em conjunto com a precariedade dos sistemas de abastecimento de água e as condições gerais de vida da população (Rufino et al., 2016). A Figura 2 mostra as possíveis interações entre esses fatores e como são registrados os eventos de saúde.

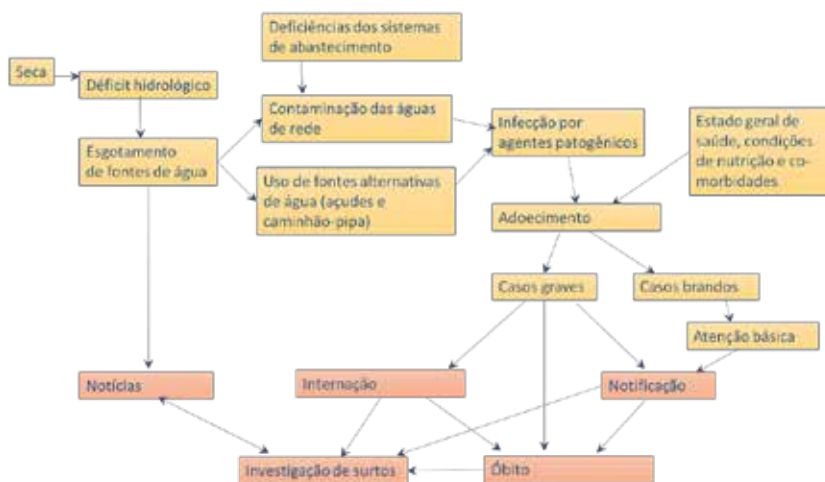


Figura 2 – Fluxo de relações causais entre seca e efeitos sobre a saúde. Em vermelho são destacados os eventos de saúde que são registrados em sistemas de informação.

No caso da dengue, foi elaborado um modelo de previsão de surtos, usando como dados de entrada algumas variáveis meteorológicas de modelos de previsão, como temperatura e precipitação acumuladas, bem como uma série histórica recente de casos de dengue por município. O modelo permitiu a criação de um sistema de alerta precoce que foi utilizado para prever o risco de epidemias durante a Copa do Mundo de futebol de 2014, nas 12 cidades onde houve jogos (Lowe et al., 2014). O sistema é acoplado a modelos de previsão climática em desenvolvimento pelo INPE e podem gerar alertas com antecedência de três meses (Lowe et al., 2016).

Foi realizado estudo sobre a difusão e extensão atual da área de transmissão de dengue no Brasil (Figura 3). Foram adotadas medidas de intensidade, permanência e temporalidade de casos de dengue para verificar a expansão dessa área de transmissão. Esses indicadores foram georreferenciados usando as coordenadas das cidades (sedes dos 5.507 municípios existentes em 2000) e usados para construir mapas e sobrepor camadas de dados em ambiente SIG. Os indicadores espaciais foram interpolados usando a técnica de *kriging*.

Foi reconhecida uma relação entre padrões temporais e espaciais de difusão de dengue no Brasil. Os picos de transmissão (no tempo) correspondem a pulsos invasivos (no espaço) da doença. Esses pulsos podem atingir áreas distantes e ser mais agressivos, isto é, provocar maior incidência que em áreas onde os vírus não circulavam, já que alcançam populações suscetíveis. A concentração de cidades com surtos verificada ao longo da franja de transição entre climas pode representar o maior risco que correm essas cidades, antes isoladas de circuitos de circulação dos vírus (Barcellos & Lowe, 2013).

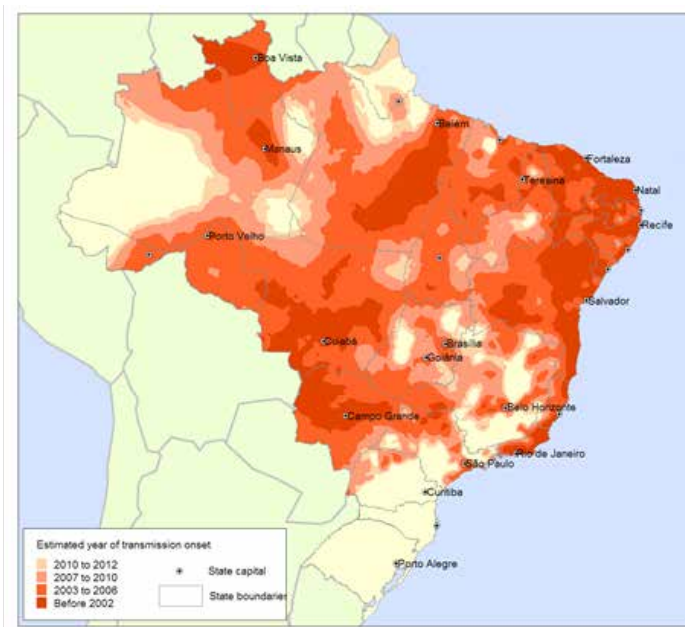


Figura 3 – Expansão da área de transmissão de dengue no Brasil, de 2001 a 2012.

Estudos sobre os impactos do aumento da mortalidade na saúde humana mostram que a mortalidade associada ao aumento da temperatura será um dos impactos mais prováveis no setor de saúde até o final do século. Considerando os cenários climáticos RCP 4.5 e 8.5 do IPCC AR5 e com base nas recentes publicações sobre limiares de temperatura a partir dos quais se observam aumento da mortalidade para 18 capitais brasileiras (Guo et al., 2014; Gasparrini et al., 2015), alguns municípios dos estados do Rio Grande do Norte, Tocantins, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná poderão ter um aumento da temperatura superior a 4°C em relação ao limiar de temperatura para o cenário RCP 4.5 no período de 2071-2099. Esse aumento poderá ser mais acentuado para o cenário RCP 8.5, no qual a maior parte das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Norte poderá apresentar aumento superior a 4°C na temperatura média em relação aos limiares de temperatura estabelecidos (Figura 4) (Oliveira et al., 2017).

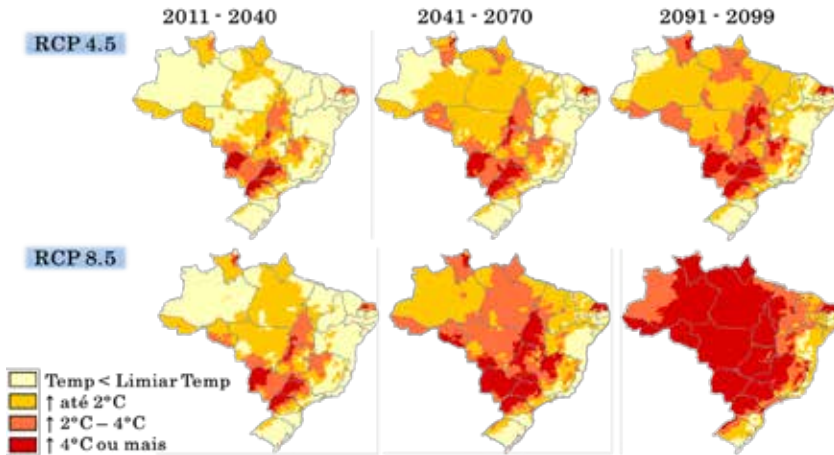


Figura 4 – Identificação de áreas de alto risco para mortalidade geral considerando o aumento da temperatura em relação ao limiar de temperatura estabelecido por Gasparrini et al. (2015), segundo cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5 para janelas de tempo 2011-2040; 2041-2070 e 2071-2099.

A importância de sítios sentinelas para alertas

O conhecimento e as técnicas adquiridos ao longo do projeto foram usados para a construção do sítio sentinela de Manaus (AM), que acompanha a variação do nível do rio Negro e a incidência de doenças. Foi demonstrado, através de análises estatísticas de séries temporais, que as alterações de nível do rio são percebidas e assimiladas pelos habitantes locais, desde que essas variações ocorram dentro de uma faixa que não comprometa o funcionamento dos sistemas de transporte, de suprimento de água e alimentos, e do esgotamento sanitário (Barcellos et al., 2015). Ou seja, há uma adaptação natural espontânea da população local. Esses dados e modelos foram interpretados por técnicos, pesquisadores e representantes da sociedade civil de Manaus, o que permitiu não só a validação das informações como a obtenção de dados complementares sobre as condições de vulnerabilidade locais, o que seria impossível de se obter por meio de dados secundários.

Na região de fronteira entre o estado do Amapá e a Guiana Francesa, está sendo construído um sítio sentinela para a vigilância de doenças transmitidas por vetores, como a malária, dengue, zika e chikungunya.

Essas doenças convivem atualmente na região e são potencializadas pelas mudanças socioambientais recentes, juntamente com a intensa mobilidade de trabalhadores pela área de fronteira. O projeto vem sendo apoiado pela agência de fomento à pesquisa do Amapá (FAPEAP) e o Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento (IRD-França) (Roux et al., 2014). Esse sítio sentinela tem propiciado estudos sobre a relação entre o uso do solo e condições de habitação com a incidência de malária (Stefani et al., 2013).

Atuação do projeto na formulação de políticas sobre clima e saúde

O desenvolvimento de estudos e pesquisas e a implantação do Observatório de Clima e Saúde contribuíram de forma significativa para as políticas públicas, resultando no Grupo Técnico de Clima e Saúde para subsidiar o Grupo Interministerial no desenvolvimento do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS), instituído em 10 de maio de 2016 por meio da Portaria nº 150.

O subprojeto Saúde contribuiu diretamente para a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em inglês) brasileira, por meio dos estudos para a Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). O relatório nacional apresenta uma projeção dos impactos climáticos para a saúde dos brasileiros considerando os cenários RCP 4.5 e 8.5 do IPCC até o final do século XXI.

Formação de recursos humanos no âmbito do subprojeto Saúde

Em relação à formação de recursos humanos, os estudos realizados com abrangência geográfica em todo o território nacional e com parcerias nacionais e internacionais avançaram no sentido de ampliar discussões sobre a temática das mudanças climáticas e saúde, sensibilizar profissionais de várias outras áreas do conhecimento e inovar disciplinas em cursos de pós-graduação em nível de mestrado e doutorado, a partir de estudos de casos desenvolvidos em diferentes biomas e regiões do Brasil. Um exemplo é o curso internacional de modelagem de dados sobre clima e saúde, que em 2016 completou sua quarta edição anual. O curso conta com professores da Fiocruz, Universidade de Columbia (EUA) e de Exeter (Reino Unido)

e alunos de diversos programas de pós-graduação do Brasil e países da América do Sul, Europa e África (<http://indico.ictp.it/event/a14271/>).

O projeto permitiu, ao longo do período de 2009-2016, o desenvolvimento de 18 dissertações de mestrado e 11 de doutorado, com abrangência nacional e internacional, permitindo a formação de uma rede de pesquisas à qual as instituições participantes estão ligadas. Além disso, os dados gerados e/ou organizados pelo projeto estão sendo usados por pesquisadores de diversas outras instituições, com acesso livre pelo site do Observatório de Clima e Saúde. O projeto colaborou para o desenvolvimento de uma massa crítica no país e o reconhecimento e avanço da importância do tema para a saúde coletiva.

Considerações finais

Entre os resultados científicos mais importantes deste tema integrador, pode se dizer que, em termos climáticos, as projeções mostram que todas as regiões ultrapassarão o limiar de 4°C de aquecimento para o cenário RCP 8.5, principalmente as regiões Norte e Centro-Oeste, onde o aquecimento médio poderá ultrapassar, respectivamente, valores de 6°C e 7,5°C em quase toda a extensão territorial até o final do século. Entre os impactos previstos com esses aumentos, o estresse por calor chama a atenção por permitir estabelecer, claramente, os limiares biológicos de conforto térmico e de adaptabilidade biológica do homem ao calor extremo. Com os limites físico e termodinâmico do corpo humano mensuráveis a partir da temperatura de bulbo úmido, os resultados mostraram que em diversos municípios da região Norte, a população deverá ficar exposta várias horas, dias ou até meses em um ambiente com temperatura acima de 35°C e com alta umidade, indicando, por exemplo, a necessidade de aclimação e redução da prática de exercícios físicos, especialmente da carga de trabalho de determinadas atividades. Outro impacto amplamente destacado refere-se aos eventos climáticos extremos que, diferentemente de impactos indiretos, ocorrem de forma brusca e, na maioria das vezes, intoleráveis pelo homem, afetando milhares de pessoas. Os desastres naturais, especialmente inundações e secas prolongadas, também merecem destaque. Para inundações, além dos impactos diretos, o aumento da temperatura e precipitação, em conjunto com variáveis socioeconômicas e demográficas, provavelmente

potencializará o aumento de doenças transmitidas por veiculação hídrica, como diarreia e leptospirose.

Em determinadas situações, a inadaptabilidade de certas regiões aos altos aquecimentos poderá favorecer a migração humana forçada e, além das consequências sociais, demográficas e econômicas, o aumento de doenças como dengue, malária e, mais recentemente, a zika e a chikungunya poderão ser registrados. Do ponto de vista social, os impactos do aumento da temperatura na saúde humana serão distribuídos de maneira assimétrica entre as regiões do país, com as populações menos favorecidas sofrendo os maiores impactos.

Para desenvolver pesquisas sobre saúde e clima no INCT para Mudanças Climáticas, as parcerias científicas com instituições nacionais e internacionais foram ampliadas ao longo do desenvolvimento do projeto, permitindo avanços nas projeções de doenças vetoriais e as não transmissíveis, considerando os cenários climáticos até o final do século XXI. Em síntese, nossos estudos sobre mudanças climáticas e saúde englobaram estudos básicos; identificação de relações causais; análise de risco; construção de modelos preditivos; avaliação da vulnerabilidade; e a estruturação do Observatório de Clima e Saúde. Ao longo do desenvolvimento do projeto foi possível ampliar o entendimento das relações clima-saúde e construir uma massa crítica e uma produção científica abordando as questões de vulnerabilidade, risco e impactos das mudanças climáticas à saúde humana.

Além das pesquisas desenvolvidas, o projeto construiu uma integração com universidades locais da região Centro-Oeste e Norte, que incentivou estudantes de graduação a realizarem seus estudos de mestrado e, consequentemente de doutorado na Fiocruz, nas unidades do Instituto de Informação e Comunicação em Saúde (ICICT) e da Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP), com a temática de mudanças climáticas e saúde, sendo a formação de recursos humanos um outro ponto de destaque.

Referências

Alves, N. O., Loureiro, A. L., Santos, F. D., Nascimento, K. H., Dallacort, R., Vasconcellos, P. C., . . . Batistuzzo de Medeiros, S. R. (2011). Genotoxicity and composition of particulate matter from biomass burning in the easter Brazilian Amazon region. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74, pp. 1427-1433.

Alves, N., Hacon, S., Galvão, M. F., Peixotoc, M., Artaxo, P., Vasconcellos, P., & Medeiros, S. R. (2014). Genetic damage of organic matter in the Brazilian Amazon: A comparative study between intense and moderate biomass burning. *Environmental Research*, 011, p. 1.

Andrade Filho, V. S., Artaxo, P., Carmo, C. N., & Cirino, G. (2013). Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças. *Revista de Saúde Pública*, 47, pp. 239-247.

Andrade, V. S., Artaxo, P., Hacon, S. S., & Carmo, C. N. (2012). Influência do material particulado (pm2.5) de queimadas e variáveis meteorológicas na morbidade respiratória de crianças em Manaus, AM. *Revista GeoNorte*, 1, pp. 744-758.

Barcellos, C., & Lowe, R. (2013). Expansion of dengue transmission area in Brazil: The role of climate and cities. *Tropical Medicine & International Health*, 19(3).

Barcellos, C., Monteiro, A. M., Corvalan, C., Gurgel, H. C., Carvalho, M. S., Artaxo, P., . . . Ragoni, V. (2009). Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 18, pp. 285-304.

Barcellos, C., Xavier, D. R., & Bacuri, R. (2015). Mudanças climáticas, regime de águas e saúde em Manaus. Em C. M. Freitas, & L. L. Giatti (Orgs.), *Sustentabilidade, ambiente e saúde na cidade de Manaus* (Vol. 8, p. 83). InterfacEHS (Ed. português).

Barros, M.M.A.; Gonçalves, K. S; HACON, S. S.. Reinternações hospitalares por doenças respiratórias em menores de 12 anos e as queimadas em porto velho-ro, Amazônia ocidental. *InterfacEHS* (Ed. português), v. 8, p. 83, 2013.

Basagaña, X., Sartini, C., Barrera-Gómez, J., Dadvand, P., Cunillera, J., & Ostro, B. e. (2011). Heat waves and cause-specific mortality at all ages. *Epidemiology*, 22, pp. 765-772.

Doherty, R. M., Heal, M. R., Wilkinson, P., Pattenden, S., Vieno, M., Armstrong, B. et al. (2009). Current and future climate and air pollution-mentioned impacts on human health. *Environmental Health*, 8 (Suppl I)(S8).

Freitas, C. M., Sobral, A., Pedroso, M. M., Barcellos, C., & Gurgel, H. C. (2011). Indicadores de saúde ambiental. Em C. M. Freitas (Org.), *Saúde ambiental: guia básico para a construção de indicadores* (pp. 73-86). Brasília: Ministério da Saúde.

Freitas, C. M., Xavier Silva, D. R., Sena, A. M., Silva, E. L., Sales, L. B., Carvalho, M. L., . . . Corvalán, C. (2014). Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. *Ciência e Saúde Coletiva*, 19, pp. 3645-3656.

Gasparri, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J. et al. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet*, 6736(14), pp. 62114-0.

Gouveia, N., Freitas, C. U., Martins, L. C., & Marcilo, I. O. (2006). Respiratory and cardiovascular hospitalizations associated with air pollution in city of São Paulo, Brazil. *Cad Saúde Pública*, 22(12), pp. 2667-77.

Guo, Y., Gasparrini, A., Armstrong, B., Li, S., Tawatsupa, B., Tobias, A., Lavigne, E., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Leone, M., Pan, X., Tong, S., Tian, J., Kim, H., Hashizume, M., Honda, Y., Guo, Y.L., Wu, C.F., Punnasiri, K., Yi, S.M., Michelozzi, P., Saldiva, P.H., Williams, G. (2014). Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation. *Epidemiology*. Nov; 25(6):781-9. doi: 10.1097/EDE.000000000000165.

Epidemiology. 2014 Nov;25(6):781-9. doi: 10.1097/EDE.000000000000165.

Hacon, S. et al. (2016). Vulnerabilidade, riscos e impactos das mudanças climáticas sobre a saúde do Brasil. Em *Terceira Comunicação Nacional sobre Mudanças Climáticas à UNFCCC*. TCN-UNFCCC.

Hahn, M. B., Gangnon, R. E., Barcellos, C., Asner, G. P., & Patz, J. A. (2014). Influence of Deforestation, Logging, and Fire on Malaria in the Brazilian Amazon. *Plos One*, 9, p. e85725.

Hahn, M., Olson, S., Vittor, A., Barcellos, C., Patz, J., & Pan, W. (2013). Conservation Efforts and Malaria in the Brazilian Amazon. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 1, p. 1.

Horta, M. A., Fonseca, P. A., Costa, D., Barcellos, C., & Hacon, S. (2014). Temporal Relationship between Climatic Factors and the Occurrence of Dengue Fever in an Amazonian Urban Center, Brazil. *International Journal of Epidemiology & Infection*, 2, p. 80.

Huynen, M., & Martens, P. C. (2015). Climate Change Effects on Heat and Cold-Related Mortality in the Netherlands: A Scenario-Based Integrated Environmental Health Impact Assessment. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12(10), pp. 13295-13320.

Ignotti, E., Hacon, S., Junger, W.L., Mourão, D., Longo, K., Freitas, S. et al. (abr de 2010). Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in the subequatorial Amazon: a time series approach. *Cad Saúde Pública*, 26(4), pp. 747-61.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis: Summary for Policymakers. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. Geneva: IPCC.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. New York: Cambridge University Press.

Jacob, D. J., & Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*, 43(1), pp. 51-63.

- Jacobson, L. S., Hacon, S. S., Castro, H. A., Ignotti, E., Artaxo, P., Saldiva, P. H., & De Leon, A. C. (2014). Acute Effects of Particulate Matter and Black Carbon from Seasonal Fires on Peak Expiratory Flow of Schoolchildren in the Brazilian Amazon. *Plos One*, 9, p. e104177.
- Jancloues, M., Thomson, M., Máñez, C. M., Hewitt, C., Corvalan, C., Dinku, T., . . . Hayden, M. (2014). Climate Services to Improve Public Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(5), pp. 4555-4559.
- Kingsley, S. L., Eliot, M. N., Gold, J., Vanderslice, R. R., & Wellenius, G. A. (2015). Current and Projected heat-related morbidity and mortality in Rhode Island. *Env Health Persp*.
- Lowe, R., Barcellos, C., Coelho, C. A., Bailey, T., Coelho, G. E., Graham, R., . . . Rodó, X. (2014). Dengue outlook for the World Cup in Brazil: an early warning model framework driven by real-time seasonal climate forecasts. *Lancet. Infectious Diseases*, 1, pp. 1-1.
- Lowe, R., Coelho, C. A., Barcellos, C., Carvalho, M. S., Catão, R. D., Coelho, G. E. et al. (2016). Evaluating probabilistic dengue risk forecasts from a prototype early warning system for Brazil. *eLife*, 5, p. e11285.
- Matsueda, M. (2011). Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010. *Geophys Res Lett*, 38(6).
- Nunes, K. V., Ignotti, E., & Hacon, S. S. (2013). Circulatory disease mortality rates in the elderly and exposure to PM_{2.5} generated by biomass burning in the Brazilian Amazon in 2005. *Cadernos de Saúde Pública*, 29, pp. 589-598.
- Oliveira, B. F., Ignotti, E., Artaxo, P., Saldiva, P. H., Junger, W. L., & Hacon, S. (2012). Risk assessment of PM (2.5) to child residents in Brazilian Amazon region with biofuel production. *Environ Health*, 11(64).
- Oliveira, B. F., Silveira, I., Horta, M. A., Jungler, W. L., & Hacon, S. S. (2016, no prelo). Potenciais impactos do aumento da temperatura na mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares no Brasil. *Revista de Saúde Pública*.
- Pereira, V. S., Rosa, A. M., Hacon, S. S., Castro, H., & Ignotti, E. (2011). Análise dos atendimentos ambulatoriais por doenças respiratórias no Município de Alta Floresta, Mato Grosso, Amazônia brasileira. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 20, pp. 393-400.
- Robine, J. M., Cheung, S. L., Leroy, S. et al. (2008). Death toll exceeded 70000 in Europe during the summer of 2003. *C R Biol.*, 331(2), pp. 171-178.
- Rodrigues, P. C., Ignotti, E., & Hacon, S. S. (2013). Distribuição espaço-temporal das queimadas e internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos de idade em Rondônia, 2001 a 2010. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 22, pp. 455-464.

- Roux, E., Barcellos, C., Gurgel, H. C., Durieux, L., Laques, A. E., & Dessay, N. (2014). Un site sentinelle à la frontière francobrasilienne pour comprendre et suivre les relations entre climat et santé. Em *Envibras2014* (Ed.), *Environnement et géomatique: approches comparées France-Brésil. Actes du colloque* (Vol. 1, pp. 356-363). Rennes: Université de Rennes II.
- Rufino, R., Gracie, R., Sena, A., Freitas, C., & Barcellos, C. (2016). Surtos de diarreia na região Nordeste do Brasil em 2013, segundo a mídia e sistemas de informação de saúde. Vigilância de situações climáticas de risco e emergências em saúde. *Ciência & Saúde Coletiva (Online)*, 21, pp. 777-788.
- Sena, A., Freitas, C., Barcellos, C., Ramalho, W. M., & Corvalan, C. (2016). Medindo o invisível: análise dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável em populações expostas à seca. *Ciência & Saúde Coletiva (Online)*, 21, pp. 671-684.
- Silva, A. M., Moi, G. P., Mattos, I. E., & Hacon, S. (2014). Low birth weight at term and the presence of fine particulate matter and carbon monoxide in the Brazilian Amazon: a population-based retrospective cohort study. *BMC Pregnancy and Childbirth (Online)*, 14, p. 309.
- Smith, L. T., Aragão, L. E., Sabel, C. E., & Nakaya, T. (2014). Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. *Sci Rep.*, 16(4), p. 3726.
- Stefani, A., Dusfour, I., Corrêa, A. P., Cruz, M. C., Dessay, N., Galardo, A. K., . . . Roux, E. (2013). Land cover, land use and malaria in the Amazon: a systematic literature review of studies using remotely sensed data. *Malaria Journal*, 8(12), p. 192.
- World Bank. (2012). *4C: Turn Down the Heat. A Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics*. Washington DC.
- Wu, J., Zhou, Y., Gao, Y., Fu, J. S., Johnson, B. A., Huang, C. et al. (2015). Estimation and Uncertainty Analysis of Impacts of future Heat Waves on Mortality in the Eastern United States. *Environ Health Perspect.*, 122(1), pp. 10-16.
- Xavier, D. R., Barcellos, C., & Freitas, C. M. (2014). Eventos climáticos extremos e consequências sobre a saúde: o desastre de 2008 em Santa Catarina segundo diferentes fontes de informação. *Ambiente e Sociedade (Online)*, 17, pp. 273-294.
- Xavier, D. R., Barcellos, C., Barros, H., Magalhães, M. A., Matos, V. P., & Pedroso, M. M. (2014). Organização, disponibilização e possibilidades de análise de dados sobre desastres de origem climática e seus impactos sobre a saúde no Brasil. *ciência e Saúde Coletiva (Impresso)*, 19, pp. 3657-3668.
- Xavier, D. R., Ignotti, E., Hacon, S., & Santos, R. S. (2010). Hanseníase, indicadores sociais e desmatamento na Amazônia brasileira. *Revista Panamericana de Salud Pública (Impresa) / Pan American Journal of Public Health*, 27, pp. 268-275.

Biodiversidade e Ciclos Biogeoquímicos

Mercedes Bustamante¹

Jean Ometto²

Luiz Antonio Martinelli³

Resumo

A mudança climática induzida pelo homem pode resultar em alterações na distribuição de espécies, bem como em extinções locais, principalmente em ecossistemas vulneráveis e fragmentados. Temperatura e precipitação desempenham papéis majoritários e determinam onde espécies de plantas e animais podem viver, crescer e se reproduzir. As mudanças climáticas, ao alterarem a distribuição e o funcionamento de ecossistemas, consequentemente afetam os ciclos biogeoquímicos. Essas mudanças podem ser de magnitude tal que afetem a capacidade dos ecossistemas em prestar serviços ecossistêmicos fundamentais ao bem-estar humano. O Brasil, como um país megadiverso, enfrenta o desafio científico e de gestão de projetar como as mudanças climáticas afetam e afetarão nossos principais biomas. O Tema Integrador Biodiversidade e Ciclos Biogeoquímicos no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas avaliou a ciclagem biogeoquímica em diversos sistemas, terrestres e aquáticos, dos biomas brasileiros, em face das mudanças climáticas projetadas. Adicionalmente, para os biomas Cerrado e Mata Atlântica, avaliou-se a distribuição dos grupos funcionais

1 Universidade de Brasília

2 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

3 Universidade de São Paulo

de plantas e o funcionamento fenológico como potenciais indicadores de respostas desses biomas às alterações ambientais. Os resultados obtidos permitiram gerar uma síntese sobre o funcionamento biogeoquímico dos biomas brasileiros e bases de dados de atributos funcionais e de imagens e informações secundárias, a princípio para os biomas Cerrado e Mata Atlântica, que foram posteriormente expandidas para todo o Brasil.

Introdução

As mudanças climáticas induzidas pelo homem podem resultar em alterações na distribuição e extinção de espécies, principalmente em ecossistemas vulneráveis e fragmentados. Um estudo global sugeriu que entre 15 e 37% das espécies podem estar propensas à extinção em 2050 (Thomas et al., 2004). Temperatura e precipitação desempenham papéis majoritários e determinam onde espécies de plantas e animais podem viver, crescer e se reproduzir. Além das mudanças climáticas propriamente ditas, o aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera poderá levar a alterações no crescimento vegetal, composição de espécies, interações animal-plantas e ciclagem de nutrientes. Por outro lado, tais fatores também irão resultar em variações na temperatura e precipitação. Espera-se também que mudanças climáticas exerçam um efeito indireto, ao influenciarem a intensidade e magnitude de estressores já existentes (tais como espécies invasoras e regime de fogo) sobre a biodiversidade, estrutura, funções e processos dos ecossistemas.

Em adição às mudanças climáticas, alterações de ambientes com alta diversidade biológica em ecossistemas manejados com um número reduzido de espécies por ação humana também afetam funções ecológicas e serviços ecossistêmicos associados. Reduções na biodiversidade podem alterar tanto a magnitude quanto a estabilidade dos processos naturais nos ecossistemas. Essas alterações afetam diretamente a produtividade das plantas, fertilidade do solo, qualidade da água, química atmosférica, entre outros condicionantes ambientais.

O Brasil, como um país megadiverso, enfrenta o desafio científico e de gestão de projetar como as mudanças climáticas afetam e afetarão nossos principais biomas. Para tanto, como elemento balizador inicial, há a necessidade premente de delinear como os ecossistemas operam os ciclos do carbono e nitrogênio, permitindo-nos prever eventuais mudanças e, eventualmente, ações mitigadoras e de adaptação.

Segundo Nobre et al. (2016), uma elevação igual ou superior a 4°C na temperatura média pode levar, no Brasil, a um aumento de 15,7% no risco extinção de espécies, que na América do Sul já é o mais alto do mundo. “Entre as vítimas estariam espécies de grande importância socioeconômica, como as abelhas da Mata Atlântica, as plantas comestíveis do cerrado e espécies do litoral. A produtividade agrícola poderá ter queda significativa, com prejuízos econômicos e sociais” (Nobre et al., 2016).

A combinação da crescente perda de habitats e mudança climática é particularmente preocupante. Myers et al. (2000) definiram *hotspots* de biodiversidade como ecossistemas com altos níveis de endemismo e que vivenciam acelerada e intensa perda de habitats. Tais áreas seriam consideradas prioritárias para conservação. No Brasil, foram enquadrados nessa categoria o Cerrado (savanas do Brasil Central) e a Mata Atlântica.

Os ciclos biogeoquímicos interligam a atmosfera à biota, aos solos, às águas subterrâneas e superficiais e, finalmente, aos oceanos. De uma maneira simplificada, carbono é transferido da atmosfera para o sistema terrestre através da fotossíntese, retornando através do processo de respiração. Por outro lado, nitrogênio é transferido da atmosfera para o sistema terrestre predominantemente através da fixação biológica de nitrogênio e retorna à atmosfera através dos processos de volatilização e desnitrificação.

Todas as fases desses dois ciclos – carbono e nitrogênio – são intermediadas por reações biológicas realizadas por plantas, animais e microrganismos, que por sua vez são dependentes da temperatura e da disponibilidade de água do ambiente em que vivem. As mudanças climáticas, ao alterarem os padrões de temperatura e a distribuição temporal e espacial de chuva no planeta, modificam a distribuição e o funcionamento de ecossistemas e, conseqüentemente, os ciclos biogeoquímicos. Essas mudanças podem ser de magnitude tal que afetem a capacidade dos ecossistemas em prestar serviços ecossistêmicos fundamentais ao bem-estar humano.

As perguntas científicas centrais que nortearam o desenvolvimento das análises do Tema Integrador Biodiversidade e Ciclos Biogeoquímicos no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas foram: 1. Quais são os principais componentes da ciclagem biogeoquímica em diversos sistemas, terrestres e aquáticos, dos biomas brasileiros? 2. Como cenários de mudanças climáticas afetariam a dinâmica ecossistêmica e ciclagem de nutrientes nesses ambientes?

Em particular quanto aos biomas Cerrado e Mata Atlântica, a principal motivação foi avaliar os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre a distribuição dos grupos funcionais de plantas e sobre o funcionamento fenológico desses biomas.

Uma revisão de literatura apresentada por IPCC (2013) e Nobre et al. (2015) sugere estes impactos das mudanças climáticas na biodiversidade com ênfase no Brasil:

- Para o cenário de emissões mais altas, há risco de savanização e empobrecimento de florestas nas décadas finais do século.
- Aumento no percentual de risco de extinção de espécies de até 15,7%, sendo a América do Sul o continente mais suscetível à extinção.
- Extinção e mudanças no padrão de distribuição de espécies nativas de valor comestível e cultural no Cerrado causariam problemas socioeconômicos em 2080.
- Impactos socioeconômicos também ocorreriam, por exemplo: a redução nas populações de espécie de abelhas nativas da Mata Atlântica, essenciais à polinização, tanto de espécies agrícolas como de espécies nativas. Esse impacto já se verificaria em 2030 e se agravaria até à extinção, em 2050-2080.
- Em 2100, o Brasil perderia 200 dias por ano para o crescimento de plantas, causando impactos de grande magnitude tanto para a biodiversidade como para a produtividade de ecossistemas e a economia.
- Em 2100, a perda de biodiversidade nas costas tropicais, inclusive brasileira, será significativa, gerando impactos sobre a alimentação e a economia.

Diversidade funcional em ecossistemas no Cerrado e Mata Atlântica

A quantificação das mudanças de vegetação, em face das modificações no clima em escala global, tem sido abordada com o uso de modelos globais de dinâmica da vegetação. No entanto, tais modelos enfrentam o desafio de incorporar elementos relacionados à fisiologia das espécies vegetais (Rezende et al., 2015). A incorporação de características funcionais e síndromes que são, em geral, simples o suficiente para serem avaliadas nas escalas regional e global e informativas o suficiente para relacionar com a

dinâmica biogeoquímica, representa uma contribuição significativa para a melhoria de tais modelos. Atributos funcionais de plantas são definidos como qualquer característica morfológica, fisiológica ou fenológica, mensurável para plantas individuais, de nível celular em nível de organismo, e que potencialmente afeta seu *fitness*.

A quantificação de como as características funcionais se relacionam com gradientes ambientais fornece indicações sobre os mecanismos que regem a distribuição das espécies a partir da definição de tipos funcionais de plantas. Assim, a documentação das relações entre as características funcionais e fatores ambientais permite a identificação de vários eixos da variação das interações entre vegetação e ambiente. Um dos mais importantes está relacionado à estratégia de utilização de recursos e tempo de vida das folhas. Respostas fenológicas têm sido cada vez mais relevantes para estudos ambientais. Em particular, no caso de associação com gatilhos climáticos e mudanças de uso da terra, variáveis fenológicas permitem conciliar escalas de observação, integrar observações através de taxa e modelar sequências fenológicas que permitam previsões sobre o funcionamento de ecossistemas.

Como consequência do aumento de interesse teórico e prático, tem havido uma rápida expansão de grandes bases de dados de atributos funcionais da vegetação em escalas regionais e global. Em particular, para os trópicos, os modelos globais de vegetação dinâmica têm representação deficiente da diversidade de tipos funcionais. Dessa forma, o INCT para Mudanças Climáticas contribuiu com a compilação e organização de dados de 1. Atributos funcionais de plantas e distribuição de grupos funcionais e 2. Séries temporais e respostas fenológicas (regionalizadas através de imagens orbitais).

A base de dados de imagens e informações secundárias, em princípio para os biomas Cerrado e Mata Atlântica, foi expandida para todo o Brasil. A base de imagens está disponível, através das plataformas de pesquisa LAPIG Maps e LAPIG Database, desenvolvidas com o apoio do INCT para Mudanças Climáticas (www.lapig.iesa.ufg.br).

Organizou-se séries temporais (a partir de 2000) para todo o Brasil, com informações de temperatura, precipitação, evapotranspiração, água equivalente em sub/superfície, índice de vegetação, produtividade primária líquida e área queimada. Tais dados permitem identificar paisagens funcionais e caracterizar domínios climáticos e vulnerabilidades (naturais e antrópicas).

Compilou-se dados da literatura obtendo cerca de 228 mil células de dados de atributos de relevância funcional da vegetação e características

dos ambientes de ocorrência, como os estoques e fluxos de N, P e C e históricos de uso do solo. A Figura 1 apresenta a variação na abundância isotópica em espécies vegetais em vegetação nativa com e sem perturbação antrópica. O valor isotópico indica dinâmicas distintas na ciclagem do nitrogênio nesses sistemas, seja esta relativa à maior abundância do nutriente (como na Amazônia), ou na ciclagem mais fechada em sistemas alterados (painel inferior da Figura 1).

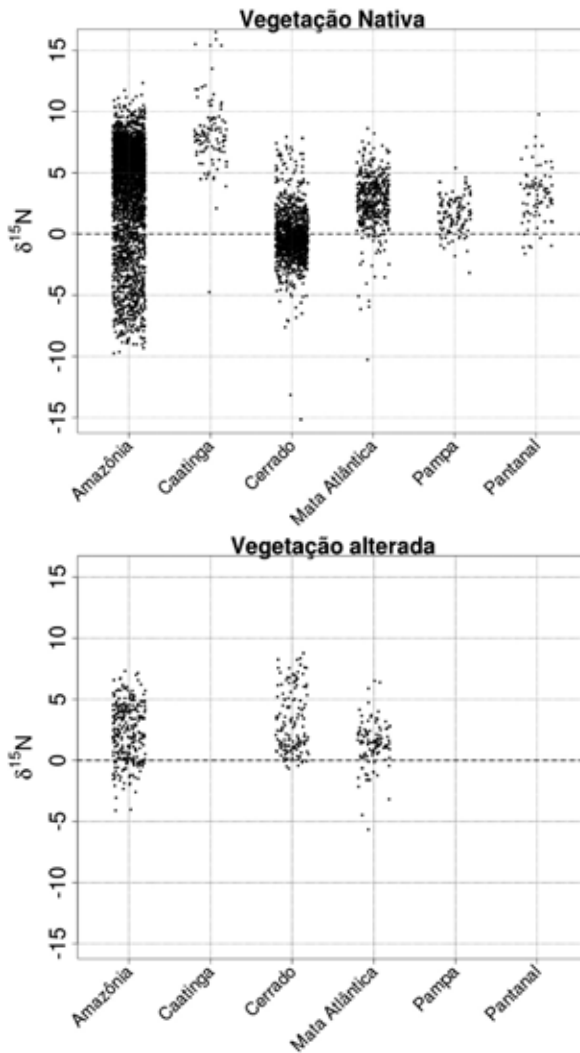


Figura 1 – Variação do $\delta^{15}\text{N}$ em folhas de espécies dos diferentes biomas brasileiros em áreas preservadas e alteradas (Bustamante et al. Dados não publicados).

Funcionamento biogeoquímico dos biomas brasileiros e mudanças climáticas

Os processos de transformação na cobertura do solo têm escala temporal bastante distinta, mas elementos de motivação, em alguns aspectos, semelhantes. O início de transformação e redução da cobertura florestal no bioma Mata Atlântica remonta ao século XVI, com a exploração do pau-brasil (*Caesalpinia echinata*) e da expansão da agricultura de monocultura e voltada, em parte, à exportação. Esta última pode ser considerada um paralelo equivalente quando se analisa a transição no Cerrado brasileiro, muito mais recente, entretanto. Na Amazônia, em processo mais recente de ocupação, a expansão agrícola tem importância pontual e sub-regional. Outros elementos como exploração madeireira, especulação imobiliária ou a expansão da pecuária, têm importância regionalmente amplificada. Nas etapas seguintes da ocupação a agricultura de larga escala, com produção de *commodities* (como soja e milho), ganha espaço em regiões como o Mato Grosso, Rondônia e Pará. A monocultura agrícola, seja na produção de grãos, fibras, açúcares ou proteína (representada majoritariamente por carne bovina), pressiona a vegetação nativa com efeitos diretos sobre a biodiversidade. Tais efeitos podem estar associados à perda de espécies, isolamento de áreas (dificultando o fluxo gênico entre populações de determinadas espécies) e mudanças nas interações de competição provocadas por espécies que se beneficiam da homogeneidade da paisagem e do controle seletivo de espécies específicas, consideradas danosas à produção agrícola.

Alterações nos ciclos biogeoquímicos podem também ser observadas em áreas convertidas para agricultura e pecuária induzidas, entre outros fatores, pelo aporte de fertilizantes minerais (por exemplo, fósforo e cálcio) e pela implantação de leguminosas altamente eficientes na fixação biológica de nitrogênio. Os efeitos na dinâmica do funcionamento de ecossistemas naturais podem estar relacionados à fertilização por elementos aplicados na agricultura que atingem os sistemas naturais por transporte pela atmosfera (deposição seca ou úmida) ou pelas queimadas em pastos. O aporte de nutrientes pode provocar distúrbios de processos naturais, como mudanças nas condições de competição entre espécies.

Outro aspecto importante que afeta os processos naturais de ciclagem de elementos, assim como a biodiversidade, é a alteração nos padrões climáticos, com a ocorrência de secas extremas e prolongadas, ou variação

na frequência e intensidade da precipitação, na mudança das temperaturas máxima e mínima, entre outras. Dessa forma, as avaliações dos impactos potenciais das mudanças climáticas sobre a distribuição dos grupos funcionais e sobre o funcionamento destes ecossistemas naturais são importantes não só ao planejamento de uso e proteção dos recursos naturais, como com relação à produção potencial de alimentos e os riscos climáticos associados. Variações na intensidade e frequência da precipitação, e o aumento da temperatura do ar, afetam diretamente a dinâmica ecológica dos biomas, assim como no fluxo de matéria e energia nos diversos ecossistemas (naturais ou antrópicos, como por exemplo na agricultura) (Figura 2).

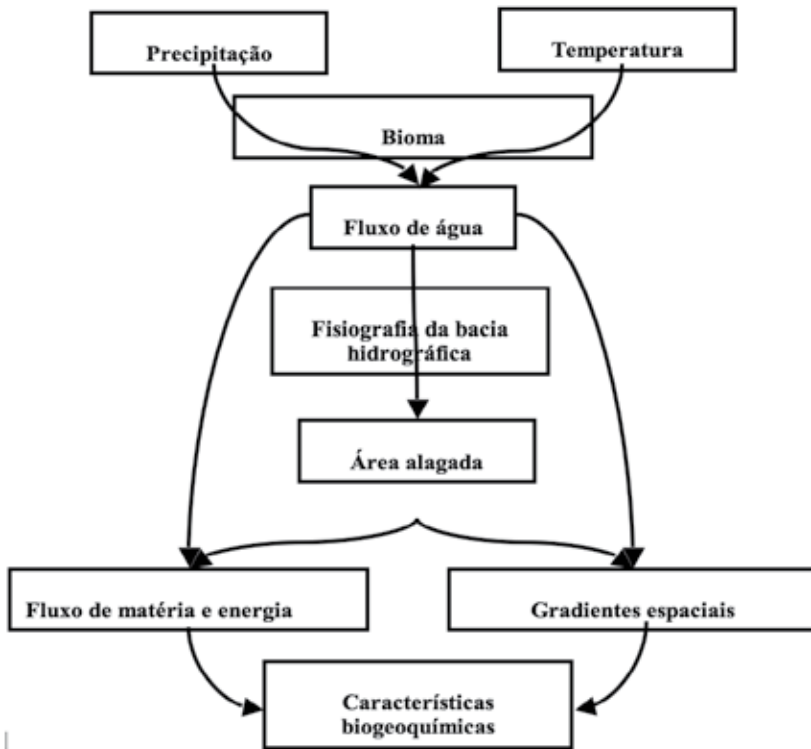


Figura 2 – Modelo conceitual sobre os impactos de mudanças na temperatura e precipitação no funcionamento biogeoquímico dos biomas brasileiros (Roland et al. 2012, Braz. J. Biol., 2012, vol. 72, nº 3 (suppl.), p. 709-722).

As alterações nos ambientes terrestres e aquáticos nos biomas brasileiros e seus impactos nos sistemas biológicos e de ciclagem de nutrientes

foram sintetizados e relatados em número especial do *Brazilian Journal of Biology* (BJB-SI), contendo dez artigos com revisão por pares. Tal compilação originou-se de uma atividade financiada no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas (Workshop: “Brazilian Biomes and Climate Change: an Ecosystem Ecology Approach”). O evento reuniu cerca de 40 especialistas em biogeoquímica e processos associados, de 13 universidades e cinco institutos de pesquisa, distribuídos pelo Brasil, representando os biomas brasileiros e importantes configurações da paisagem, como grandes bacias hidrográficas, regiões costeiras, ambientes aquáticos e terrestres. As análises elaboradas por esse grupo de pesquisadores e autores associados na produção dos artigos científicos apontam para o estado da arte de diversos processos biogeoquímicos nesses ambientes, apresentando estoques e fluxos de nutrientes (por exemplo, carbono, nitrogênio, fósforo) e avaliando os efeitos de mudanças climáticas (especialmente temperatura do ar e precipitação) no funcionamento de ambientes naturais e antropizados (por exemplo, áreas agrícolas).

Uma das observações transversais aos artigos refere-se à limitada quantidade de dados com ampla distribuição espacial e temporal. Séries de dados são relativamente comuns, mas não largamente distribuídas pelo país, quando se buscam informações relacionadas à qualidade de água, em especial em corpos d’água utilizados para consumo humano. Nesse universo de dados, informações sobre nutrientes podem ser encontradas, em especial quando se refere a compostos poluentes (como amônio, nitrato, sulfatos, entre outros).

Outra observação transversal é a interferência de sistemas de barramento (para propósitos de produção de energia elétrica, irrigação, ou múltiplos usos) no transporte de nutrientes e materiais em suspensão dos ambientes terrestres à estuários no país. O rio São Francisco é um exemplo importante desse processo, com a redução do aporte de nutrientes ao oceano pelos barramentos ao longo de sua bacia.

No Brasil, as atividades humanas são importantes vetores na alteração da dinâmica natural dos sistemas aquáticos que recortam o território. Essas alterações ocorrem nos processos de ciclagem biogeoquímica e, especialmente, em biodiversidade – estando esses sistemas entre os mais impactados por alteração física do meio, introdução de espécies exóticas, pela fragmentação da paisagem ou aporte de compostos poluentes (esgoto sem tratamento, rejeitos industriais, escoamento de chuva da malha viária etc.). Outro elemento

importante, indicado pelos trabalhos, refere-se à variação da hidrografia dos rios, em função da dimensão das bacias, mas, particularmente em resposta ao regime climático da região Nordeste e da região Sudeste/Sul do país (Figura 3). Roland et al. (2012) ressaltam que a alteração da saúde dos ecossistemas aquáticos por processos como os listados acima está em curso e pode se agravar ainda mais diante de alterações climáticas globais.



Figura 3 – Respostas de ambientes aquáticos da Caatinga a alterações climáticas projetadas para a região. (Figura adaptada a partir de dados de Roland et al., BJB, 2012).

As contribuições ao BJB-SI avaliam alterações potenciais por mudanças climáticas em ambientes terrestres, tendo os biomas brasileiros como corte analítico. Para a região amazônica, apresenta-se um balanço regional de nitrogênio reativo, observando as alterações provocadas pela expansão de áreas agrícolas, em especial aquelas associadas à produção de soja (leguminosa com associação de bactérias fixadoras de nitrogênio). Ressalta-se nesse trabalho o intenso processo de urbanização que vem ocorrendo na região, aumentando a demanda por alimentos e demanda energética, e também pressionando os sistemas de tratamento de esgoto doméstico, com aumento do lançamento de efluentes *in natura* nos corpos d'água da região.

Para a Mata Atlântica, o BJB-SI traz informações sobre variações em estoques e fluxos de carbono e nitrogênio. Indicam, por exemplo, que o

aumento da temperatura do ar pode levar esse bioma, hoje absorvedor líquido de carbono, a tornar-se fonte desse elemento para a atmosfera – afetando também a ciclagem de nitrogênio no sistema, que por sua vez retroalimenta a ciclagem de carbono. Com relação ao bioma Caatinga, os autores apresentam estoques de diversos nutrientes (C, N, P) em solo e vegetação, presentes em cerca de 50% da área do bioma, considerados preservados, apesar de cobertos por vegetação secundária. A dinâmica social de ocupação da região semiárida brasileira remonta às Capitânicas Hereditárias (sistema de administração territorial criado, em 1534, pelo rei de Portugal, D. João III), com implantação de lavoura de cana-de-açúcar e subsequente expansão da pecuária bovina na região. Dessa forma, considera-se que a vegetação presente na região é, essencialmente, originária de recrescimento da vegetação original retirada ao longo da ocupação da região. Como recomendação ao manejo da produção de alimentos e a conservação ambiental, indica-se a maior utilização de culturas perenes, mais resilientes e menos vulneráveis a condições climáticas futuras de menos chuva e mais calor.

A revisão de literatura do bioma Cerrado considerou a variação na ciclagem biogeoquímica diante de cenários de mudanças climáticas na região. A variação espacial e de abundância de espécies vegetais está relacionada à conformação climática, criando um mosaico riquíssimo de espécies no desenho espacial do bioma. A ciclagem de nutrientes é considerada conservadora, ou seja, há reduzidas perdas para a atmosfera por lixiviação ou por via gasosa para a atmosfera são características na região. De mesma especificidade, a distribuição da biomassa vegetal diferencia-se de outros biomas, tendo a biomassa radicular como relevante componente desta distribuição. Outro elemento importante são os compartimentos como a serapilheira e a biomassa microbiana (solo e vegetação). Esses compartimentos contribuem à ciclagem conservadora de nutrientes no Cerrado.

Nas Caatinga, Cerrado e Amazônia, o fogo é importante para a ciclagem de nutrientes e biodiversidade. A antropização deste processo, via aumento na ocorrência de queimadas, pode agir como um agente de ruptura da dinâmica dos ecossistemas, sendo deletério à composição de espécies e estoques de carbono e nitrogênio. Cabe lembrar que os processos de mudança de uso e cobertura do solo em diversas regiões no Brasil são determinantes na avaliação dos impactos antrópicos nos sistemas naturais, e que as mudanças climáticas atuam de forma distribuída, em um período de tempo mais longo.

Como consideração final, ressalta-se a necessidade de aumentar as bases de informações no Brasil sobre ciclagem biogeoquímica, como a criação de uma rede de estimativa de fluxos de gases do efeito estufa, deposição atmosférica de nutrientes e monitoramento de fluxos de nutrientes em sistemas aquáticos. Bases de dados com representação temporal e espacial consistente são críticas para validação de modelos, construções de cenários e proposição de políticas públicas para garantir a produção de alimentos, a integridade e saúde ambiental e o provimento de serviços ecossistêmicos frente às mudanças climáticas projetadas.

Contribuições para políticas públicas

Os diversos trabalhos e publicações no âmbito Tema Integrador Biodiversidade e Ciclos Biogeoquímicos do INCT para Mudanças Climáticas estão indicados nos relatórios disponibilizados pelo projeto (<http://inct.ccst.inpe.br/>).

A síntese elaborada Tema Integrador foi a base do capítulo Ciclos Biogeoquímicos e Mudanças Climáticas do 1º Relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Esse documento apresenta de forma abrangente os principais aspectos relacionados aos impactos, mitigação e adaptação às mudanças climáticas no contexto brasileiro.

O INCT para Mudanças Climáticas contribuiu ainda com as discussões sobre o Código Florestal (avaliando aspectos relacionados à saúde dos ecossistemas e ciclagem de nutrientes e água), assim como vem participando das discussões relacionadas à produção de biocombustíveis no país, emissões de gases de efeito estufa pela alteração no uso e cobertura do solo, e a partir de reservatórios de hidrelétricas.

Outra importante contribuição do INCT para Mudanças Climáticas às políticas públicas no setor de biodiversidade e ciclagem de nutrientes está relacionada à quantificação e qualificação da vegetação, com medidas de biomassa e carbono usadas no Terceiro Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa. O documento gerou a Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (<http://sirene.mcti.gov.br>) e pauta diversas ações do país com relação às mudanças climáticas.

Referências

- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (V. R. Barros, C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, . . . L. L. White, Eds.) Cambridge: Cambridge University Press.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, pp. 853-858.
- Nobre, C. A., Marengo, J. A., Soares, W. R., Assad, E. D., Schaeffer, R., Scarano, F. R., & Hacon, S. S. (2015). *Riscos de Mudanças Climáticas no Brasil e Limites à Adaptação*. Brasília, DF: Embaixada do Reino Unido no Brasil.
- Rezende, L. F. C. ; Arenque, B. C. ; Aidar, S. T. ; Moura, M. S. B. ; Von Randow, C. ; Tourigny, E. ; Menezes, R. S. C. ; Ometto, J. P. H. B. . Evolution and challenges of dynamic global vegetation models for some aspects of plant physiology and elevated atmospheric CO₂. *International Journal of Biometeorology (Print)*, v. 59, p. 1-11, 2015.
- Roland, F. et al. (2012). Climate change in Brazil: perspective on the biogeochemistry of inland waters. *Braz. J. Biol.*, 72(3 (suppl.)), pp. 709-722.
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., . . . Williams, S. E. (8 de jan de 2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), pp. 145-148.

Desastres Naturais

Regina C. S. Alvalá¹

Alisson Barbieri²

Resumo

Na última década, o Brasil foi afetado por desastres naturais de grande porte, alguns deles considerados como “eventos do século”. Em razão do quadro recente de fragilidade das cidades brasileiras frente aos eventos extremos de natureza hidrometeorológica e climática, tornou-se premente a necessidade de desenvolvimento e aplicação do conhecimento voltado ao monitoramento e previsão de risco de ocorrência de desastres de origem hidrometeorológica e climática. Considerando que os fenômenos climáticos extremos deflagradores de desastres naturais já estão se tornando mais frequentes e intensos e que essa tendência se acentuará com as projetadas mudanças climáticas, propôs-se o desenvolvimento de um sistema semiautomático de previsões e informações hidrometeorológicas, climáticas e ambientais, em apoio ao processo de tomada de decisões para o gerenciamento de desastres naturais. O sistema, de concepção interdisciplinar, deveria permitir que tomadores de decisão avaliassem o impacto dos desastres sobre os sistemas sociais, econômicos e ambientais para subsidiar ações preventivas antecipadas. Em razão da sua relevância, ampliou-se a abordagem para o desenvolvimento, testes e implementação de um sistema de previsão de ocorrência de desastres naturais em áreas suscetíveis

1 Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

2 Universidade Federal de Minas Gerais

do país, inclusive considerando observações das variáveis deflagradoras, visando subsidiar a formulação de estratégias de prevenção e mitigação dos efeitos dos desastres naturais e a proposição de ações em todos os níveis de governo. Reduzir os riscos dos desastres naturais do presente deve ser visto como efetiva política para adaptação aos riscos futuros que as mudanças climáticas acentuarão. Portanto, para a diminuição dos riscos, esforços devem ser envidados para reduzir (i) as vulnerabilidades, através do desenvolvimento, inclusão social e educação; (ii) os impactos de secas severas sobre a segurança hídrica, alimentar, energética; (iii) a exposição, através da melhor governança da ocupação territorial.

Introdução

Estudos relacionados às mudanças climáticas antropogênicas apresentados no primeiro relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 1990) já evidenciavam a possível interferência das mudanças climáticas na frequência e severidade dos eventos climáticos extremos. Esses eventos são os principais “gatilhos” para a ocorrência de desastres naturais de origem hidrometeorológica e climática, tais como inundações, enxurradas, deslizamentos de terra, destruição por vendavais, colapsos de safras e de sistemas de abastecimento de água por secas, entre outros. Mais tarde, no Quarto e Quinto Relatórios de Avaliação (AR4 e AR5, respectivamente) publicados pelo IPCC (2007, 2013, 2014), foram apresentadas evidências de alterações na frequência e magnitude de eventos extremos, a partir de dados observacionais, ressaltando-se que as comunidades mais vulneráveis podem ser especialmente afetadas, em particular aquelas que se concentram em áreas de alto risco. Essas têm capacidade de adaptação mais limitada e são mais dependentes dos recursos sensíveis ao clima, como a oferta local de água e alimentos. Nos locais em que os eventos climáticos extremos se tornarem mais intensos e/ou mais frequentes, os custos econômicos e sociais desses eventos aumentarão e, conseqüentemente, esses aumentos serão substanciais naquelas áreas mais diretamente afetadas.

Segundo relatório da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2015), no período de 1970 a 2012 foram registrados 8.835 desastres naturais, que causaram cerca de 1,94 milhão de mortes e danos econômicos de US\$ 2,3 trilhões globalmente. Somente em 2011, segundo a Organização das Nações Unidas - Estratégia Internacional para Redução de Desastres

(ISDR, 2012), os desastres ocorridos naquele ano em todo o planeta culminaram em recorde de perdas financeiras de aproximadamente US\$ 366 bilhões e estimativa de 201 milhões de pessoas afetadas em decorrência de 302 desastres registrados. Desse total de afetados, calcula-se que 106 milhões são vítimas de deslizamentos de terra e enchentes/enxurradas, 63 milhões, de secas, e 34 milhões, de tempestades. Estima-se que o número de vítimas fatais foi de aproximadamente 30 mil pessoas. Em relatório mais recente das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (CRED – UNISDR, 2015) sobre os custos humanos dos desastres associados com o clima, nos últimos 21 anos (1995-2015) a grande maioria (90%) deles foi causada por inundações, tempestades, ondas de calor e outros eventos relacionados. No total, 6.457 desastres foram registrados em todo o mundo pela Base Internacional de Dados de Desastres (Emergency Events Database - EM-DAT), base esta mantida pelo Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres, na Escola de Saúde Pública da Universidade Católica de Louvain, em Bruxelas, Bélgica, e que inclui mais de 18.000 grandes desastres ocorridos em todo o mundo desde 1900. No período de 21 anos acima destacado, desastres relacionados ao clima vitimaram 606 mil vidas, uma média de cerca de 30 mil por ano, além de 4,1 bilhões de pessoas feridas, desabrigadas ou que necessitaram de ajuda emergencial. Somente as inundações responderam por 47% de todos os desastres relacionados nesse período (1995-2015), afetando 2,3 bilhões de pessoas, a maioria delas (95%) vivendo na Ásia. Ainda segundo a CRED-UNISDR (2015), China e Índia são os países mais afetados por desastres relacionados com o clima, contabilizando-se mais de 3 bilhões de pessoas afetadas no período, o que correspondeu a 75% da população global de 4,1 bilhões de pessoas afetadas de 1995 a 2015. O Brasil é o único país da Américas incluso na lista dos dez países mais afetados.

No Brasil, considerando que os fenômenos climáticos extremos deflagradores de desastres naturais já estão se tornando mais frequentes e intensos e que essa tendência se acentuará com as projetadas mudanças climáticas, propôs-se, no escopo do INCT para Mudanças Climáticas desenvolver, implementar, testar e validar duas aplicações de um sistema semiautomático de previsões e informações hidrometeorológicas, climáticas e ambientais, em apoio ao processo de tomada de decisões para o gerenciamento de desastres naturais provocados por condições hidrometeorológicas e climáticas extremas. O sistema, de concepção interdisciplinar, deveria permitir

que tomadores de decisão avaliassem o impacto dos desastres sobre os sistemas sociais, econômicos e ambientais para subsidiar ações preventivas antecipadas. Diante da importância do tema, o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) criou, em julho de 2011, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, com o objetivo de desenvolver, testar e implementar um sistema de previsão de ocorrência de desastres naturais em áreas suscetíveis de todo o Brasil, ampliando, assim, o escopo do inicialmente previsto no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas.

Desastres Naturais no Brasil

Segundo o Relatório Especial sobre Gerenciamento de Riscos de Eventos Extremos e Desastres para Promover Adaptação às Mudanças Climáticas - SREX (IPCC, 2012), mesmo sem levar em conta as mudanças climáticas, o risco de desastres continuará a aumentar em muitos países, entre eles o Brasil, uma vez que mais pessoas e ativos vulneráveis estarão expostos a extremos climáticos, por exemplo, nas periferias das grandes cidades. Com base em dados a partir de 1950, há evidências que sugerem que as mudanças climáticas já mudaram a magnitude e a frequência de alguns eventos extremos de condições meteorológicas e climáticas em algumas regiões, embora seja ainda muito difícil atribuir eventos individuais às mudanças climáticas. No futuro, possíveis extremos climáticos mais frequentes e/ou intensos, acompanhados de altos níveis de vulnerabilidade combinados com exposição às condições meteorológicas e aos extremos climáticos mais graves, podem fazer com que alguns lugares no Brasil se tornem cada vez mais difíceis para se viver e trabalhar. O SREX sugere adaptação aos extremos climáticos de hoje como estratégia de adaptação às mudanças climáticas.

Tem-se observado, no Brasil, o crescimento de ocorrências de desastres naturais, seja em virtude da intensificação de eventos geodinâmicos, hidrometeorológicos e climáticos em algumas regiões do país, seja devido ao aumento da exposição ao risco pela ocupação de áreas suscetíveis a desastres naturais. Os principais desastres naturais registrados são decorrentes de inundações, enxurradas, alagamentos, deslizamentos, estiagens, secas, incêndios florestais, mortes por descargas elétricas e destruição por vendavais. Entre 2007 e 2011, o número de registros de desastres naturais

no Brasil foi significativo, com alguns deles considerados como eventos do século, sendo que houve uma recorrência anual de eventos catastróficos nunca antes registrada no país. Em 2007, aproximadamente 2,7 milhões de pessoas foram afetadas por desastres naturais. Em 2008, a região do Vale do Itajaí em Santa Catarina sofreu imensas perdas econômicas e sociais causadas por chuvas intensas, inundações e deslizamentos em encostas generalizadas, que culminaram em 135 mortes, milhares de desabrigados e desalojados em 60 municípios (Tominaga et al., 2009) e custo total estimado de mais de R\$ 5 bilhões (Banco Mundial, 2012a). No final de 2009 e início de 2010, chuvas fortes causaram destruição e 53 mortes em Angra dos Reis e na Ilha Grande, com prejuízos de mais de R\$ 440 milhões (<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2011/01/tragedia-em-angra-dos-reis-no-rj-completa-um-ano-neste-sabado.html>). Ainda em 2010, eventos climáticos severos causaram enchentes e inundações violentas nos estados de Pernambuco, Alagoas e Rio de Janeiro, com centenas de vítimas fatais. No total, cerca de 12 milhões de pessoas foram afetadas nesse ano, sendo 6 milhões somente na cidade do Rio de Janeiro. Em janeiro de 2011, ocorreu o pior desastre natural registrado no Brasil, na região serrana do Rio de Janeiro, com o registro de mais de 900 mortes, 300 pessoas desaparecidas e dezenas de milhares de desalojados e desabrigados, além de severas perdas econômicas, estimadas em R\$ 4,8 bilhões (Banco Mundial, 2012b), destruição de moradias e infraestrutura, em decorrência de enxurradas e deslizamentos generalizados.

Em razão do quadro recente de fragilidade das cidades brasileiras frente aos eventos extremos de natureza hidrometeorológica e climática, tornou-se ainda mais premente a necessidade de desenvolvimento e aplicação do conhecimento voltado ao monitoramento e previsão de risco de ocorrência de desastres originados por eventos geodinâmicos, hidrológicos e climáticos extremos. Isso precisa ser realizado em conjunto com os trabalhos de mapeamento de áreas de riscos e caracterização de cenários potenciais de desastres, a fim de prever e prevenir os seus impactos.

Considerando que as evidências apontam que muitos sistemas físicos, biológicos e sociais estão sendo afetados pelas mudanças climáticas, tornou-se premente elaborar planos de adaptação às mudanças climáticas. Com esse escopo, foi lançado em 2016, pelo governo federal, o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), que contempla um conjunto de ações estruturantes para a agenda nacional de adaptação, além

de diretrizes e recomendações em 11 temas, estes identificados como vulneráveis às mudanças climáticas, incluindo-se, entre eles, a gestão de risco aos desastres naturais, frente às mudanças climáticas.

A Declaração de Hyogo e o Marco pós-2015 para Redução de Desastres Naturais

Considerando que o aquecimento global inevitavelmente agrava hoje e agravará ainda mais no futuro a vulnerabilidade das populações à intensificação dos desastres naturais, a Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres (ISDR) recomendou fortemente que medidas deveriam ser guiadas para “ações e estratégias comuns”, que envolvem “políticas públicas, ações legislativas e educacionais, bem como a criação de sistemas de alerta precoce” (ISDR, 2007; Nações Unidas, 2006). A ISDR recomendou ainda que, a fim de reduzir o impacto das alterações climáticas, os países adotassem a Declaração de Hyogo, de 2005 (ISDR, 2005), e uma série de medidas para diminuir os riscos naturais. Considerando que o Protocolo de Kyoto se limita à redução da emissão de gases de efeito estufa, a Declaração de Hyogo foi concebida como um meio de adaptação às alterações climáticas e à supressão do seu efeito devastador em um período de dez anos (2005-2015). A Declaração de Hyogo destacou que, dada a maior frequência de eventos extremos suscetíveis de serem desencadeados pelo aquecimento global, a população deveria aumentar a sua capacidade de adaptação a essas mudanças. Além disso, os esforços deveriam priorizar investimentos em alertas precoces de clima e tempo, em especial de eventos extremos, inclusive aqueles associados a inundações, permitindo uma melhor preparação e redução da vulnerabilidade socioeconômica. Ressalta-se que a primeira reunião da Conferência Mundial sobre Redução de Riscos de Desastres foi realizada em Yokohama, em 1994, quando foi emitida a “Estratégia e Plano de Ação de Yokohama para um Mundo mais Seguro”. Na segunda conferência, realizada em Kobe, Prefeitura de Hyogo, em 2005, adotou-se o “Plano de Ação de Hyogo 2005-2015”.

Na III Conferência Mundial das Nações Unidas sobre Redução de Riscos, realizada em Sendai, Japão, em março de 2015, adotou-se a Declaração de Sendai e o Marco para a Redução de Riscos de Desastres 2015-2030. Na Conferência, ressaltou-se que se espera, com a adoção do novo marco, que mortes, destruição e prejuízos causados por desastres

naturais possam ser reduzidos significativamente até 2030, bem como se reafirmou a necessidade de antecipar, planejar e reduzir riscos, a fim de proteger pessoas, comunidades e países de forma mais efetiva, e a necessidade urgente de construir maior resiliência. Na referida Conferência, foram estipuladas “sete metas globais”, a serem alcançadas nos próximos 15 anos, que visam principalmente reduzir o número de vítimas e perdas econômicas. Os objetivos principais são reduzir o prejuízo nas infraestruturas, aumentar o número de países com estratégias focadas em atenuar os efeitos desses fenômenos e melhorar a ajuda econômica para os países em desenvolvimento, o que demandará forte comprometimento, envolvimento político e foco em quatro prioridades, quais sejam: (i) entender os riscos de desastres; (ii) fortalecer o gerenciamento dos riscos; (iii) investir na redução dos riscos e na resiliência; e (iv) reforçar a prevenção de desastres e dar respostas efetivas.

O texto assinado após a Conferência faz uma chamada a aumentar substancialmente o número de países que contem com estratégias específicas de redução de risco de desastres e sistemas de alarme antecipado frente a eles.

Abrangência Territorial e Tipologias de Desastres no Brasil

No Brasil, a maior parte dos desastres naturais está associada à falta ou excesso de água. Nesse contexto, em função de suas condições geoambientais e socioculturais, os principais perigos naturais recorrentes estão associados a fenômenos extremos de origem hidrometeorológica e climática, conforme se observa na Figura 1, gerada com base nos dados do EM-DAT (2009). Aproximadamente 68% dos desastres naturais no Brasil estão associados a excessos de água (inundação/escorregamentos de terra), e 8,4% correspondem às secas e estiagens. Entre 1999 e 2008 ocorreram, no Brasil, pelo menos 49 grandes episódios de secas, inundações, deslizamentos de terra, totalizando 5,2 milhões de pessoas atingidas, 1.168 óbitos e um prejuízo econômico de US\$ 3,5 bilhões (EM-DAT, 2009).

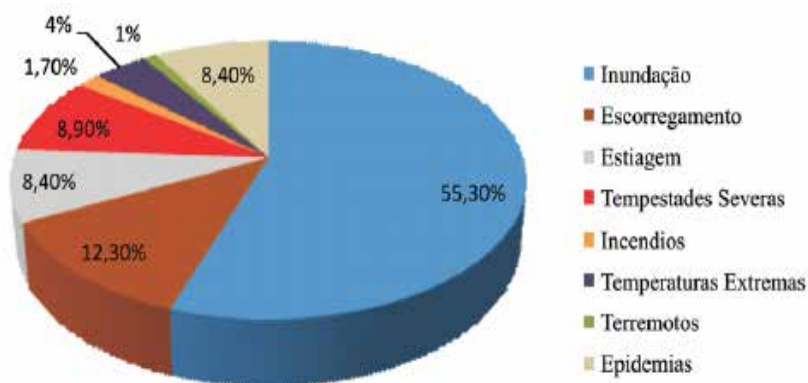


Figura 1 – Distribuição (%) dos tipos de desastres naturais no Brasil, observados entre 1999-2008. (EM-DAT, 2009).

Entre os elementos mais comuns deflagradores de desastres naturais no Brasil têm-se as chuvas intensas e prolongadas, tempestades, vendavais, granizo, secas, temperaturas e umidades do ar extremas e ressacas. Os tipos de desastres naturais que atingem o Brasil são deslizamentos em encostas, inundações, enxurradas, alagamentos, colapso de safras de subsistência, incêndios de vegetação, erosão costeira, episódios agudos de poluição de água e ar, colapsos de abastecimento de água e epidemias.

Bases de dados históricos sobre desastres naturais em todo o Brasil não remontam a muitas décadas. Assim, informações nacionais integradas só foram mais recentemente disponibilizadas, por meio do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED-UFSC, 2012; 2013), elaborado em 2012 e atualizado em 2013, como resultado do acordo de cooperação entre o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED) da Universidade Federal de Santa Catarina e a Secretaria Nacional de Defesa Civil. A primeira versão do Atlas (CEPED-UFSC, 2012) apresenta resultados de estudos que tiveram por objetivo compilar e disponibilizar informações sobre os registros de desastres ocorridos em todo o território nacional num período de 20 anos (1991-2010), enquanto a versão atualizada incluiu informações referentes aos anos de 2011 e 2012, e contempla novas metodologias com a finalidade de melhor caracterizar cenários (CEPED-UFSC, 2013).

O estudo da CEPED-UFSC (2013) apresenta a evolução dos registros de desastres naturais no Brasil no período de 1991-2012, apontando um número significativo de desastres nas duas décadas avaliadas (Figura 2).

De um total de 38.996 registros, 8.515 (22%) ocorreram na década de 1990; 21.741 (56%) ocorreram na década de 2000; e apenas nos anos de 2010, 2011 e 2012 esse número foi igual a 8.740 (22%).

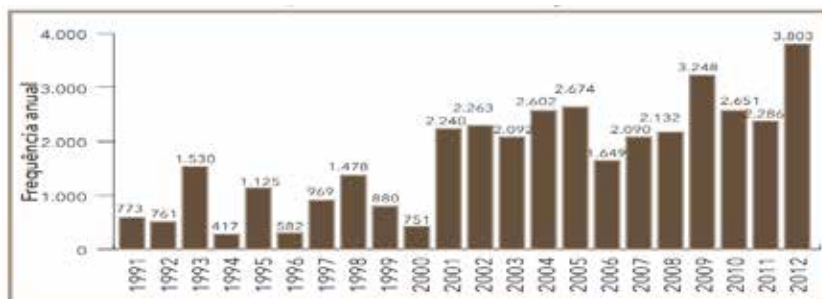


Figura 2 – Evolução histórica do número total anual desastres registrados no Brasil (Brasil, 2013; CEPED-UFSC, 2013).

Conforme ressaltado no Atlas Nacional de Desastres Naturais do Brasil e na versão atualizada (CEPED-UFSC, 2012, 2013), a região Nordeste é mais afetada por secas e estiagens, enquanto as regiões Sudeste e Sul são mais sensíveis a deslizamentos de terra e enchentes (Figuras 3 e 4, respectivamente), sendo estas regiões as que concentram a maior densidade populacional no Brasil. Por outro lado, todas as regiões do Brasil podem ser impactadas por todos os tipos de desastres naturais.

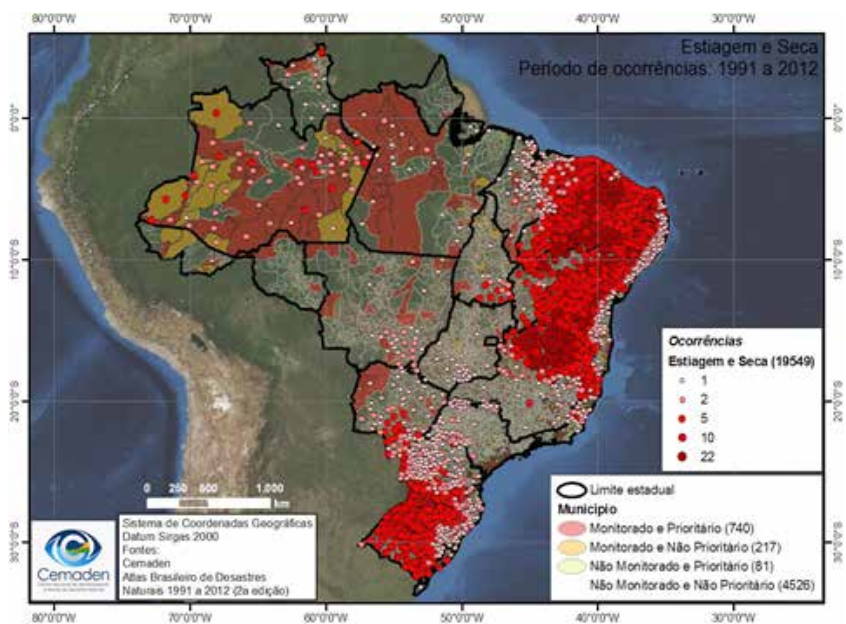


Figura 3 – Ocorrências de estiagem e secas no território brasileiro, no período de 1991-2012 (Dados do CEPED-UFSC, 2013).

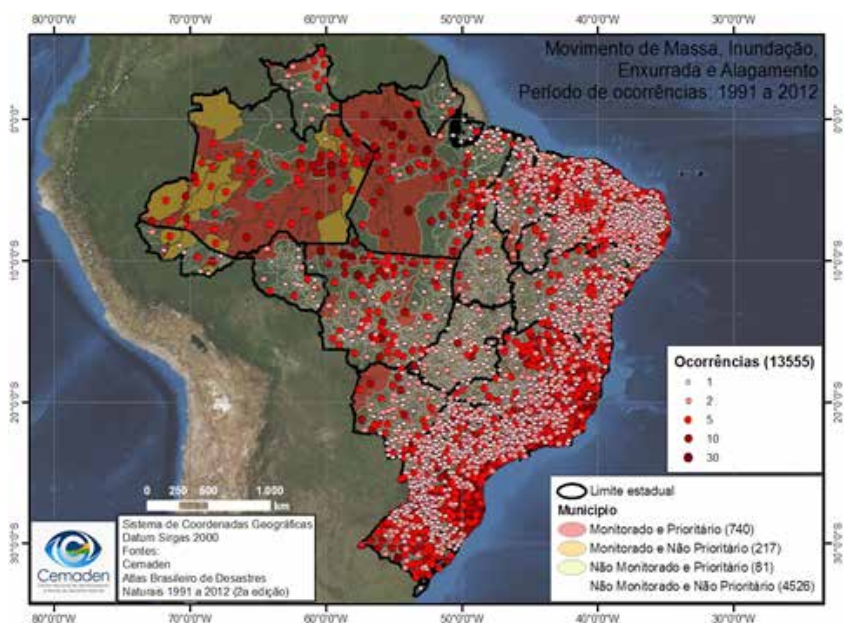


Figura 4 – Ocorrências de movimentos de massa, alagamentos, enxurradas e inundações no território brasileiro, no período de 1991-2012 (Dados do CEPED-UFSC, 2013).

Nível Atual de Desenvolvimento/Consolidação dos Sistemas de Alertas Precoces no Brasil

Os desastres naturais ocorrem em regiões nas quais as populações estão mais expostas e vulneráveis aos eventos climáticos e hidrometeorológicos extremos deflagradores. Entretanto, outros fatores como urbanização, planejamento urbano, mudanças nos usos da terra e gerenciamento dos recursos naturais (por exemplo, água), determinam o impacto do desastre em termos de perdas de vidas e prejuízos econômicos. *Pobreza, má administração, investimentos precários em prevenção de desastres, entre outros fatores subjacentes de risco, deixam as populações mais vulneráveis.*

A partir dos desastres ocorridos na segunda metade da última década, e notadamente após o desastre natural ocorrido na região serrana do Rio de Janeiro em Janeiro de 2011³, tornou-se indispensável dispor de um sistema de alerta que reunisse competências científicas e tecnológicas de várias áreas do conhecimento, principalmente de meteorologia, hidrologia, geologia e desastres naturais. Embora o Brasil contasse com certa competência técnica para monitorar e prever fenômenos de natureza meteorológica, hidrológica, agrônômica, e geológica de forma disciplinar, nenhum órgão da esfera federal monitorava esses processos de maneira integrada e interdisciplinar até então. Logo, na ausência de um sistema de alerta e na incapacidade resultante para prevenir e mitigar os danos, as ações governamentais limitavam-se a atenuar as consequências dos desastres naturais.

Portanto, em 2011, buscou-se a conformação de um programa multissetorial visando tratar gestão de riscos de desastres naturais de forma integrada e com a abordagem necessária, enfocando a prevenção. Logo, no âmbito da elaboração do Plano Plurianual (PPA) para o quadriênio 2012-2015 e, mais tarde, aperfeiçoado pelo Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres, construíram-se os eixos que focam a atuação governamental na prevenção: mapeamento das áreas de risco, estruturação de sistema de monitoramento e alerta, obras estruturantes e, em médio prazo, o fortalecimento dos órgãos de Defesa Civil e apoio ao melhor planejamento urbano com vistas a evitar a ocupação de áreas de risco. Nesse

3 Este desastre natural, considerado o maior em termos de fatalidades da história do país, catalisou uma importante mudança de percepção e de políticas públicas: de ações de salvamento, recuperação e reconstrução *pós-desastre*, para políticas e ações de prevenção *pré-desastre*.

contexto, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN foi criado com a missão fundamental de monitorar e emitir alertas da provável ocorrência de desastres associados aos fenômenos naturais para os órgãos de Defesa Civil. Para tanto, utiliza tecnologias modernas de monitoramento ambiental de condições precursoras de desastres, aliadas a previsões numéricas hidrometeorológicas, hidrológicas e geodinâmicas, resultando em previsões de risco de desastres naturais propriamente ditos.

Ressalta-se que um sistema de alerta precoce deve prover as bases técnicas e científicas necessárias para a formulação de estratégias de redução de desastres e de ações em todos os níveis de governo e nas organizações sociais, bem como ser fonte de informação da sociedade. Deve também permitir a integração e assimilação de dados espaciais e temporais, sejam de caráter biogeofísico, sejam de caráter socioeconômico, nas mais variadas escalas temporais e espaciais. Logo, um sistema de monitoramento e alertas de desastres naturais deve abranger o monitoramento contínuo de condições hidrometeorológicas e climáticas adversas capazes de deflagrar processos que produzam risco iminente de ocorrência de desastres naturais. Somado a isso, deve realizar o monitoramento de mudanças dos usos da terra e de áreas de risco, emitindo alertas de risco de deflagração de processos geodinâmicos de escorregamentos e hidrológicos associados a enchentes, inundações, enxurradas, conseqüente previsão de seus impactos, além de monitorar e prever os impactos de secas severas.

A estruturação do sistema de monitoramento e alertas, a partir da criação do CEMADEN, o estabelecimento do fluxo básico de informações entre os órgãos federais atuantes na gestão de riscos e resposta a desastres, incluindo a transmissão das informações mapeadas, integração da comunicação e de processos de trabalho com o Centro Nacional de Gerenciamento de Risco e Desastres (CENAD), além das diversas parcerias com várias instituições em todo país, contribuíram para a significativa diminuição do número de mortes decorrentes de desastres naturais no Brasil (Figura 5), em especial os associados a deslizamentos de terra, inundações e enxurradas, o que caracteriza evidência indireta da política preventiva adotada pelo país.



Figura 5 – Número total de óbitos relacionados a enxurradas, inundações e movimentos de Massa no Brasil, a partir do ano de 2008. Os dados do ano de 2017 são relativos a eventos registrados no período de 01/01/2017 a 31/03/2017. (Dados do CENAD/MI).

Considerando que a qualidade dos alertas de desastres naturais depende diretamente da capacidade de observação de seus deflagradores, fez-se necessário implementar moderna rede de observação ambiental, incluindo radares meteorológicos, pluviômetros automáticos, rede de medidas de nível de rios de resposta rápida, rede de medidas geotécnicas e redes automáticas de pluviometria e água no solo e outros equipamentos para monitoramento em alta resolução temporal e espacial, rede esta ilustrada na Figura 6.

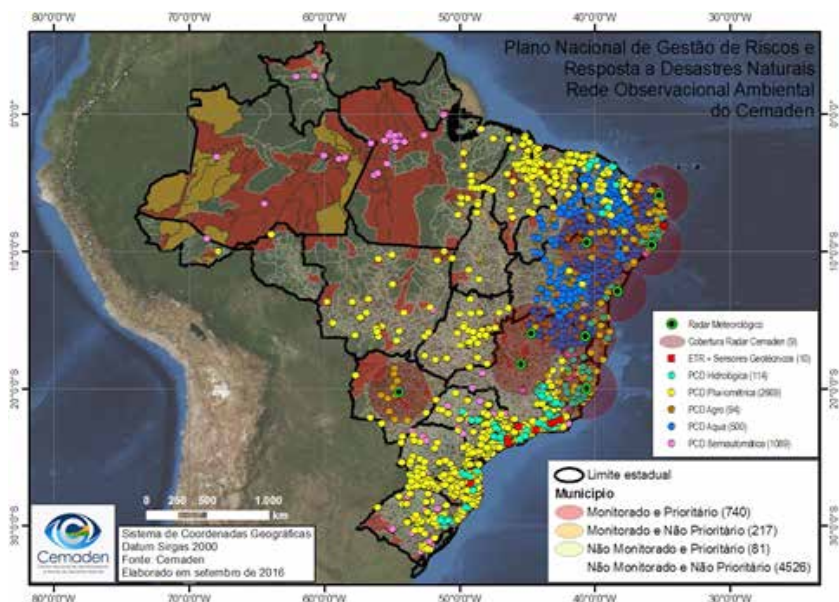


Figura 6 – Distribuição espacial dos diferentes equipamentos da rede de monitoramento ambiental do CEMADEN/MCTIC.

Em complemento, esforços estão sendo dispendidos para o desenvolvimento de modelos numéricos para previsão de chuvas em curtíssimo prazo, a partir de dados de radares meteorológicos. Nesse contexto, o CEMADEN utiliza informações dos radares meteorológicos para o monitoramento das condições pluviométricas dentro da área de cobertura de cada um deles, ou seja, quantifica a chuva que caiu sobre a superfície e efetua os cálculos que subsidiam a avaliação do risco de ocorrência de desastres naturais. O monitoramento permite também realizar a previsão de curtíssimo prazo da chuva que irá ocorrer nas próximas horas e que poderá deflagrar desastres nas diversas áreas monitoradas com esses equipamentos. Dessa forma, os dados dos radares meteorológicos da rede observacional do Centro são relevantes para o monitoramento das chuvas ocorrendo em tempo real e para o prognóstico para as próximas horas, dados esses relevantes para a emissão de um alerta de risco de ocorrência de desastre natural. A Figura 7 ilustra um exemplo do ciclo de monitoramento adotado nas rotinas operacionais do CEMADEN, que contemplam informações das chuvas registradas por pluviômetro automático e por radar (a cada 10 minutos), bem como a previsão de chuvas para as próximas duas horas, isto é, as curvas verde e preta mostram a quantificação de horas passadas avaliadas pelo radar meteorológico e pluviômetros do CEMADEN, respectivamente, enquanto a curva vermelha mostra como será a chuva das próximas horas.

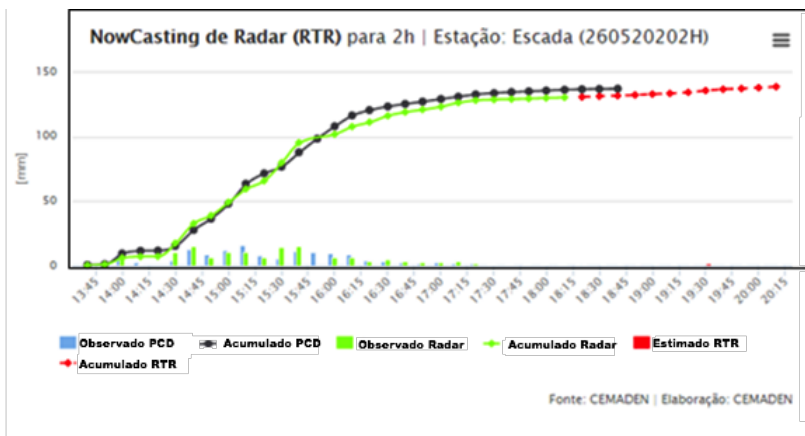


Figura 7 – Ciclo de monitoramento da chuva usado para subsidiar a emissão de alertas de risco de ocorrência de desastres naturais. Embora a figura tenha sido captada de uma tela em que a legenda mostra intervalos a cada 15 minutos, os dados são observados/registados a cada 10 minutos).

No contexto da modelagem hidrológica, o CEMADEN vem desenvolvendo esforços para melhorar os critérios para a emissão de alertas (Horita et al., 2016) e a capacidade preditiva, considerando que a redução de riscos de desastres associados a extremos hidrológicos depende do conhecimento da ameaça, da exposição e da vulnerabilidade da população. Especificamente para a previsão e projeção hidrológica em bacias com riscos de escassez hídrica, a partir de 2014 o CEMADEN, em razão da severa crise hídrica que afetou a região Sudeste do Brasil (Marengo et al., 2015, Nobre et al., 2016), passou a monitorar as bacias afluentes aos reservatórios do Sistema Cantareira e a bacia do rio São Francisco, a montante do reservatório de Três Marias. Além do monitoramento, o CEMADEN implementou o modelo hidrológico PDM (Probability-Distributed Model), um modelo concentrado chuva-vazão amplamente utilizado para a previsão de vazão a partir da chuva e da evaporação potencial (Moore & Bell, 2002; Moore, 2007). O modelo hidrológico, calibrado e validado com dados da Agência Nacional de Águas (ANA - hidroweb.ana.gov.br), da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio da ferramenta SINDA (Sistema Integrado de Dados Ambientais) e do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), é usado para a previsão e projeção de vazões afluentes aos reservatórios. As previsões hidrológicas são realizadas usando as previsões de chuva do modelo Eta/CPTEC/INPE, e as projeções de vazões são obtidas a partir de cinco cenários de precipitação: precipitações 50% e 25% abaixo da média climatológica, na média e 25% e 50% acima da média (Figura 8). Para o Sistema Cantareira, além da previsão e projeção de vazões, também são realizadas projeções da evolução do volume armazenado no sistema. As previsões e projeções hidrometeorológicas para o Sistema Cantareira são publicadas em boletins semanais desde 22 de janeiro de 2015 (Situação Atual e Previsão Hidrológica para o Sistema Cantareira - www.cemaden.gov.br), e atualmente com frequência quinzenal. Para o reservatório de Três Marias, as previsões e projeções de vazão afluente (Figura 9) são apresentadas em reuniões quinzenais com a Agência Nacional de Águas, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e instituições dos estados do Nordeste. Os cenários, como mecanismos de alerta antecipado de riscos de escassez hídrica, subsidiam o planejamento e a gestão dos recursos hídricos.

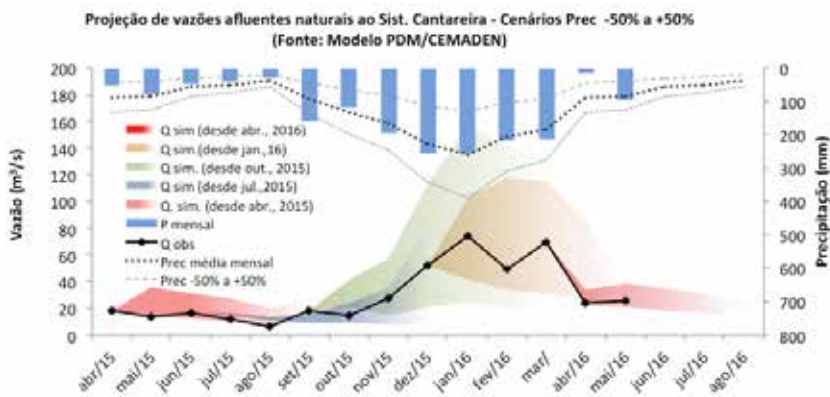


Figura 8 – Projeções de vazões afluentes ao Sistema Cantareira e as chuvas e vazões observadas (Relatório da Situação Atual e Previsão Hidrológica para o Sistema Cantareira, www.cemaden.gov.br).

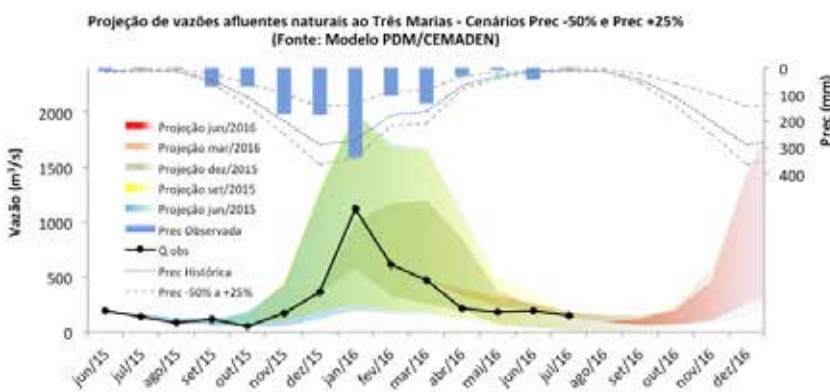


Figura 9 – Projeções de vazões afluentes ao Reservatório Três Marias e as chuvas e vazões observadas (Cedida por Adriana Cuartas, CEMADEN).

No que tange ao monitoramento e previsão dos impactos de secas severas para municípios do semiárido do Nordeste brasileiro, desenvolveu-se metodologia que contempla diferentes informações e dados coletados *in situ*, derivados de satélites e previsões climáticas sazonais em diversas escalas espaciais e temporais (Cunha et al., 2016). Especificamente, para a avaliação diagnóstica das condições atuais, utiliza-se a técnica dos percentis aplicados aos dados de chuva provenientes da integração de bancos de dados observacionais oriundos de diversas fontes (CEMADEN, INPE, INMET, Centros Estaduais de Meteorologia), estes interpolados em grade

regular de 5 km de resolução espacial considerando-se a técnica de *kriging* (Matheron, 1969). Para a avaliação do risco agroclimático, considera-se o número de dias com déficit hídrico nos municípios (NDDH), calculado a partir do modelo de balanço hídrico (Souza et al., 2001; Rossato et al., 2005). Dados de NDVI e de temperatura do dossel, derivados de sensores a bordo de satélites, são utilizados para avaliação do suprimento de água para a vegetação (Cunha et al., 2015). Para a avaliação prognóstica, o monitoramento adota avaliações climáticas oriundas de diversos centros meteorológicos que, combinados, subsidiam a elaboração dos boletins mensais disponibilizados pelo CEMADEN (<http://www.cemaden.gov.br/situacao-atual-da-seca-no-semiarido-e-impactos->). Está em andamento o desenvolvimento do sistema de previsão de colapso de safras da agricultura familiar na região semiárida do Nordeste, o qual contempla o uso de modelos agrometeorológicos integrados à rede de monitoramento de dados (dados meteorológicos, fenológicos, práticas de manejo e informações do solo), contribuindo para a geração de indicadores para o monitoramento da seca agrícola, previsão e manejo dos riscos de colapso de safras e aprimoramento dos sistemas de alerta. Os sistemas de alerta auxiliarão o planejamento e tomada de decisão no que se refere às atividades agrícolas, minimizando os impactos das quebras de safras e os prejuízos sociais que elas acarretam.

Prioridades e Desafios para a Gestão de Riscos de Desastres

A CRED-UNIDSR (2015) destaca o que precisa ser reforçado para criar sociedades resilientes aos desastres: (i) a necessidade de dados mais detalhados com vistas a contabilizar o custo humano completo dos desastres associados ao clima; (ii) a melhor gestão, mitigação e implantação de alertas precoces que podem salvar mais vidas no futuro; (iii) controlar áreas inundáveis habitadas por comunidades mais pobres, considerando soluções eficazes de baixo custo, incluindo arborização, reflorestamento, zoneamento das planícies de inundação, taludes, melhores advertências e recuperação de zonas úmidas; (iv) reduzir o tamanho das populações vulneráveis às secas como uma prioridade global, dada a eficácia dos alertas precoces e o fato de que um bilhão de pessoas foram afetadas nos últimos 20 anos; (v) necessidade de reforçar a governança para a gestão do risco de desastres com visão clara, competência, planos, diretrizes e coordenação entre setores associados; (vi) investimentos públicos e privados na

prevenção e redução do risco de desastres, através de medidas estruturais e não-estruturais.

Os alertas precoces de desastres naturais elaborados em nível nacional no Brasil baseiam-se principalmente em informações meteorológicas, hidrológicas, e geológicas, assim como em parâmetros geográficos de todos os municípios brasileiros, especialmente aqueles considerados prioritários para monitoramento (Figura 10). Esses municípios foram definidos a partir de registros de desastres com consequentes registros de mortes ocorridas no período de 1991-2012. Informações são disponibilizadas em tempo real para a Operação no CEMADEN e utilizadas como base para o monitoramento das condições geo-hidro-meteorológicas. Caso algum indicador observado ou previsto ultrapasse (ou corra risco de ultrapassar) limiares críticos pré-definidos em algum município, são enviados alertas de desastres naturais. Para a análise dos danos humanos são utilizados fundamentalmente os dados da setorização das áreas de risco, elaborados pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM/Ministério de Minas e Energia que, além do mapeamento das áreas de riscos de inundações e escorregamentos de terra, incluem a quantidade de moradias e pessoas em risco. Posteriormente, o CEMADEN elabora cartogramas que são incorporados na plataforma “Sistema Automático de Visualização de Riscos” (SALVAR), desenvolvida no Centro com ferramentas de software livre, que permite cruzar informações de diversas fontes e natureza. Os cartogramas também incluem fotografias das áreas de risco e contribuem para a melhor compreensão dos cenários de risco. Outros dados e informações relevantes sobre suscetibilidade, vulnerabilidade e riscos, elaborados por diferentes instituições do país, alguns dos quais periodicamente atualizados, são relevantes para subsidiar a gestão de riscos de desastres. Entre eles, citam-se os apresentados na Tabela 1.

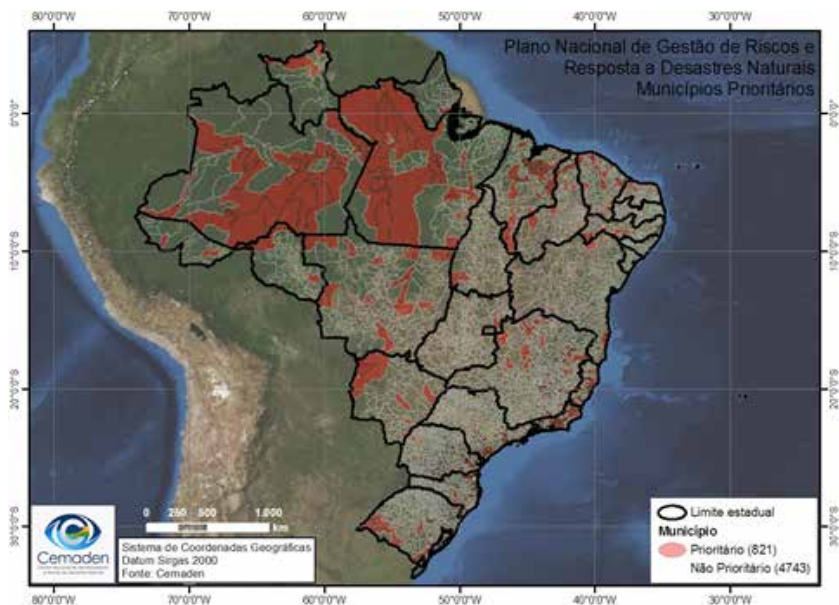


Figura 10 – Municípios considerados prioritários para monitoramento de desastres naturais no Brasil.

Tabela 1 – Fontes de dados relevantes para a gestão de riscos de desastres

BASES DE DADOS E INFORMAÇÕES RELEVANTES SOBRE SUSCETIBILIDADE, VULNERABILIDADE E RISCOS	FONTE/INSTITUIÇÃO RESPONSÁVEL
Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2ID	SEDEC-MI
Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991-2012	SEDEC-MI
Anuário Brasileiro de Desastres Naturais – 2011 a 2013	SEDEC-MI
Solicitações para Reconhecimento Federal de Situações de Emergência e Estado de Calamidade Pública	SEDEC-MI
Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações	CPRM/MME
Mapas de Vulnerabilidade a Desastres em áreas suscetíveis a inundação e deslizamentos	SEDEC/MME
Cartas Geotécnicas	Min. Cidades
Planos Municipais de Redução de Riscos a Desastres – PMRR	Min. Cidades
Mapas Geológicos, Hidrogeológicos e outros	CPRM/MME
Dados de Saúde – Observatório Nacional de Clima e Saúde	Fiocruz/Ministério da Saúde
Sistema de Informações Hidrológicas	Agência Nacional de Águas/MMA
Monitoramento de Queimadas e Incêndios	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/MCTI

No contexto do sistema de monitoramento e alertas, a caracterização da população residente em áreas de risco é fundamental para a redução da perda de vidas humanas. Hoje, no Brasil, a única fonte de informação sobre a população disponível para todo o território nacional, e com nível de desagregação intraurbano, é provida pelo Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Entretanto, a associação das informações censitárias às áreas de risco não pode ser feita de maneira direta e automatizada, em razão das diferenças geométricas das feições das áreas de risco e das feições de disseminação censitária. Assim, esforços foram dispendidos para o desenvolvimento de metodologia para a criação de um novo recorte territorial, o qual compatibiliza as duas geometrias, ou seja, das áreas de risco de deslizamentos e inundações com dados censitários. Tal metodologia foi aplicada inicialmente em um estudo piloto considerando-se municípios da região serrana do Rio de Janeiro e, diante dos resultados satisfatórios obtidos, o procedimento está sendo desenvolvido para os demais municípios monitorados pelo CEMADEN. Resultados parciais de avaliação das associações obtidas para 560 municípios culminaram na criação de 5.170 polígonos de BATER (nova base territorial estatística de risco) a partir de 27.990 áreas de risco de movimentos de massa ou hidrológicos. A partir das informações geradas, pode-se estimar que 7.082.122 pessoas e 2.129.046 domicílios estão expostos a riscos (Figura 11). Destaca-se que em número de áreas críticas, a região Sudeste concentra 55% das áreas de risco do país e que apesar de a região Nordeste apresentar menos de 19% do total de áreas de risco do país, caracteriza-se pela alta concentração de pessoas vivendo nelas, ou seja, mais de 40% da população vive em risco. Destacam-se ainda, a partir dos resultados, as mesorregiões metropolitanas de São Paulo e Salvador, compostas por 19 e 5 municípios, respectivamente, com cada uma concentrando mais de 1 milhão de pessoas expostas. Ressaltam-se também as mesorregiões com mais de 100.000 pessoas em risco, as quais se concentram na faixa litorânea do país, ou seja, no Litoral Sul Paulista, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, na parte Central Espírito-Santense, no Leste Alagoano, e regiões metropolitanas de Recife e Leste Potiguar (Figura 12). Especificamente na região serrana do estado do Rio de Janeiro, estimou-se que 154.591 pessoas estavam expostas ao risco de movimentos de massa e risco hidrológico nos municípios de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo. Esse quantitativo representa que 24%, 30% e 19%, da população total desses municípios, respectivamente, viviam em áreas de risco.

Do quantitativo total, em torno de 20% da população em risco é composta por crianças e idosos, considerados como os grupos populacionais caracterizados como os mais vulneráveis em circunstâncias de desastres.

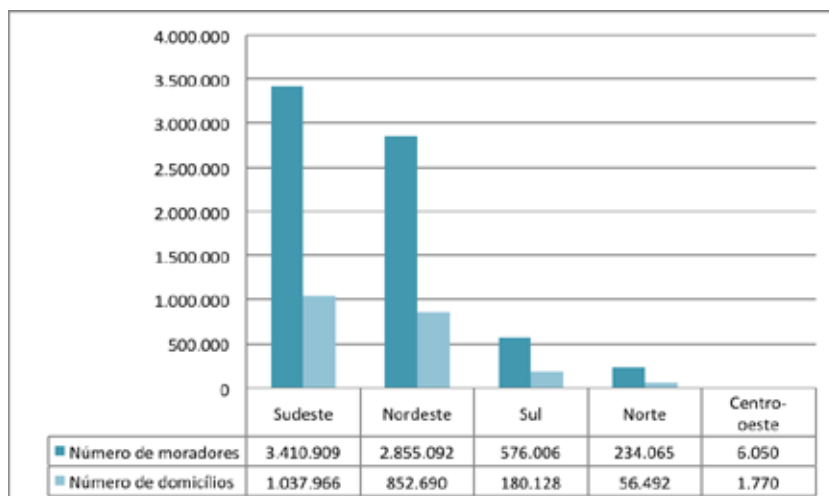


Figura 11 - Estimativa da população vivendo em áreas de risco de movimentos de massa ou hidrológico por região do Brasil, com base em dados do Censo Demográfico de 2010.

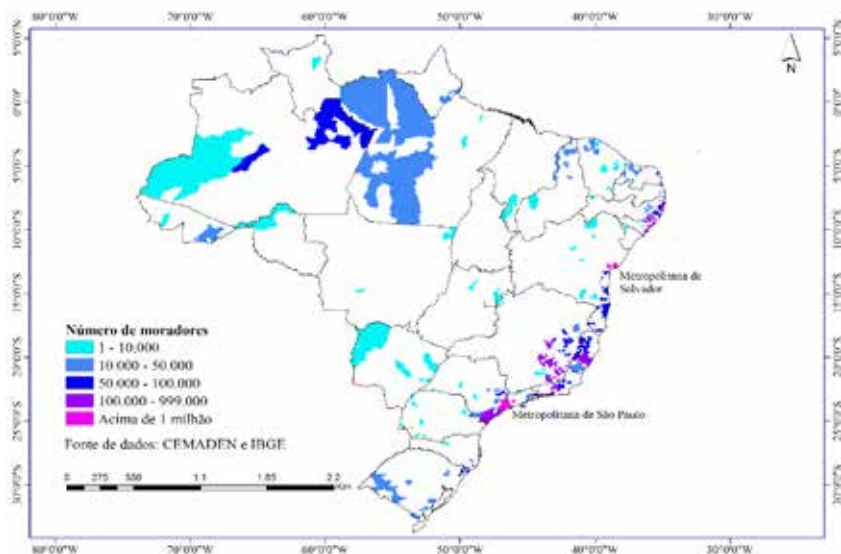


Figura 12 - Distribuição espacial da estimativa de população exposta em áreas de risco de movimentos de massa ou hidrológico por mesorregião do Brasil (Cedida por Mariane Assis, CEMADEN).

Dessa forma, o conhecimento e a caracterização da população vulnerável aos desastres naturais em todas as regiões do Brasil contribuirão para a identificação de áreas de especial atenção e, também, para o entendimento da capacidade de resposta dos moradores expostos ao risco. Os resultados serão incluídos na plataforma SALVAR e, posteriormente, poderão ser utilizados na elaboração dos planos de contingência da Defesa Civil, na emissão de alertas, para subsidiar a possível condução das ações de emergência em áreas afetadas. A partir do esforço em curso, no âmbito da parceria CEMADEN-IBGE, também se espera ter melhor dimensionamento acerca da densidade demográfica em áreas de risco, gerando conhecimento que subsidie políticas públicas de redução do risco de desastres. Há de se ressaltar que investimentos são necessários para que essa análise possa ganhar amplitude no conjunto de municípios que atualmente são monitorados, bem como daqueles que porventura possam vir a ser, inclusive considerando censos demográficos com periodicidade menor que a atualmente adotada pelo IBGE (a cada dez anos).

Destaca-se que as análises dessas vulnerabilidades não são suficientes se não forem criadas formas de reduzi-las, isto é, de fortalecer as capacidades, a fim de fazer frente aos riscos. Desenvolver ou aumentar a percepção de risco de desastres naturais nas áreas suscetíveis - gerando uma cultura de prevenção dos impactos socioambientais por meio da educação ambiental e da construção de escolas sustentáveis e resilientes - constitui ação de relevância com vistas à construção de políticas públicas de mitigação e adaptação às variabilidades e mudanças do clima, assim como na formação educadora para a sustentabilidade. Nesse contexto, esforços devem ser feitos para criar interfaces entre ciência e cidadania.

Particularmente no escopo de educação, o CEMADEN criou um projeto piloto, denominado CEMADEN Educação, voltado para as escolas de ensino médio localizadas em municípios vulneráveis a desastres socioambientais, com o objetivo de desenvolver pesquisas de prevenção de desastres - com monitoramento e alertas -, produção de conhecimento, bem como a gestão participativa de intervenções nas comunidades locais. A ação educativa faz parte de compromissos de governo assumidos em instrumentos internacionais como a Convenção sobre Mudança do Clima e, especialmente, o Marco de Ação de Hyogo (2005), entre outros marcos legais nacionais. Assim, considerando que sistemas de monitoramento e alertas de desastres naturais devem ser implementados levando-se em conta esforços

com foco na educação caminhando *pari passu*, o CEMADEN prioriza a construção do conhecimento voltada para a redução de vulnerabilidades. Nesse contexto, e com base nos resultados do projeto piloto (<http://educacao.cemaden.gov.br>), o Centro tem envidado esforços para promover uma rede de prevenção de riscos de desastres envolvendo escolas e outros atores sociais, com a finalidade de construir pontes para reduzir as barreiras existentes entre a ciência, os conhecimentos tradicionais e as experiências locais (Marchezini & Trajber, 2016a; Marchezini & Trajber, 2016b).

A gestão de riscos no Brasil é um processo em construção no âmbito do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e nos demais órgãos setoriais que estão envolvidos na gestão. O Plano Nacional de Gestão de Risco e Resposta a Desastres, lançado em agosto de 2012, é um esforço interministerial para adoção de estratégias voltadas para a gestão de riscos. Todavia, há ainda um longo caminho a percorrer, a fim de dar capilaridade a essas ações até que estejam enraizadas no nível local.

No que tange à capacidade de gestão de riscos e de desastres no nível municipal, ressalta-se que o Brasil não dispõe de profissionais formados em carreira de agente de Defesa Civil atuando em todos os municípios do país. Embora os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul envidem esforços significativos para investir em suas defesas civis, pode-se dizer que são poucas as unidades municipais que contam com investimentos e recursos humanos concentrados na tarefa de reduzir o risco.

Em relação ao mapeamento das áreas de risco, as informações fornecidas, a maioria delas geradas pela CPRM/MME, adequam-se à escala espacial desejada, estabelecendo as áreas de risco iminente de deslizamentos, inundação e enxurradas, e inferindo a população exposta diretamente ao risco, o que permite estipular o impacto local. No entanto, ressalta-se que os mapeamentos de áreas de risco ainda não estão sendo atualizados. Estes deverão ser oportunamente considerados, incluindo-se detalhamento de informações sobre vulnerabilidade estrutural das residências, vulnerabilidade socioeconômica, redes de comunicação, percepção de risco etc.

Considerações finais

Os esforços dispendidos para a abordagem dos desastres naturais iniciados no escopo do INCT para Mudanças Climáticas contribuíram significativamente quando do estabelecimento do programa Gestão de Riscos e

Respostas a Desastres Naturais do Plano Plurianual (PPA 2012-2015), bem como para a preservação da estratégia de implementação da política pactuada neste Programa para o PPA 2016-2019. Investir no monitoramento e alertas dos principais desastres que impactam o Brasil – inundações, enxurradas e deslizamentos em encostas –, bem como na identificação dos municípios mais críticos a esses eventos, são parte dos esforços que o governo passou a considerar como prioridade para a disponibilização de investimentos que possibilitem evitar novas catástrofes.

Não obstante, há vários desafios científicos associados à abordagem científica, à efetiva manutenção da rede de monitoramento ambiental implementada, ao aprimoramento das políticas sobre a gestão de riscos e gestão de desastres, entre outros. Por exemplo, no que concerne ao monitoramento das secas na região do semiárido brasileiro, faz-se necessário avaliar/prever os seus impactos em diversos setores, tais como o agropecuário, abastecimento de água para a população e animais, geração de energia, entre outros. Particularmente no que se refere aos impactos da seca no setor agropecuário, esforços já estão sendo envidados para (i) identificar limiares críticos de chuvas para a recuperação da vegetação; (ii) aprimorar a metodologia de monitoramento das secas utilizada atualmente, em especial para contemplar a vulnerabilidade socioeconômica da população; (iii) utilizar previsão climática sazonal, em conjunto com as etapas anteriores, com vistas à elaboração de cenários de recuperação ou de degradação das condições de secas. No que se refere à modelagem geodinâmica associada a desastres naturais, geralmente utilizam-se modelos numéricos para “simular” as condições reais de campo e analisar o comportamento hidromecânico de encostas e taludes, cujos resultados permitem principalmente melhor compreender o papel dos principais agentes deflagradores, bem como definir os limiares críticos das variáveis ambientais envolvidas na deflagração de tais processos geológicos (chuva, teor de umidade do solo, sucção do solo, temperatura do solo etc.). No entanto, nem sempre tais processos são deflagrados única e exclusivamente por condicionantes naturais. Geralmente a deflagração dos movimentos de massa está associada com a atuação conjunta de condicionantes antrópicos e naturais. Logo, os principais desafios da modelagem geodinâmica são: i) como incorporar os condicionantes naturais e antrópicos nos modelos numéricos de modo a aperfeiçoar os seus resultados; ii) como melhorar as condições de contorno nos modelos numéricos, a partir das observações de campo dos mecanismo de

ruptura de deslizamentos em encostas e taludes; iii) como definir limiares críticos de variáveis ambientais monitoradas (chuva, umidade do solo etc.) a partir da consideração de condicionantes antrópicos.

Destaca-se, ainda, que o Brasil, como signatário do Protocolo de Hyogo, contribuiu para o Relatório de Avaliação Global de Redução de Risco de Desastres (GAR) de 2015, com uma análise sucinta da situação da gestão de risco de desastres no país, o que significou um grande avanço para sua participação efetiva nas discussões de Sendai em 2015. Com a assinatura do Marco de Sendai, o país ratificou seu compromisso de alcançar as prioridades e as metas nele propostas. Entretanto, embora tenha contribuído para o GAR-2015, o Brasil deverá contribuir de maneira mais efetiva e integral para os próximos relatórios, uma vez que atualmente conta com as condições científicas, técnicas e institucionais necessárias para a gestão mais efetiva de riscos de desastres. Para este propósito, faz-se necessário discutir os principais aspectos das metas e prioridades de ação pautadas em Sendai, assim como as estratégias dos governos e suas instituições para alcançá-las, bem como (i) avaliar o paradigma internacional da gestão de riscos de desastres; (ii) priorizar investimentos para o desenvolvimento de pesquisas que contemplem o conhecimento detalhado da componente social do risco, bem como propor metodologias que permitam a integração eficaz e eficiente desta componente, com a componente física; (iii) conhecer os indicadores de risco propostos pelos países signatários do Marco de Sendai; 4) propor a estratégia brasileira para alcançar as metas de Sendai.

Referências

BANCO MUNDIAL. Avaliação de perdas e danos: inundações bruscas em Santa Catarina – novembro de 2008. Brasília, Banco Mundial. 2012a.

BANCO MUNDIAL. Avaliação de perdas e danos: inundações e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro – Janeiro de 2011. Brasília, Banco Mundial. 2012b.

Brasil. (2013). Banco de dados e registros de desastres: sistema integrado de informações sobre desastres - S2ID. (M. d. Civil, Ed.) Fonte: <http://s2id.integracao.gov.br>

CRED-UNISDR. (2015). *The human cost of weather related disasters - 1995-2015*. CRED-UNISDR.

Cunha, A. P. M. A.; Brito, S. S. B.; Alvalá, R. C. S.; Carvalho, M. A.; Castro, C. C.; Zeri, L. M. M.; Vieira, R. M. S. P.; Rossato, L.; Maciel, A. P. R.; Andrade, E. S. Avaliação de indicador para o monitoramento dos impactos da seca em áreas de pastagens no semiárido do Brasil. Aceito na *Revista Brasileira de Cartografia*. Junho de 2016.

Cunha, A. P. M. A.; Alvalá, R. C. S.; Nobre, C. A.; Magog, A. Carvalho. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian Semiarid Region. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 214–215, p. 494–505, 2015.

EM-DAT. (2009). The OFDA/CRED International Disaster Database. Fonte: www.em-dat.net

Globo.com. Tragédia em Angra dos Reis completa um ano neste sábado. Disponível em <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2011/01/tragedia-em-angra-dos-reis-no-rj-completa-um-ano-neste-sabado.html>

Horita, F., Marchezini, V., de Albuquerque, J. P., Mendiondo, E. M. A qualitative analysis of the early warning process in disaster management, In: (Tapia, Antunes, Bañuls, Moore and Porto de Albuquerque, Org.). 13th Int. Conf. Information Sys. For Crisis Response & Management, ISCRAM 2016 Conference, Session: Community Engagement and Practitioner Studies Proceedings, Rio de Janeiro, Brazil, May 2016.

IPCC. (1990). Report prepared for Intergovernmental Panel on Climate Change by Working Group I J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain, New York, NY, USA and Melbourne, Australia 410 pp

IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (S. Solomon, M. Quin, Z. Manning, M. Chen, K. B. Marquis, M. Averyt, . . . H. L. Miller, Eds.) Cambridge and New York: Cambridge University Press.

IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, . . . P. M. Midgley, Eds.) Cambridge and New York: Cambridge University Press.

IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, . . . P. M. Midgley, Eds.) Cambridge and New York: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781107415324

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the IPCC AR5.* (C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, . . . L. White, Eds.) Cambridge and New York: Cambridge University Press.

ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. (2005). *Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the resilience of nations and communities to disasters.* Hyogo, Japan: ISDR.

ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. (2007). *Acting with Common Purpose. Proceedings of the first session of the Global Platform for Disaster Risk Reduction.* Geneva, Switzerland: ISDR.

ISDR. (2012). *Annual Report.* UNISDR. Fonte: http://www.unisdr.org/files/33363_unisdrannualreport2012.pdf

Marchezini, V.; Trajber, R. People-Centered Early Warning System: Barriers, Bridges and Windows of Opportunity. Presented at The Futures We Want: Global Sociology and the Struggles for a Better World. 3rd ISA Forum of Sociology, July 10-14, 2016, Vienna, Austria. 2016a.

Marchezini, V.; Trajber, R. Youth based learning in disaster risk reduction education: barriers and bridges to promote resilience (Chapter 3). In: Michele Companion; Miriam S. Chaiken (Eds) *Responses to Disasters and Climate Change: Understanding Vulnerability and Fostering Resilience.* 2016b. (ISBN 9781498760966).

Marchiori-Faria, D. G.; Santoro, J. Gerenciamento de Desastres Naturais. In: Tominaga, L. K.; Santoro, J.; Amaral, R.. (Org.). *Desastres Naturais: conhecer para prevenir.* 1^aed.São Paulo: Instituto Geológico, 2009, v. 01, p. 161-192.

Marengo, J. A.; Nobre, C. A.; Seluchi, M. E.; Cuartas, A.; Alves, L. M.; Mendiondo, E. M.; Obregon, G.; Sampaio, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo [The drought and the 2014-2015 water crisis in Sao Paulo]. *Revista USP*, v. 106, p. 31-44, 2015.

Matheron, G. 1969. Le krigeage universel. Technical Report 1, Paris School of Mines. Cah. Cent. Morphol. Math., Fontainebleau.

Moore, R. J.; Bell, V. A. Incorporation of groundwater losses and well level data in rainfall-runoff models illustrated using the PDM. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(1), 25-38, 2002.

Moore, R.J. The PDF rainfall-runoff model. *Hydrological Earth Systems Sciences*, 11(1), 483-499, 2007.

Nobre, C. A.; Marengo, J. A.; Seluchi, M. E.; Cuartas, L. A.; Alves, L. M. (2016). Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. *Journal of Water Resource and Protection*, 8, 252–262, 2016.

Rossato, L., Tomasella, J., Alvalá, R.C.S. Avaliação da Umidade do Solo no Brasil durante o Episódio El Niño (1982/83). *Rev. Bras. Agromet.* Santa Maria. 13 (1), 143-153. 2005.

Souza, S. S.; Tomasella, J.; Gracia, M. G.; Amorim, M.C.; Menezes, P. C. P. 2001 O Programa De Monitoramento Climático Em Tempo Real Na Área De Atuação Da Sudene (PROCLIMA), *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, Vol. 25, num. 01, 2001, pp. 15-24.

Tominaga, L, Santoro, J. do Amaral, R (2009) *Desastres Naturais: conhecer para prevenir*, 1, Ed. São Paulo : Instituto Geológico, 196 p.

UFSC-CEPED. (2012). *Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil*. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED UFSC.

UFSC-CEPED. (2013 2ª edição). *Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012, volume Brasil*. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED UFSC.

UNISD. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, Post-2015 Framework on Disaster Risk Reduction. A/CONF.224/CRP.1*. UNISD. Fonte: http://www.wcdr.org/uploads/Sendai_Framework_for_Disaster_Risk_Reduction_2015-2030.pdf

United Nations. (2006). *Global Survey of Early Warning Systems. An assessment of capacities, gaps and opportunities toward building a comprehensive global early warning system for all natural hazards*. United Nations.

United Nations. (2007). *Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the resilience of nations and communities to disasters*. Geneva, Switzerland: United Nations.

WMO. (2015). Global Climate in 2014 marked by extreme heat and flooding. *Press Release n° 4*. Fonte: <https://www.wmo.int/media/content/global-climate-2014-marked-extreme-heat-and-flooding>

Emissão de Gases de Efeito Estufa

Plínio Alvalá¹
Turíbio Gomes Soares Neto¹
Ana Paula Aguiar¹
Jean Ometto¹

Resumo

As concentrações atmosféricas globais dos principais gases de efeito estufa (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso) vêm crescendo em consequência das atividades humanas desde a Revolução Industrial (1750), trazendo impacto no balanço de energia na biosfera. Neste trabalho apresentam-se resultados de três subprojetos - Gases de Efeito Estufa, Mudanças nos Usos da Terra e Processos de Combustão - desenvolvidos dentro do INCT para Mudanças Climáticas, com o objetivo de avançar na compreensão dos processos relacionados à emissão de gases de efeito estufa no Brasil. Foram usados dados observacionais e de modelagem. Entre as atividades realizadas destacam-se: **(a) Medidas da concentração** dos principais gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O) em quatro diferentes localidades (Natal (RN), Pantanal (MT, MS), São José dos Campos (SP) e Cachoeira Paulista (SP)). A região costeira (Natal, RN) apresentou valores um pouco mais baixos que os globais, os três outros pontos apresentaram valores um pouco mais altos que os globais. **(b)** Em área de floresta, foram realizados **estudos experimentais** para a medição da emissão de GEE por **queimadas** na região de Cruzeiro do Sul, no estado do Acre. Os fatores de emissão vieram de experimento de queima da floresta controlado em área de 4 ha, sendo a biomassa quantificada antes e após a queima. **(c)** O desenvolvimento de um

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

arcabouço de modelagem para estimativa de emissões de CO_2 , CH_4 , N_2O , CO e NO_x derivadas de mudanças do uso da terra - **INPE-Emission Model (EM)**. As estimativas de emissões por desmatamento com corte raso para a Amazônia de 2002 a 2014 mostram um crescimento até 2004 e uma forte queda nas emissões após 2004 até 2010, em concordância com os dados das estimativas do inventário de emissões; **(d)** Por fim, foi implantado um laboratório de desenvolvimento da tecnologia de combustão via “Chemical Looping Combustion” (CLC) com vistas à **captura de CO_2** .

Introdução

O aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa (GEE) constitui um dos principais componentes da alteração no balanço de energia no sistema Terra-Atmosfera, e consequentemente uma das causas do aquecimento global e das mudanças climáticas. Embora existam várias forçantes climáticas, tanto de origem natural como antropogênicas, entende-se hoje que o aumento dos gases de efeito estufa resulta numa forçante positiva (aquecimento), principalmente nas últimas décadas (IPCC, 2013).

O gás carbônico (CO_2) constitui o principal gás de efeito estufa, contribuindo com mais de 84% na forçante radiativa na última década. A concentração média global de CO_2 teve um crescimento desde a era pré-industrial de 278 partes por milhão em volume (ppmv) para os 393 ppmv observados em 2012, representando um crescimento de 41%, o qual deve-se principalmente à queima de combustíveis fósseis, seguida pela queima de biomassa.

O metano (CH_4), segundo gás mais importante de efeito estufa de origem antropogênica, registrou concentração média global para 2012 de 1.819 partes por bilhão em volume (ppbv), o que representou um aumento de 160% em relação à concentração observada antes da era pré-industrial, de 700 ppbv. A maior contribuição natural são as áreas alagadas naturais, que respondem por 40%, das emissões. A taxa de crescimento de metano tem variado bastante nos últimos anos, devido à flutuação no balanço entre suas fontes e sumidouros.

O óxido nitroso (N_2O) é o terceiro gás mais importante para o efeito estufa, com uma concentração média global de 325 ppbv e um crescimento de mais de 20% desde a era pré-industrial (270 ppbv), resultando em uma contribuição de cerca de 6% para a forçante radiativa, onde as emissões antropogênicas respondem por mais de um terço do total, vindas

principalmente da agricultura, queima de biomassa e alguns processos industriais (WMO, 2013).

Globalmente, de acordo com Le Quere et al. (2015), as emissões por queima de combustíveis fósseis de CO₂ foram de 8,9 ± 0,4 GtC/ano entre 2004-2013, enquanto aquelas relacionadas às mudanças no uso da terra, principalmente o desmatamento, representaram 0,9 ± 0,5 GtC/ano mesmo período. No Brasil, historicamente, o desmatamento da Amazônia sempre foi responsável pela maior parte das emissões de gases de efeito estufa. Porém, com a queda das taxas de desmatamento na Amazônia na última década (INPE, 2016), a contribuição relativa dos demais setores da economia – em especial energia e agricultura – vem aumentando, tanto em termos percentuais como em valores absolutos, como ilustra a Figura 1.

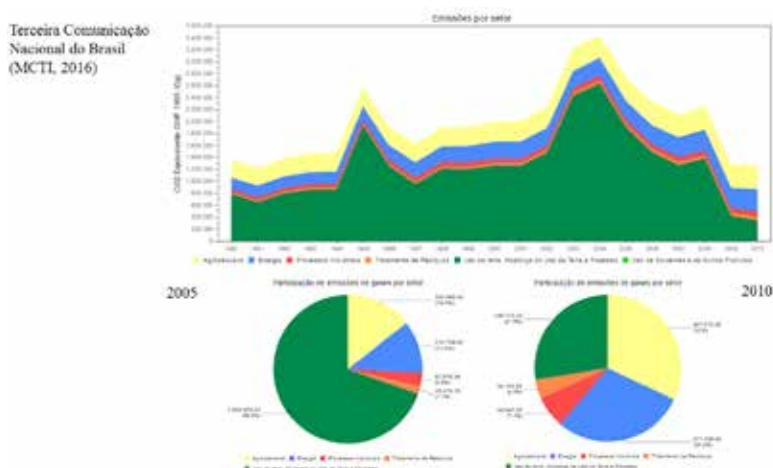


Figura 1 – Emissões de GEE do Brasil (MCTI, 2016) mostrando a contribuição em valores absolutos e relativos dos diferentes setores (Energia, Tratamento de Resíduos, Processos Industriais, Agropecuária e Uso da Terra e Florestas). Em 2010, a emissão total líquida estimada do Brasil foi de 1.27 TgCO₂eq.

A Terceira Comunicação Nacional do Brasil (MCTI, 2016), submetida recentemente à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês), aponta redução de 53,5% no total de gás carbônico (CO₂) emitido pelo Brasil entre 2005 e 2010. Porém, apesar dessa recente queda nas emissões do país, existem muitas incertezas sobre o futuro do desmatamento na Amazônia e nos demais biomas - considerando a pressão por produtos agrícolas e questões institucionais, em especial

a incerteza em relação ao cumprimento da legislação ambiental (Aguiar et al., 2016 e outros). Além disso, quando considerados os demais setores, a tendência é de continuidade do aumento das emissões acompanhando o processo de desenvolvimento do país. Logo, pesquisas voltadas a aprimorar as estimativas de emissões, assim como apoiar medidas de mitigação nos diferentes setores, são essenciais.

Para avaliar e mitigar os efeitos do crescimento da concentração dos gases de efeito estufa no sistema climático, e em especial seus efeitos no Brasil, faz-se necessário avançar na compreensão dos processos relacionados à emissão e suas interfaces com a biosfera. O presente trabalho apresenta uma síntese dos esforços nessa direção realizados no contexto do INCT para Mudanças Climáticas. Os avanços realizados incluem atividades de observação e modelagem, resultantes dos subprojetos Gases de Efeito Estufa, Processos de Combustão e Mudanças dos Usos da Terra, organizados da seguinte forma: resultados de medidas de concentração dos principais gases de efeito estufa em quatro localidades; resultados de estudos da emissão de metano em corpos d'água; resultados de medidas de fatores de emissão de GEE por queima de biomassa na Amazônia; estimativas de emissões de GEE por desmatamento na Amazônia através do arcabouço de modelagem INPE-EM. Finalmente, são apresentados os avanços no desenvolvimento de novos processos de combustão industrial.

Resultados científicos e estado da arte

Monitoramento de gases de efeito estufa no Brasil

Os trabalhos de monitoramento foram realizados dentro do subprojeto Gases de Efeito Estufa e compreendem um esforço na obtenção de medidas da concentração dos principais GEE (CO_2 , CH_4 e N_2O) em quatro diferentes localidades: Natal, Pantanal, São José dos Campos e Cachoeira Paulista. Foram realizadas tanto medidas com monitores contínuos, como através de amostras individuais, as quais foram analisadas no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (LAPBIO) do Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE). A Figura 2 apresenta as concentrações médias anuais de CH_4 obtidas para as quatro localidades. Para Natal, os dados de concentração de metano foram

obtidos somente para os anos de 2010 e 2011. Comparando-se os valores médios obtidos para Natal, de 1787 ppbv, com a concentração média global para o ano de 2012, de 1.819 ppbv (WMO, 2013), observa-se que esses são os únicos que estão abaixo. Isso era esperado, pois a localidade de coleta situa-se na costa, com a predominância das massas de ar vindas do oceano e onde as fontes antropogênicas têm um mínimo de influência. Os valores médios de metano para o Pantanal (1.805 ppbv) mostraram-se próximos ao valor médio global, mas superiores aos obtidos para Natal, como provável resultado das emissões locais. Embora seja uma região com vegetação de savana, ela sofre alagamentos sazonais (dezembro a março), deixando a região com grandes extensões alagadas, o que deve contribuir para a emissão de gases de efeito estufa (Marani & Alvalá, 2007). As médias para São José dos Campos (1.844 ppbv) e Cachoeira Paulista (1.836 ppbv) apresentaram valores superiores à média global, refletindo a condição de localidades continentais, sob a influência de diversas fontes, tanto antropogênicas, como naturais.

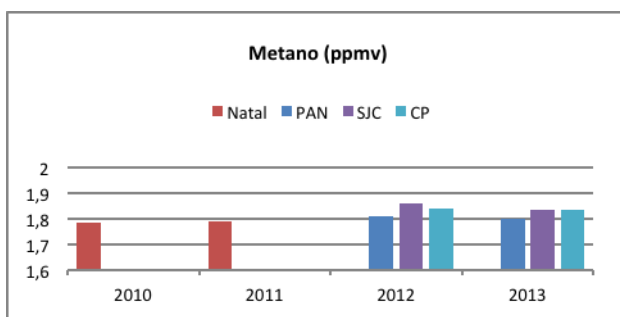


Figura 2 – Médias anuais da concentração de metano (ppmv) obtidas nas localidades de Natal (RN), São José dos Campos (SP) (SJC) e Cachoeira Paulista (SP) (CP) para os anos de 2010 a 2013.

A Figura 3 apresenta os dados de concentração para o dióxido de carbono para três localidades (Pantanal, São José dos Campos e Cachoeira Paulista). Os dados para Natal foram excluídos devido a problemas com o equipamento.

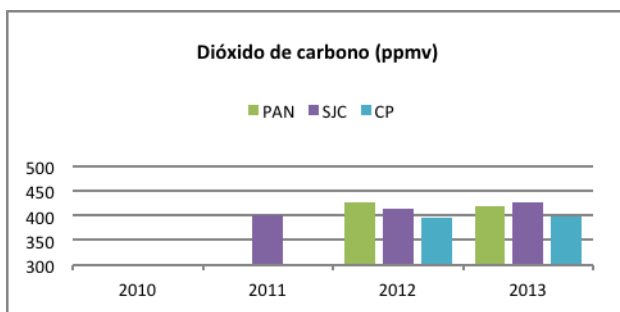


Figura 3 – Médias anuais da concentração de dióxido de carbono (ppmv) obtidas nas localidades Pantanal (PAN), São José dos Campos (SP) (SJC) e Cachoeira Paulista (SP) (CP) para os anos de 2011 a 2013.

As médias anuais de CO₂ para São José dos Campos apresentaram um valor próximo à média global (393 ppmv) para 2011, com valores anuais crescentes, atingindo 426 ppmv em 2013. Esse resultado reflete a urbanização local e um provável incremento na utilização de combustíveis fósseis. Para o Pantanal, foi observada uma média de 423 ppmv, superior à média global. A região do Pantanal, com sua vegetação de savana e ciclo hidrológico único, sofre alagamentos periódicos, como mencionado acima. Essa ainda é uma das regiões do Brasil estudadas no que diz respeito ao balanço de carbono. É preciso um maior período de observação. Os dados para a localidade. Os dados para a localidade de Cachoeira Paulista apresentaram os menores valores entre os sítios amostrados, com média de 396 ppmv, valor pouco acima da média global, evidenciando baixa influência das fontes locais.

As medidas realizadas para obtenção das concentrações de N₂O mostraram-se com bastante dispersão, reduzindo consideravelmente os dados válidos. As médias anuais obtidas tanto para São José dos Campos, de 324 ppbv, como para Cachoeira Paulista, de 325 ppbv, mostraram-se similares à média global, de 325 ppmv, refletindo a baixa influência de fontes locais nessas regiões.

Com os resultados obtidos no subprojeto Gases de Efeito Estufa, foi possível avaliar o comportamento dos GEE em diferentes localidades no Brasil. Para o metano, os dados de Natal mostraram-se os de menor concentração anual média, evidenciando sua qualidade de sítio remoto. Como contribuições ao INCT para Mudanças Climáticas, as medidas forneceram

as concentrações dos três principais gases de efeito estufa em diferentes zonas: costeira, urbana e rural.

Estudo de fontes de GEE

No Brasil, o desmatamento da Amazônia tem sido, historicamente, responsável pela maior parte das emissões de GEE. Uma das incertezas relativas às estimativas de emissões são os fatores resultantes da queima de biomassa. Nesse contexto, foram efetuados experimentos em diferentes regiões da Amazônia. A regeneração de florestas também foi estudada no subprojeto Mudanças nos Usos da Terra, que é parte do Tema Integrador Emissão de Gases de Efeito Estufa. Os dados de fatores de emissão foram obtidos em experimento de queima da floresta controlado em área de 4 ha, sendo a biomassa quantificada antes e após a queima (Soares Neto et al., 2012). Os resultados das medidas de regeneração de florestas estão sendo utilizados como ferramenta de políticas públicas pelo Instituto de Mudanças Climáticas e Regulação de Serviços Ambientais do Acre (IMC).

Obtiveram-se as seguintes quantidades de gases emitidos para cada hectare de floresta queimada na região de Cruzeiro do Sul, no estado do Acre: 232.115 kg; 24.141 kg; 1.254 kg; 596 kg e 285 kg respectivamente para o CO_2 , CO, CH_4 , NMHC e $\text{PM}_{2,5}$. A partir desses resultados, extrapolando esses valores para o índice de desmatamento anual, pode-se afirmar que somente a queima da biomassa diretamente associada ao desmatamento da Floresta Amazônica contribui em média com menos de 1% do total de todo o CO_2 lançado na atmosfera do planeta anualmente (Neto et al., 2009). Quando se soma a isso as emissões de CO_2 resultantes da decomposição da biomassa da floresta derrubada, processo este que leva vários anos, a contribuição total do desmatamento da Amazônia para as emissões globais de CO_2 pode variar entre menos de 1% para anos de baixo desmatamento, como em 2012, até acima de 3,5% para anos de alto desmatamento, como em 2004 e 2005.

As principais fontes naturais de metano são os corpos d'água, como lagos e áreas alagadas, que junto com os oceanos respondem por cerca de 21% da emissão global. Durante a execução do subprojeto Gases de Efeito Estufa, foram realizados experimentos para estudo da emissão de GEE em parceria com o Observatório Nacional e com o Instituto Oceanográfico da USP, através do INCT Antártico (INCT-APA), ambos para estudo da

emissão de metano em corpos d'água. Na primeira cooperação foram obtidos fluxos de CH_4 na Lagoa Rodrigo de Freitas, no Rio de Janeiro, em 2011 (Lia Braz et al., 2012), o que revelou uma emissão média de $33 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Essas emissões mostram-se dentro do esperado para esse tipo de fonte, não apresentando uma contaminação observável pela urbanização ao redor. Na segunda cooperação, foram desenvolvidas atividades junto com o Instituto Oceanográfico da USP para medidas de fluxo de metano na região subantártica próxima à região da Estação Antártica Comte. Ferraz (EACF), na região da Ilha Rei George, Península Antártica. Embora as águas oceânicas na região antártica sejam consideradas um sumidouro fraco de metano, as medidas evidenciaram tanto emissão de metano (média: $1 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), como pontos agindo como sumidouro (média: $-0,2 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). As regiões de emissão foram associadas com as atividades na EACF, revelando a importância da atividade humana na potencialização da emissão de metano (Nakayama et al., 2011). Embora sejam dados pontuais no tempo, dados de emissão em regiões oceânicas são de grande importância na construção de modelos de emissão e do balanço de metano na atmosfera.

Estimativa de emissão de gases de efeito estufa por desmatamento: o modelo INPE-EM

Além do trabalho observacional sobre fatores de emissão de GEE descrito na seção anterior, foi desenvolvido, com o apoio do INCT Mudanças Climáticas², o arcabouço de modelagem para estimativa de emissões por mudanças de uso da terra INPE-Emission Model (EM) (Aguiar et al., 2012, 2016). O desenvolvimento do INPE-Emission Model (EM) é um esforço nacional no sentido do futuro aprimoramento do método de estimativa de emissões por mudança de uso e cobertura da terra e florestas (LULUCF). O INPE-EM é um desenvolvimento do Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do INPE, em parceria com diversas instituições.

Em relação ao processo de desmatamento corte-raso, o arcabouço permite gerar tanto estimativas de primeira ordem (supondo que 100% das

2 Em sinergia com outros projetos: AMAZALERT (Raising the alert about critical feedbacks between climate and land use change in Amazonia, European Commission's 7th Framework Programme, Grant 282664). Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas (Rede Clima) e o Programa FAPESP Mudanças Climáticas (PFPMCG)..

emissões ocorrem no momento da transição de uso/cobertura), quando estimativas de segunda ordem (que consideram o processo gradativo de liberação e absorção do carbono, representando os fluxos entre os compartimentos de biomassa)³, como ilustra a Figura 4.

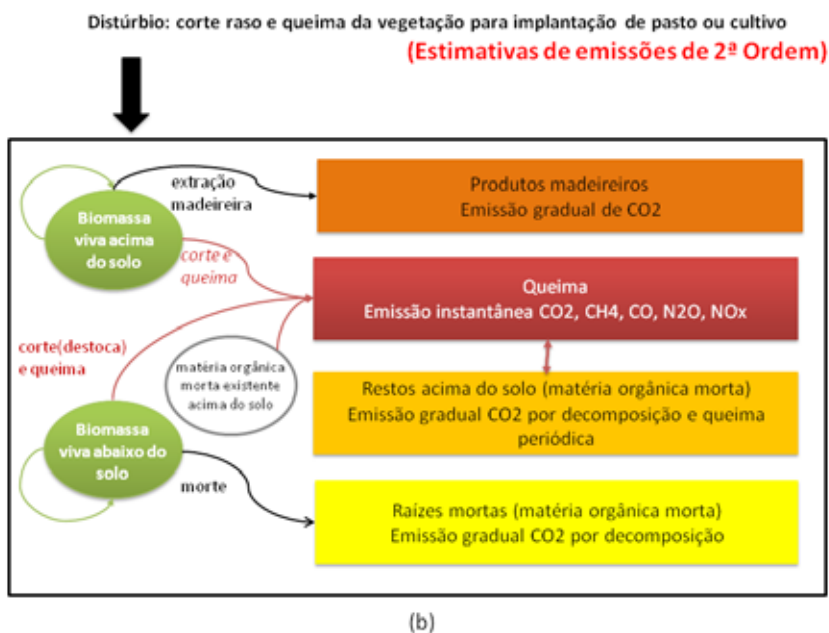


Figura 4 – Representação esquemática dos processos envolvidos no cálculo de estimativa de emissões por desmatamento corte-raso.

Além das estimativas de emissões de CO₂, são calculadas emissões de CH₄, N₂O, CO e NO_x. Os resultados são apresentados de modo agregado por ano ou de modo espacialmente explícito. Além do processo de desmatamento corte-raso, o arcabouço também permite representar a dinâmica da vegetação secundária e processos de degradação florestal, como ilustra a Figura 5. Desse modo, o arcabouço permite de maneira inovadora estimar de forma integrada as emissões líquidas derivadas do processo de desmatamento. Todos os parâmetros que representam os processos de emissão/remoção podem ser espacialmente explícitos, possibilitando representar a

3 Estimativas de 1ª Ordem são compatíveis com os Tier 1 e 2 do GPG-LULUCF (*Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*) do IPCC. Estimativas de 2ª Ordem são compatíveis com o Tier 3.

heterogeneidade espacial dentro de uma região. O arcabouço é facilmente parametrizável, extensível e de código aberto, permitindo o desenvolvimento de novos módulos ou a modificação dos existentes.

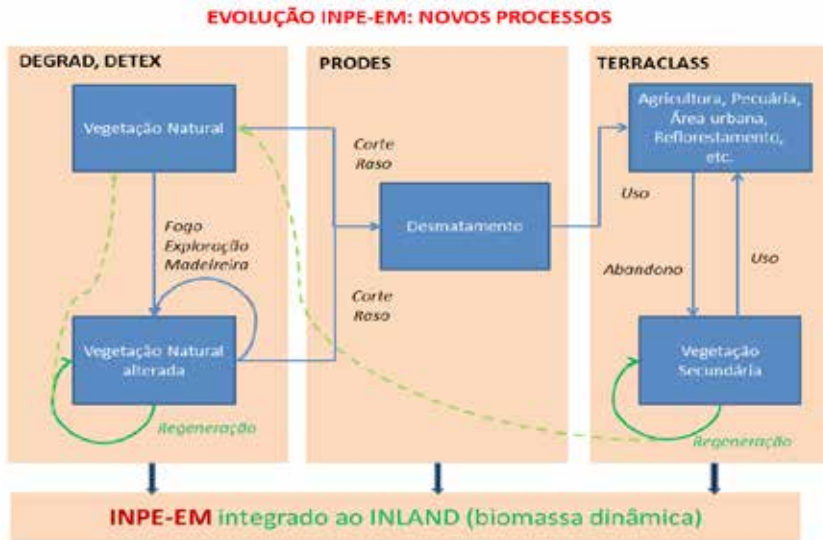


Figura 5 – Processos representados pelo INPE-EM

A Figura 6 ilustra os resultados das estimativas de emissões por desmatamento corte raso para a Amazônia de 2002 a 2014. Os resultados mostram a forte queda nas emissões após 2004 até 2010, em concordância com os dados das estimativas do inventário de emissões (Figura 1). Os dados do sistema INPE-EM são atualizados assim que os dados do sistema PRODES do INPE (<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>) são disponibilizados (INPE, 2016), e mostram a estabilização das emissões nos últimos quatro anos, correspondendo à estabilização das taxas de desmatamento em torno de 5.000 km² por ano.

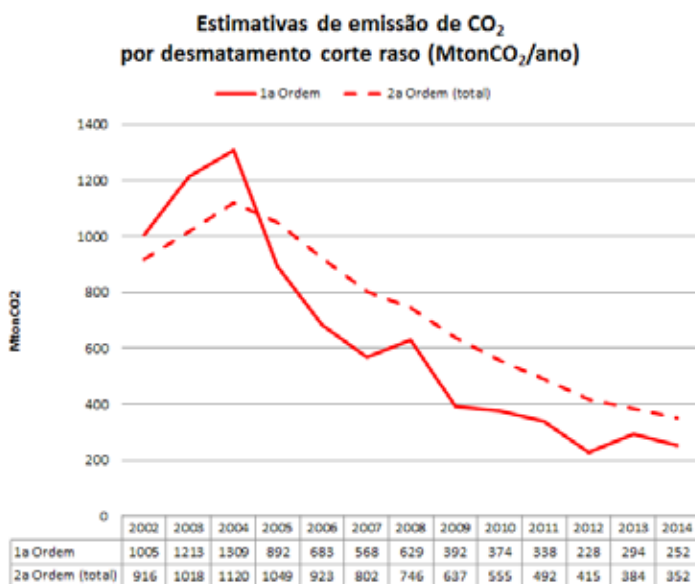


Figura 6 – Estimativas de emissão de 1ª (assumindo emissões instantâneas) e de 2ª ordem por desmatamento corte-raso para a Amazônia brasileira. Dados de desmatamento do PRODES/INPE. Biomassa MCTI (2010)⁴. Parâmetros da estimativa de 2º ordem (15% biomassa produtos madeireiros, 50% da biomassa remanescente queimada no primeiro ano). Ver detalhes em inpe-em.ccst.inpe.br.

Os pesquisadores do INCT para Mudanças Climáticas, responsáveis pelo INPE-EM, também com apoio da Rede Clima, contribuíram para a elaboração do Inventário de Emissões do setor de uso da terra e floresta da Terceira Comunicação Nacional (MCTI, 2016). Contribuem também para o Grupo Técnico do REDD+, liderado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. O arcabouço foi inicialmente desenvolvido e aplicado para a Amazônia brasileira, mas estão em desenvolvimento modelos específicos para os biomas Cerrado e Caatinga.

4 Os resultados da Figura 6 são baseados nos dados de biomassa da Segunda Comunicação Nacional (MCTI, 2010). A Terceira Comunicação Nacional (MCTI, 2016) aperfeiçoou os dados de biomassa utilizados no inventário de emissões.

Novos processos de combustão

O subprojeto Processos de Combustão, parte do tema integrador Emissão de Gases de Efeito Estufa, estudou e desenvolveu tecnologias de combustão que contribuem para mitigar as emissões de gases de efeito estufa. Dois projetos foram realizados. O primeiro foi o “Implantação de laboratório de desenvolvimento da tecnologia de combustão via *“Chemical Looping Combustion”* (CLC) com vistas à captura de CO_2 ”, desenvolvido em uma parceria INPE – INCT para Mudanças Climáticas - PETROBRAS. Como fruto desse projeto, um laboratório na área de pesquisa foi construído no Brasil, capacitando o país a desenvolver – sintetizar, caracterizar e avaliar – materiais empregados em novos processos de combustão que reduzam o CO_2 lançado na atmosfera e com isto contribuem com a mitigação do efeito estufa. O segundo foi o projeto “Captura de CO_2 e geração de H_2 via recirculação química”, também conduzido em uma parceria INPE – INCT para Mudanças Climáticas – PETROBRAS. Este permitiu o desenvolvimento no país, em escala de laboratório, de materiais testados no processo *“Chemical Looping Combustion”*. Esses materiais mostraram desempenhos e seletividades satisfatórios à geração de H_2 com fonte de energia limpa, simultânea captura de CO_2 e redução significativa da produção de NO_x (Guimarães et al., 2011).

No processo de desenvolvimento da pesquisa, o subprojeto estabeleceu várias parcerias internacionais: International Group of Research, na área de Catalysis For Environment Depollution, Renewable Energy and Clean Fuels, Zakopane (Polônia), Laboratório de “Interfaces, Traitements, Organisation et Dynamique des Systèmes” - ITODYS, CNRS - UMR 7086 da Université Paris Diderot (França) e Centro de Pesquisas da PETROBRAS (CENPES). As parcerias possibilitaram o envio de aluno de graduação ao exterior (França), o que permitiu ao Laboratório Associado de Combustão e Propulsão (LABCP) do INPE atuar em projetos que envolvem tecnologias de combustão menos agressivas ao meio ambiente.

Durante o período do projeto, a equipe do LABCP atuou principalmente no estudo do processo de combustão denominado *“Chemical Looping Reforming”*, desenvolvendo com êxito novos materiais denominados “transportadores de oxigênio”. Além disso, capacitou profissionais para atuar nesse processo que contribui para reduzir a emissão de gases de efeito estufa. A utilização de novos processos de combustão que viabilize a redução das emissões de GEE, entre eles o *“Chemical Looping*

Combustion”, pode impactar significativamente a redução do aumento da temperatura do planeta.

Considerações finais

Os trabalhos desenvolvidos no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas possibilitaram a execução de pesquisas tanto na parte experimental, envolvendo o estudo da concentração atmosférica dos principais gases de efeito estufa e a emissão desses gases, bem como sobre a estimativa dos fatores de emissão para a queima de biomassa. Os resultados para as concentrações mostraram que a região costeira (Natal) apresentou valores próximos aos globais, enquanto que os demais pontos apresentaram valores acima dos globais e resultantes de contribuições naturais e antropogênicas. O desenvolvimento do projeto propiciou o intercâmbio e a cooperação entre diferentes instituições, como o Observatório Nacional e o Instituto Oceanográfico-USP, através do INCT-APA.

O conhecimento dos fatores de emissão por queima de biomassa é fundamental para aprimorar as estimativas da contribuição das emissões provenientes do desmatamento. O desenvolvimento das componentes observacionais sobre GEE é essencial para melhor balizar a correta representação dos processos em modelos quantitativos computacionais. Nesse sentido, o INCT para Mudanças Climáticas prestou contribuição para o avanço do conhecimento científico, fortalecendo os grupos de pesquisa e criando a possibilidade de sinergia entre eles em trabalhos futuros. No entanto, há incerteza em relação ao futuro da Amazônia e dos demais biomas brasileiros, devido ao aumento da pressão por alimentos e biocombustíveis, aliado ao estoque de carbono ainda retido na vegetação remanescente (Ometto et al., 2014) e o potencial de emissões futuras num cenário de retorno de altas taxas de desmatamento (Aguiar et al., 2016). Isso reforça a necessidade de aprimorar o conhecimento sobre as estimativas de emissão, assim como constantemente acompanhar a evolução do desmatamento através de sistemas de monitoramento. Existe também a necessidade de aprimorar as pesquisas relativas ao potencial de remoção de carbono pelo crescimento da vegetação secundária, assim como entender a emissão decorrente do processo de degradação florestal.

Em relação a ações de mitigação, da mesma forma que novas formas de geração de energia menos poluentes, está sendo estudada pelos

governos e iniciativa privada a implantação do processo “Chemical Looping Combustion” em indústrias e usinas geradoras de energia empregando, por exemplo, gás natural como fonte primária de energia. Esta pode ser uma importante alternativa a ser estimulada por políticas públicas. Como exemplo, o gás natural, produzido e/ou distribuído pela PETROBRAS, vem se tornando, cada vez mais um insumo importante na matriz energética do Brasil. O controle das emissões por ele geradas é factível com o emprego dessa nova tecnologia, como já vem ocorrendo nos países escandinavos e nos Estados Unidos.

Referências

Aguiar, A. P., Ometto, J. P., Nobre, C., Lapola, D. M., Almeida, C., Vieira, I. C., & Castilla-Rubio, J. C. (2012). Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: the INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, 18(11), pp. 3346-3366. doi:10.1111/j/1365-2486.2012.02782.x

Aguiar, A. P., Vieira, I. C., Assis, T. O., Dalla-Nora, E. L., Toledo, P. M., Oliveira Santos-Junior, R. A., & Ometto, J. P. (2016). Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, pp. 1821-40. doi:10.1111/gcb.13134

Braz, L., Willian, J. F., Silva, M. G., Alvalá, P. C., Marani, L., Batista, G. T., & Hamza, V. M. (2012). Influência de características físico-químicas da água no transporte de metano para a atmosfera na Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ. *Revista Ambiente & Água*, 7(3), pp. 99-112.

Guimarães, R.C.O., Santos, P.H.L.N.A., Zacharias, M.A., Ferreira, M.A., Moure, G.T., Rodrigues, J.A.J., Djega-Mariadasou, G., (2011), Influence of reactor type in combustion process by chemical-looping, 1º Congresso Brasileiro de CO₂ na Indústria do Óleo, Gás e Biocombustíveis Industriais, abril, Rio de Janeiro.

INPE. (2016). *Amazon Program - Monitoring the Brazilian Amazon by satellite: The PRODES, DETER, DEGRAD and TerraClass Systems*. Fonte: INPE: www.inpe.br

IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, . . . P. M. Midgley, Eds.) Cambridge and New York: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781107415324

Le Quéré et al. (8 de maio de 2015). Global carbon budget 2014. *Earth System Science Data*, 7(1), pp. 47-85. doi:doi:10.5194/essd-7-47-2015

Marani, Luicano e Alvalá, P. C. Methane emissions from lakes and floodplains in Pantanal, Brazil. *Atmospheric Environment*, 41: 1627-1633, 2007.

MCTI. (2016). *Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Brasília: Ministry of Science, Technology and Innovation.

Nakayama, C. R., Kuhn, E., Araujo, C. V., Alvalá, P. C., Ferreira, W. J., Vazoller, R. F., & Pellizari, V. H. (2011). Revealing archaeal diversity patterns and methane fluxes in Admiralty Bay, King George Island, and their association to Brazilian Antarctic Station Activities. *Deep-Sea Research. Part 2. Tropical Studies in Oceanography*, 58, pp. 128-138.

Neto, TGS; Carvalho Jr.; Veras, C. A.G. Alvarado, E; Gielow, R; Lincoln, E.N.; Christian, T.J.; Yokelson, R.J. Santos, J. C, (2009) Biomass consumption and CO₂, CO and main hydrocarbon gas emissions in an Amazonian forest clearing fire. *Atmospheric Environment*, v.43, p.438 - 446. Ometto, J. P., Aguiar, A. P., Assis, T., Soler, L., Valle, P., Tejada, G., . . . Meir, P. (fevereiro de 2014). Amazon forest biomass density maps: tackling the uncertainty in carbon emission estimates. *Climatic Change*

Soares Neto, T. G.; Dias, F.F.; Saito, V. O.; Anselmo, E.; Santos, J. C.; Carvalho, J. A.; Amorim, E.B.; Costa, M. A. M. (2012), Emission Factors for CO₂, CO and Main Hydrocarbon Gases, and Biomass Consumption in an Amazonian Forest Clearing, In: International Emission Inventory Conference “Emission Inventories - Meeting the Challenges Posed by Emerging Global, National, Regional and Local Air Quality Issues”, Tampa, Flórida, USA. World Meteorological Organization - WMO. (2013). *Greenhouse Gas Bulletin - The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observation through 2012*. WMO.

World Meteorological Organization. (2013). *Greenhouse Gas Bulletin nº 9*.

Dimensões Humanas e Econômicas das Mudanças Climáticas¹

Myanna Lahsen²
Jacques Marcovitch³
Eduardo Haddad³

Resumo

O primeiro subprojeto parte deste Tema Integrador, “Estudos de Ciência, Políticas Públicas e Mudanças Climáticas”, liderado pela primeira coautora, analisou a interface entre a ciência e as políticas públicas no Brasil. O objetivo foi melhorar a compreensão dos fatores socioculturais, políticos e econômicos que causam emissões de gases de efeito estufa no Brasil e que moldam a propensão e a capacidade da sociedade de evitar, resistir e adaptar-se aos impactos das mudanças climáticas. As análises geradas evidenciam que transformações para a sustentabilidade requerem mudanças estruturais e repensamento das instituições atuais, inclusive a estrutura das mídias de comunicação e as normas dominantes, tanto na ciência quanto

1 A primeira seção deste texto se baseia no relatório “As Agendas de Pesquisas Ambientais no Antropoceno: As Contribuições Vitais das Pesquisas Sócio-Políticas”, produzido por Myanna Lahsen. A segunda seção concentra-se no texto “Mudanças Climáticas, Políticas Públicas e Estratégias Empresariais”, elaborado por Jacques Marcovitch, em que se apresenta um resumo das pesquisas sob sua coordenação, no âmbito da disciplina USP/FEA/EAD 5953 “Estratégias Empresariais e Mudanças Climáticas” e acessíveis pelo portal. Finalmente, a terceira seção está fortemente calcada no texto “Economia das Mudanças Climáticas: A Experiência Brasileira com a Utilização de Modelos Integrados para Avaliação de Impactos de MCG”, de autoria de Eduardo A. Haddad e Eliane Teixeira, publicado no volume *Ciência das Mudanças Climáticas e sua Interdisciplinaridade* (Editora Annablume, 2015)

2 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

3 Universidade de São Paulo

na sociedade. Esta pesquisa mostra que a mudança climática é enquadrada como um problema de energia nas mídias brasileiras, embora o setor de energia contribua com uma parte relativamente modesta das emissões do país, se comparado à mudança de uso da terra e agricultura. Considerando também seu papel no desmatamento, a produção de carnes seria uma das principais causas de emissões nacionais. Porém, esse fato não aparece nas discussões sobre as mudanças climáticas no país. Quando o tema “carne” aparece, a sua relação com a problemática ambiental é abordada de forma superficial e com uma conotação que reduz a atenção e a preocupação com o problema. Em outra parte das pesquisas feitas identificamos através de entrevistas com representantes da pecuária nacional uma contradição entre o entendimento predominante no setor, do papel da carne na segurança alimentar, e as conclusões científicas de que a redução da produção de carne bovina é essencial para tal segurança, apontando a importância de mais informações e novos discursos para melhor preparar o país para as ameaças interligadas à segurança alimentar, hídrica e energética. Na ciência, a valorização diferenciada das ciências naturais versus as ciências humanas ou as artes é um problema na medida em que limita o entendimento desses e outros aspectos-chaves que geram as mudanças biofísicas.

O segundo subprojeto deste Tema Integrador, “Economia das Mudanças Climáticas”, foi estruturado considerando duas principais vertentes. A primeira buscou ampliar o escopo dos impactos socioeconômicos, abrindo espaço para discussões qualitativas sobre estratégias de adaptação e mitigação, bem como gerando subsídios para o posicionamento brasileiro nas negociações internacionais que envolvam temas relacionados a mudanças climáticas. A segunda vertente foi de natureza metodológica. Teve como principal objetivo desenvolver metodologias integradas para simular os impactos potenciais das mudanças climáticas globais na economia brasileira, considerando seus diversos setores e dimensões espaciais. Nesse contexto, buscou-se a integração de projeções de modelos climáticos com modelos socioeconômicos, de forma que uma análise integrada dos impactos econômicos desses fenômenos pudesse ser efetuada. A partir daí, políticas de adaptação e mitigação no Brasil também puderam ser simuladas.

Introdução

As dimensões humanas das mudanças climáticas globais (MCG) foram tratadas no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas principalmente em dois de seus subprojetos: a) “Estudos de Ciência, Políticas Públicas e Mudanças Climáticas”, coordenado pela primeira coautora deste artigo, e b) “Economia das Mudanças Climáticas”, conjuntamente coordenado pelos outros dois coautores. Com agendas de pesquisas próprias, ambos os subprojetos se desenvolveram paralelamente, com ênfase na colaboração de seus pesquisadores. Não obstante o caráter pouco integrativo na implementação de suas respectivas linhas de pesquisa, os dois subprojetos apresentam-se como potencialmente complementares, uma vez que têm como principal objeto de estudo, em última instância, políticas públicas que influenciam as (ou são influenciadas pelas) respostas às MCG. Colocam-se como elementos importantes dentro de um eixo integrador de outras iniciativas do INCT para Mudanças Climáticas, com grande potencial para maior aproximação de seus pesquisadores em uma futura rodada de pesquisas com foco mais integrativo das interdisciplinaridades.

O subprojeto “Estudos de Ciência, Políticas Públicas e Mudanças Climáticas” buscou analisar a interface entre ciência do clima e políticas públicas no Brasil. O objetivo foi melhorar a compreensão dos fatores socioculturais, políticos e econômicos que causam emissões de gases de efeito estufa no Brasil e que moldam a propensão e a capacidade da sociedade brasileira de evitar, resistir e adaptar-se aos impactos das mudanças climáticas por meio do desenvolvimento de políticas públicas.

Liderada pelo INPE, a execução deste subprojeto contou com uma ampla rede de pesquisadores, tendo apoiado a inovação na forma de colaboração internacional de pesquisa dentro do projeto Comparing Climate Change Policy Networks (COMPON).

O subprojeto “Economia das Mudanças Climáticas” foi estruturado considerando duas principais vertentes. A primeira buscou ampliar o escopo dos impactos socioeconômicos, abrindo espaço para discussões qualitativas sobre estratégias de adaptação e mitigação, bem como gerando subsídios para o posicionamento brasileiro nas negociações internacionais que envolvam temas relacionados a mudanças climáticas.

A segunda vertente foi de natureza metodológica. Teve como principal objetivo desenvolver metodologias integradas para simular os impactos

potenciais das MCG na economia brasileira, considerando seus diversos setores e dimensões espaciais. Nesse contexto, buscou-se a integração de projeções de modelos climáticos com modelos socioeconômicos, de forma que uma análise integrada dos impactos econômicos desses fenômenos pudesse ser efetuada. A partir daí, políticas de adaptação e mitigação no Brasil também puderam ser simuladas. O núcleo central da modelagem econômica são modelos de equilíbrio geral computável (EGC), capazes de lidar de maneira consistente com a integração com outros modelos.

A execução deste subprojeto requereu a participação de pesquisadores especialistas nacionais e internacionais em áreas afins, liderados pela FEA-USP. A articulação necessária para o desenvolvimento desta área beneficiou-se das atividades do INCT para Mudanças Climáticas, bem como da formação de outras redes de colaboração como a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima) e o Interdisciplinary Climate Investigation Center (INCLINE-USP).

No que se segue, apresentaremos reflexões sobre as agendas de pesquisas dos dois subprojetos a partir de resultados de alguns dos principais estudos realizados. Os trabalhos relatados e analisados tiveram como objetivo abordar a questão do impacto de mudanças climáticas/ambientais globais ou seus desdobramentos sobre variáveis de relevância social, econômica e política. Esses trabalhos realizados para o Brasil ilustram o esforço recente de qualificação e quantificação desses efeitos na percepção, desenho e avaliação de políticas públicas relacionadas ao clima. Enquanto na primeira seção do texto tecem-se comentários com maior ênfase na dimensão sociocultural e política, nas duas partes seguintes a racionalidade econômica permeia a discussão.

Enfoque Global: as agendas de pesquisas ambientais no Antropoceno e as contribuições vitais das pesquisas sociopolíticas

Os desafios ambientais que confrontam a sociedade são sem precedentes em seu escopo e complexidade. O cientista Paul Crutzen inventou o termo “Antropoceno” para ressaltar que a humanidade agora, de maneira coletiva, constitui uma força que é geológica no seu impacto, alterando o funcionamento dos sistemas geofísicos e biológicos do sistema planetário. No topo das ameaças de grande escala estão as alterações climáticas e o

esgotamento e degradação dos recursos naturais dos quais a humanidade depende, não menos a água potável e limpa do que as terras agricultáveis.

A mensagem dos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é clara: ainda temos tempo para prevenir as alterações planetárias mais desastrosas, e temos à nossa disposição muitas opções para reduzir os riscos. No entanto, essa oportunidade tem prazo limitado (Pachauri et al., 2014:151). Esta década pode ser decisiva na história da humanidade, apresentando-se como uma janela de oportunidades para conseguir uma transformação significativa que integre os três pilares da sustentabilidade: a) o bem-estar humano (demonstrativamente correlato à igualdade social e política (Rogers et al., 2012; Wilkinson et al., 2009); b) o funcionamento da economia adequado à maioria; e c) a preservação ambiental a longo prazo (O’Riordan, 2014; Rockström & Klum, 2012; Persson et al., 2011). Conseguir tal transformação requer repensar a (des)ordem econômica atual. Requer buscar um novo paradigma de prosperidade geral, pois o modelo de desenvolvimento de hoje beneficia a minoria das pessoas e somente no curto prazo, visto que destrói gradualmente os ecossistemas e os recursos naturais essenciais para a sobrevivência e o bem-estar humano.

Uma pesquisa simples de imagens no Google usando as palavras-chave “mudança ambiental global” gera milhares de imagens que mostram o planeta (Figura 1). Em algumas, a Terra está envolta em chamas ou com outros efeitos especiais. Em outras, o globo aparece com cores vibrantes indicando as mudanças de temperatura projetadas pelos modelos climáticos computacionais. Muitas imagens mostram incêndios florestais e solos secos e estéreis pelo desmatamento e exposição ao calor e à seca. Uma parte menor mostra espécies de animais ameaçados pelas mudanças em seus ambientes, por causa do clima - principalmente ursos polares, um bom número deles à deriva no mar, em pedaços de gelo soltos. Juntas, as imagens compartilham uma característica notável: a quase ausência de pessoas. Uma pequena minoria das imagens remete a seres humanos, mostrando massas de automóveis presos em engarrafamentos, chaminés, poluição e lixo sinalizando sua existência (Figura 2, primeira linha).

Não aparecem nas imagens as pessoas, instituições, fatores e processos que mais controlam as decisões críticas e propulsionam o problema. Estão ausentes, fora de foco. Somente as suas mãos (brancas) aparecem em imagens, sugerindo seu (des)controle do planeta. As poucas pessoas que aparecem nas imagens geradas – com exceção de cientistas – são geralmente

nativas de países menos desenvolvidos. De pele escura, aparecem na maior parte das vezes nos ambientes que providenciam os recursos naturais necessários para a sua subsistência, tais como florestas ou campos cultivados (Figura 2, segunda linha). Pessoas – a maioria com esse mesmo perfil – também aparecem em paisagens alagadas por enchentes, degradadas, e já privadas de tais recursos naturais (linhas 3 e 4 das imagens). Como um todo, as imagens omitem as empresas e corporações multinacionais que, através do acesso privilegiado ao meio ambiente (Freudenburg, 2005), acumulam riqueza gerando grande parte da poluição e do esgotamento dos recursos naturais não-renováveis (Marques, 2015). Também invisíveis são as pessoas urbanas que consomem a maior parte dos produtos. Sendo assim, as imagens no Google sustentam a crítica de que um grande corpus de trabalhos científicos erroneamente procura soluções para a sustentabilidade no uso de recursos naturais em comunidades simples e de pequena escala (*small-scale community use of ecosystems*) ao invés de investigá-las em um sistema econômico e político globalizado que favorece o ganho financeiro sobre o bem-estar humano (Fletcher, 2012).



Figura 1 – Uma captura de tela mostrando as primeiras imagens geradas em uma pesquisa por “mudança ambiental global” no Google.

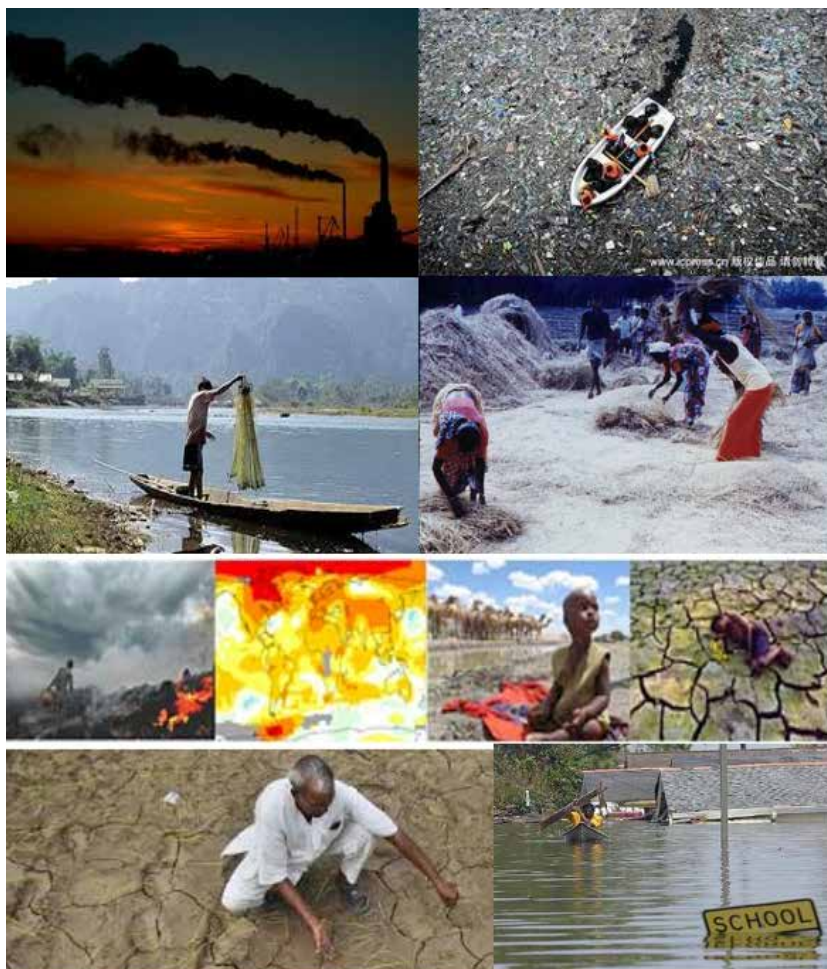


Figura 2 – Exemplos das imagens mais comuns remetendo a seres humanos, geradas pesquisando por “mudança ambiental global” pelo Google.

As imagens captam as temáticas dominantes há décadas nas pesquisas sobre os problemas das mudanças ambientais globais. Como foi colocado por Heide Hackmann junto a outras cientistas sociais recentemente na revista científica *Nature Climate Change* (Hackmann et al. 2014, p. 654), os problemas são causados por seres humanos, os danos provocados afetam seres humanos (e os sistemas de suporte à vida, dos quais dependem), e só podem ser resolvidos por seres humanos. Portanto, escrevem:

é notável que continuemos a falar sobre [esses problemas] em termos da sua natureza biofísica, como questões de moléculas, mudanças na dinâmica atmosférica ou interações dos ecossistemas, como desequilíbrios em ciclos elementares ou meramente como colapso dos sistemas ambientais. Claramente, os problemas que enfrentamos são todas essas coisas. Mas não devemos supor que o público leigo e os formuladores de políticas percebam a relevância desses desafios globais para suas decisões e ações diárias, ou que os seres humanos compreendam as implicações dessas questões em termos de mudanças políticas ou de tomadas de novas decisões mais relevantes. Da mesma forma, não devemos supor que esses enquadramentos irão despertar as paixões daqueles menos fascinados pela ciência, menos inclinados a considerar as consequências no longo prazo ou as complexidades de sistemas, ou menos conscientes da fundamental dependência humana do funcionamento estável dos sistemas naturais.

Os desastres ambientais resultam da interação de três fatores: a) perturbações biofísicas; b) vulnerabilidade das sociedades e dos ecossistemas às perturbações; e c) instituições fracas, incapazes de interromper as perturbações e/ou criar a resiliência social e de ecossistemas face a elas.

As imagens do Google, assim como a colocação de Hackman e colegas, deixam claro que as pesquisas em mudanças ambientais globais têm, até o presente momento, examinado muito menos os problemas institucionais – os sistemas sociopolíticos causadores dos problemas. Pesquisas focadas nesses sistemas serviriam não só para diagnosticar as causas e as raízes sociopolíticas e institucionais dos impactos físicos e sociais, como também poderiam contribuir para o conhecimento essencial que possa guiar tentativas de transformação efetiva, democrática e sábia – conhecimento rigorosamente gerado e julgado por pares pelos processos padronizados para publicação científica.

Sendo assim, continuamos na direção dos cenários desastrosos razoavelmente bem previstos por cientistas, sem muita noção do que pode e deve ser feito para além da pauta das negociações internacionais, as quais estão dando resultados insatisfatórios⁴. Pressupostos errôneos de que as causas

4 Baseado em uma estimativa sobre as mudanças realmente necessárias para apoiar uma transformação para a sustentabilidade ambiental no longo prazo. Veja Park et al., 2008 e Allen & Frame, 2007.

políticas transcendem o escopo de pesquisas e metodologias rigorosas fazem parte do problema (Anderson & Bows, 2012; Newell, 2011; Newell & Paterson, 2010).

Os desafios apresentados pela necessidade de uma transformação para a sustentabilidade requerem muito mais do que soluções técnicas. Requerem mudanças sociopolíticas e culturais profundas e estruturais (Park et al., 2008). Requerem repensar as instituições atuais (Handmer & Dovers, 1996), inclusive as normas dominantes (também na ciência, tal como a valorização diferencial das ciências naturais versus as ciências humanas ou as artes), costumes culturais e o baixo nível e qualidade da participação pública nas decisões realmente importantes (Lahsen, 2016). Modelos promissores testados para tal participação transformadora existem (Atlee, 2012), mas teriam de ser sujeitos a mais experimentação e melhorados para aumentar os efeitos reais (o “*uptake*” das recomendações resultantes) em processos de decisão, e para serem adaptados para as especificidades de cada contexto.

As agências de pesquisa também terão que ser transformadas, como foi colocado recentemente na revista *Nature* (Viseu, 2015). A atual chamada do CNPq, a agência brasileira de financiamento de pesquisas para a área de mudanças climáticas ilustra por quê. Seu edital, emitido em outubro de 2015 junto à Agência Nacional de Águas e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, chama exclusivamente para mais diagnóstico e previsão dos impactos sobre os sistemas naturais e humanos. Faz décadas que temos tais diagnósticos e previsões, aparentemente cada vez mais robustos e precisos. No entanto, a ação permanece inadequada. O pressuposto implícito é o de que mais precisão nas previsões iria gerar as políticas públicas necessárias. Tais pressupostos persistem, apesar de contradizermos as avaliações de analistas da interface entre a ciência e a ação política. Segundo eles, o que mais falta é o melhor entendimento dos sistemas sociais e políticos que fazem com que o *status quo* prevaleça, apesar do potencial de desastre (Allen & Frame, 2007; Marques, 2015; Sarewitz et al., 2000). Inúmeros estudos de caso nas ciências sociais identificam as raízes de desastres socioambientais de larga escala na interação dos seguintes fatores: a capacidade e a inclinação de modificar ambientes sociais e naturais de forma profunda, uma capacidade intensificada pelos avanços de ciência e tecnologia; tendências antidemocráticas, inclusive uma desconexão entre os processos de decisão e as percepções e realidades vividas pelas populações “no chão”; e uma sociedade civil desmobilizada ou incapaz de se impor de forma eficaz (Scott, 1998).

A recente crise hídrica em São Paulo (2014-2015) confirma que previsões técnicas, apesar de necessárias, não bastam em processos de decisão. Anos antes da grande seca de 2014 nos reservatórios da Região Metropolitana de São Paulo, houve avisos claros sobre um possível colapso e o que deveria ter sido feito (Folha de S.Paulo, 2014). Mas os avisos não geraram as ações necessárias para evitar a crise. Da mesma forma, avisos foram dados por cientistas sobre os impactos potenciais nos recursos hídricos causados pelas alterações do Código Florestal adotadas por lei em 2012⁵. Foram até ouvidos, mas ignorados por tomadores de decisão: cientistas brasileiros responsáveis pela elaboração do relatório da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência e Academia Brasileira de Ciências em 2011 trouxeram a luz do conhecimento científico sobre as propostas de mudanças no Código Florestal (Projeto de Lei 1876/99), sustentando que sua alteração seria desastrosa para a preservação ambiental no Brasil. Além disso, concluíram que a alteração não era necessária para melhorar a produtividade da agropecuária brasileira⁶.

Como mostram os exemplos da crise hídrica e da revisão do Código Florestal, as instituições sociopolíticas tendem a resistir ao conhecimento quando isso requer grandes esforços e medidas “inconvenientes” (Handmer & Dovers, 1996; Rayner, 2012). Portanto, analistas concluem, com base em precedentes históricos, que grandes mudanças progressivas geralmente requerem uma mobilização social além das necessárias análises técnicas e de decisões governamentais (Stirling, 2015). E é por isso também que os estudos de processos políticos, econômicos e socioculturais têm de ocupar um espaço de maior relevância nas agências de pesquisas, nacional e internacionalmente, contrariando o padrão visto nas últimas décadas. Dada a importância da preservação dos serviços ecossistêmicos e dos recursos naturais como um todo para a sobrevivência e o bem-estar humano, e também considerando os grandes investimentos financeiros em pesquisas de diagnóstico biofísico, seria racional e prudente dedicar mais recursos em pesquisas explorando como melhorar a absorção do conhecimento científico em políticas públicas.

5 http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Veja também Tundisi & Matsumura (2010).

6 <http://www.planetaverde.org/mudancasclimaticas/index.php?ling=por&cont=noticias&subid=1&cod=2265>.

O Future Earth (www.futureearth.org), um novo programa internacional de pesquisa ambiental, reflete esse reconhecimento ainda em falta no contexto brasileiro e mundial. Sua agenda inclui os diagnósticos dos processos biogeofísicos antrópicos e a adaptação social às perturbações que geram. Mas vai além, ao focar com igual ênfase a questão de como reconciliar a preservação do meio ambiente e o bem-estar humano com o desenvolvimento, a justiça e a equidade social. Como os cientistas citados acima escreveram, não devemos pressupor que o público leigo e os formuladores de políticas públicas percebam a relevância dos desafios ambientais globais para decisões e ações diárias, nem que compreendam as implicações dessas questões e de como fazer para começar, da forma mais sábia possível, a mudar o rumo do país e do mundo num cenário de mudanças ambientais globais e insegurança alimentar.

Uma parte da pesquisa dentro deste subprojeto analisou as dinâmicas socioculturais e políticas limitando o sucesso de esforços internacionais para transformar a agenda de pesquisa de modo a responder melhor aos desafios associados a uma transformação para a sustentabilidade, esforço que resultou no mencionado programa internacional Future Earth. Com base em observação e participação em processos nacionais e internacionais associados, gerou evidências empíricas de como as instituições de pesquisa e de fomento – sob a influência de interesses e normas subculturais na ciência - marginalizam pesquisas sobre as dimensões socioculturais e políticas que geram os problemas biofísicos, dessa forma enfraquecendo e desencorajando a transformação da agenda de pesquisa e da interface entre as pesquisas e as políticas públicas (Lahsen, 2016). A resistência a uma agenda científica transformada, como documentado nesta pesquisa, está reforçada por uma hierarquia social enraizada de valor intelectual, que favorece a ciência “dura” e abordagens quantitativas, especialmente física e matemática. As raízes socioculturais dessas avaliações constituem obstáculos importantes que precisam ser reconhecidos e contrabalanceados para instigar respostas eficazes diante dos desafios da sustentabilidade.

Outra parte da pesquisa revelou o importante papel mediador dos jornais brasileiros na divulgação de informações científicas sobre mudanças climáticas. Analisando a cobertura climática jornais brasileiros entre novembro de 2006 e dezembro de 2008, esta pesquisa mostra que a mudança climática é enquadrada nacionalmente como um problema de energia, embora esse setor contribua com uma parte relativamente modesta das

emissões do país comparado à mudança do uso da terra e a agricultura. A produção de carne é a principal causa de emissões nacionais, mas esse fato não aparece nas discussões sobre as mudanças climáticas no país. Quando o tema “carne” aparece, a sua relação com a problemática ambiental é abordada de forma superficial e com uma conotação que reduz a atenção e a preocupação com o problema.

Pesquisas em outros países chegaram a conclusões semelhantes mas, comparadas a elas, os jornais brasileiros estudados (O Estado de São Paulo e Folha de São Paulo) tiveram a cobertura mais fraca da conexão clima-carne. Esse dado é ainda mais significativo considerando que a maior parte das emissões do Brasil é proveniente da produção pecuária, enquanto a energia é a maior fonte nos demais países estudados: Espanha, Itália, Estados Unidos e Reino Unido. Os estudos sobre a cobertura de jornais na Espanha e na Itália revelaram que 11% dos artigos focados no clima mencionam a carne e/ou a pecuária. Nos artigos centralmente focados⁷ no clima, os jornais da Espanha e Itália abordam o impacto do consumo/produção de carne relacionado à mudança climática/aquecimento global em 1,5 e 3,6%, respectivamente. Um estudo da cobertura de jornais dos Estados Unidos durante o mesmo período que examinamos os jornais do Brasil (novembro de 2006 até o fim de 2008) concluiu que apenas 0,5% dos artigos que mencionam mudanças climáticas abordam a relação carne-clima. Durante o mesmo período, apenas 0,14% dos artigos que mencionam o clima n’O Estado de São Paulo o fizeram. Na verdade, nem mereceriam ser chamados artigos, pois foram apenas duas breves observações que somaram um total de 151 palavras distribuídas por cinco sentenças. Esse resultado exclui dois artigos que *contestaram* ao invés de dar credibilidade a aspectos da ciência que sustentam a preocupação com a pecuária no contexto das mudanças climáticas. Outro aspecto relevante é que as referências ao problema da carne apareceram em um total de 845 palavras espalhadas em outros 11 artigos durante esses pouco mais de dois anos, de forma superficial e dispersas em artigos focados em outros tópicos.

Poucos artigos sobre a conexão clima-carne foram encontrados nos jornais do Reino Unido durante o mesmo período estudado nos Estados

7 Uma distinção foi feita entre artigos cujo foco central foram as mudanças climáticas e artigos nos quais o tema aparece de forma mais marginal (“climate-focused articles” e “centrally climate-focused articles”).

Unidos e no Brasil (Kiesel, 2009), mas apenas um deles (“ONU recomenda comer menos carne para conter o aquecimento global”, *The Guardian*, 7 de setembro de 2008) é mais amplo e completo do que o conjunto de artigos e passagens sobre o assunto n’O Estado de São Paulo de novembro de 2006 até o final de 2008. Diferente de quaisquer artigos publicados n’O Estado de São Paulo, o do *The Guardian* recomenda às pessoas que tenham um dia por semana sem carne nas refeições se quiserem fazer parte das soluções para as alterações climáticas, e explica por que reduzir a carne é uma forma eficaz e particularmente rápida de reduzir as emissões. Para uma apresentação dos dados e análise dos resultados completa, ver Lahsen (2017).

Outra parte da pesquisa avaliou como os atores da pecuária bovina brasileira definem o papel do setor na segurança alimentar em um contexto de re-primarização da economia. Com base em entrevistas semiestruturadas com representantes da cadeia produtiva brasileira, realizadas entre 2013 e 2014, o estudo demonstra uma contradição entre as definições desses atores e as expressas na literatura científica contemporânea. Enquanto a literatura científica aponta cada vez mais a necessidade de reduzir a produção e o consumo de carne para fortalecer a segurança alimentar no longo prazo, os entrevistados apresentam a produção pecuária como essencial para garantir a segurança alimentar em níveis nacional e mundial. Um artigo apresentando os resultados argumenta que o discurso do setor paradoxalmente coloca em risco a segurança alimentar do país (Michellini & Lahsen, 2016).

O conjunto de conclusões resumidas acima revela sérios problemas na interface ciência-política no Brasil, considerando a importância da ciência e dos jornais na formação dos focos de debate e de política pública. “Sem a cobertura da mídia, as probabilidades de que um problema [ambiental] entre na arena do discurso público ou se torne parte do processo político são baixas”. (Kiesel, 2009, p. 247). A visibilidade das questões ambientais nos meios de comunicação é fundamental para inseri-las na arena da interface ciência-política, e os cientistas têm um papel importante nesse processo. Se em ambas as arenas, linhas de questionamento e conhecimento pertinente forem desencorajadas, ou mesmo reprimidas, o país estará menos preparado para os desafios atuais e futuros de saber como minimizar ou evitar escassez dos recursos naturais vitais, entre outras ameaças socioambientais. Cria-se uma bolha onde não é dada a devida importância a informações-chave. Os resultados evidenciam que não devemos assumir que as instituições que governam a investigação, a educação e a comunicação

atualmente são capazes de responder à altura da enorme responsabilidade que lhes cabe de ajudar as sociedades a alterar as suas políticas e práticas em prol da sustentabilidade no longo prazo. A magnitude e a velocidade das transformações sociais necessárias, dada a janela da década atual para reverter tendências perigosas nos níveis socioambientais (Lahsen, 2016) evidenciam a importância de estruturas mais transparentes e responsáveis que possam reforçar a avaliação e o aperfeiçoamento dos seus esforços para “abordar, como uma prioridade, esse problema ‘perverso’ - como reconstruir a civilização humana apontando para uma direção que seja sustentável nos termos mais longos” (Parkin, 2013: 212). A história evidencia que as sociedades têm o potencial de inovação frente às ameaças de mudanças climáticas e escassez de recursos naturais (Defries, 2014), mas requerem lideranças sábias para fugir da tendência padrão de manter o *status quo*, mesmo diante de problemas de larga escala (Handmer & Dovers, 2009).

O Brasil diante das mudanças climáticas: políticas públicas e estratégias empresariais

Esta parte do artigo contém a síntese da linha de pesquisa econômica. O conjunto dos textos a seguir aborda temas voltados para a construção do futuro em nosso país. São temas que enfrentam, no Brasil, momentos desfavoráveis ao seu agendamento. Muitos espaços na sociedade, em 2016, permaneciam bloqueados pela discussão de uma crise que, embora cíclica, mostra-se por demais aguda para esgotar-se em prazo visível.

A história, como sabemos, tem determinado que as crises econômicas ou políticas não duram para sempre e que os países devem manter suas agendas voltadas para o amanhã. Nessas pautas figuram desafios estratégicos, indissociáveis de posteridade, como é o caso das mudanças climáticas e seus riscos. Diga-se mais uma vez, com a ênfase devida, que o nosso presente é o futuro da última Revolução Industrial. Aquela onda transformadora nos legou incontáveis benefícios e, lateralmente, um estoque de gases nocivos que nos cumpre mitigar antes que não haja mais futuro.

Os itens a seguir refletem objetivos alcançados na disciplina “Estratégias Empresariais e Mudanças Climáticas”, ministrada na Pós-Graduação da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da USP, para seus alunos e de outras unidades da Universidade, ao longo de um período iniciado em 2007 e ainda em curso. As questões aqui alinhadas, portanto,

foram discutidas por jovens que vão gerir, nos dias vindouros, um legado ainda em construção. Neste conteúdo analítico, estão os frutos de muitas aulas, *surveys*, seminários, entrevistas, leituras e outras atividades pertinentes nesta desafiadora linha de pesquisa. Cabe registro que todos os textos produzidos neste período podem ser acessados através do portal <http://www.usp.br/mudarfuturo/cms/>.

No último item deste conteúdo, “O Consenso de Paris”, é apresentado um balanço dos resultados obtidos na Cúpula do Clima, realizada entre 30 de novembro e 11 de dezembro de 2015, focando principalmente os compromissos assumidos pelo Brasil. A disciplina, sob coordenação do segundo coautor deste relatório e do professor Isak Kruglianskas, concentrou-se ao longo de 2016 no monitoramento das primeiras ações para levar à prática os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável 2030 acordados em Nova York em setembro de 2015.

Projetos sustentáveis de empresas no Brasil

A questão ambiental permaneceu longamente em plano inferior ao que sempre foi ocupado por suas determinantes políticas e científicas. O Protocolo de Kyoto contribuiu para modificar o quadro, alinhando todos os aspectos em plano equivalente. Impondo limites às emissões de gases poluentes, o pacto multilateral fortaleceu compromissos éticos em relação ao bem-estar das gerações futuras e inspirou modelos para a medição da eficiência dos países ante o fenômeno do aquecimento.

O debate que se seguiu à entrada em vigor do Protocolo de Kyoto propiciou reveladores estudos de custo-efetividade. Dentre estes, avulta o Stern Review, elaborado pelo Nicolas Stern (2006) e numerosa equipe. Trata-se de documento emblemático, unindo pela primeira vez grandes economistas do mundo a eminentes quadros da ciência, na denúncia dos riscos de uma hecatombe ecológica.

Repercutiu bastante o cálculo, divulgado naquele relatório, de que os custos das alterações climáticas equivalem a uma perda de 5% do PIB global a cada ano, ao passo que os custos anuais da redução de emissões calculados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) chegam a 1% do mesmo PIB. Ganhou inusitada oportunidade o que podemos chamar de econometria do desenvolvimento sustentável. Stern e equipe definem as mudanças climáticas como um desafio inédito para a

economia, representando “a maior e mais abrangente falha de mercado jamais vista”. É consensual que os hábitos de consumo responderam, em grande parte, pela intensificação deste fenômeno que assusta o planeta.

O estudo liderado por Stern teve o mérito de associar modelos quantitativos a ideias mestras para a compreensão da economia ambiental. A principal delas aponta os custos de mitigação de gases, agora e nas próximas décadas, como investimentos que terão retorno altamente compensador no desenvolvimento futuro de cada país. Os proveitos das ações imediatas ultrapassam, de longe, os custos exigidos. Embora ainda não saibamos tudo sobre mudanças climáticas, o que percebemos já é suficiente para entendê-las como graves fatores de risco econômico.

Um estudo brasileiro, “Economia das Mudanças Climáticas no Brasil” (Dubeaux; Margulis; Marcovitch, 2006) mobilizou pesquisadores, economistas e representantes da sociedade civil, em busca de uma avaliação realista e confiável. Paralelamente, fluíam as conexões, nem sempre adequadamente sinérgicas, entre o universo corporativo, as universidades e outros centros avançados de pesquisa. Uma referência para isso foi a modernização do agronegócio. A Embrapa contribuiu fortemente para o desenvolvimento de culturas adaptadas a climas adversos. Desenhava-se uma tarefa comum, não inteiramente cumprida pelo governo central e pelos produtores de cana-de-açúcar, visando à ampliação do mercado mundial de agroenergia. No auge da visibilidade do etanol, os preços da cana decresceram em torno de 7%, demonstrando que não houve escoadouros internacionais para esse biocombustível. A exclusão do etanol brasileiro da lista de 43 produtos ambientais com isenção ou redução de tarifas, defendida em Bali pela União Europeia e Estados Unidos, demonstrava um longo caminho diplomático a percorrer.

Apesar dos desafios não suficientemente respondidos pelo Estado e pela sociedade brasileira, inaugurava-se no país uma era de crescente responsabilidade social por parte dos empreendedores. Hoje, com todo reconhecimento pela ação pioneira dos militantes, não há como fortalecer o ambientalismo, em nosso tempo, sem o apoio dos agentes econômicos. Adotando tecnologias limpas, desenvolvendo parcerias em políticas públicas e investindo em projetos próprios, grandes corporações, que eram parte do problema, tornaram-se parte da solução. O lucro, que sempre teve grande influência na criação de riquezas, é reconhecido como força decisiva da sustentabilidade.

As florestas públicas, além de frear ações ilícitas e predatórias na Amazônia, induzem a exploração sustentável de 13 milhões de hectares. O governo da União, mantendo a titularidade das terras, é o poder concedente. Grandes empresas, vinculadas à Associação dos Produtores Florestais Certificados, atuam como concessionárias para desenvolver atividades produtivas que podem gerar cerca de 140 mil empregos diretos. ONGs de grande representatividade, como o Imazon, apoiam este novo e promissor mecanismo de mercado.

O Banco Mundial, sem prejuízo do financiamento que proporciona aos projetos públicos em infraestrutura no Brasil, dá prioridade total aos programas ambientalmente satisfatórios. Relatórios da instituição destacam a harmonia entre crescimento e desenvolvimento social. Programas apoiados pelo BIRD (Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento) localizam-se principalmente nas regiões Norte e Nordeste. Na Amazônia, o Banco exige que todas as iniciativas financiadas contemplem a proteção das florestas e a geração de renda.

Até o setor bancário privado, reconhecidamente ortodoxo em suas práticas, inclina-se por novos paradigmas alinhados com a economia verde. Em abril de 2016, Luiz Fernando do Amaral, alto executivo de importante multinacional holandesa de serviços financeiros publicou no jornal *Valor Econômico* (Amaral, 2016) uma instigante reflexão sobre o redirecionamento do crédito ofertado a investidores que se engajam no desenvolvimento sustentável. Ele sugere aos bancos que identifiquem os líderes empenhados em atividades substantivamente inovadoras antes de incentivá-los com o financiamento pretendido. Assim, por exemplo, uma indústria que já opera predominantemente com energia renovável terá prioridade sobre outra apenas interessada em adquirir painéis solares. Ou seja, lembra ele, “beneficiar com o crédito quem já fez o investimento em vez de quem apenas deseja fazê-lo”. O financiamento deve contemplar os que apresentam resultados e não apenas propósitos.

Tanto quanto aos Estados, impõe-se uma ampla sensibilização junto ao empresariado para o entendimento de que o setor produtivo é tão vulnerável às bruscas variações climáticas quanto os indivíduos, aglomerações urbanas, biomas, oceanos e florestas. A ação econômica, ensina Alain Touraine, já não pode ser mais animada pela confiança no progresso infinito, e sim pela noção clara dos limites e dos riscos (Touraine, 1997).

Mitigação de gases de efeito estufa: a experiência setorial e regional no Brasil

É necessário, além de uma correta visão da realidade brasileira e do cenário internacional, o conhecimento da dinâmica setorial ou da mesoeconomia para que se estimule a competitividade setorial. A inovação tecnológica e organizacional e o equilíbrio, nos resultados, da qualidade e da quantidade, exigem mais do que ações empresariais isoladas. Impõe-se uma articulação dos elos da cadeia setorial. Esses elos incluem a obtenção das matérias-primas, pré-produção, produção propriamente dita, distribuição de produtos, prestação de serviços de apoio à comercialização, consumo, descarte final e término do ciclo de vida dos produtos.

Por isso, os estudos das cadeias produtivas devem proporcionar uma compreensão maior do comportamento dos seus vários componentes e das tendências dos mercados. Em 2008, a disciplina de Pós-Graduação Estratégias Empresariais e Mudanças Climáticas, da Universidade de São Paulo, buscou trabalhar nessa linha, focando entre outros na cadeia da carne bovina no Brasil; na cadeia da siderurgia brasileira; na cadeia de papel e celulose no Brasil; no setor elétrico brasileiro; e nas experiências sustentáveis na região amazônica.

Para cada um dos setores foi proposto um roteiro que se segue: a) Sistemas produtivos do setor; b) Diferentes atores do setor e os processos de governança; c) Estado do conhecimento disponível sobre o setor e os diferentes atores dos sistemas produtivos; d) Gargalos que dificultam a competitividade e a sustentabilidade, com ênfase na redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE); e) Metas e instrumentos que almejam conciliar competitividade e sustentabilidade, com ênfase na redução de emissões de GEE; f) Indicadores para monitoramento e avaliação desse desempenho; g) Responsabilidades entre o setor público e o setor privado para o cumprimento de metas de competitividade e sustentabilidade. Trabalhou-se com a perspectiva da fundamentação teórica e da indispensável narrativa dos casos escolhidos.

Na abordagem da cadeia de carne bovina, foi evidenciado não haver antagonismos entre o desenvolvimento de um setor econômico e os projetos sustentáveis de produção que venham a ser implementados. Foram estudados, isoladamente, os casos do Grupo Bertin, Carrefour, Pão de Açúcar e o Wal-Mart Brasil, com ênfase nas medidas internas que esses agentes vêm adotando no campo da gestão ambiental.

Na pecuária de corte nacional, apesar dos atrasos percebidos, ganhos de produtividade influíram na mitigação de GEE, especialmente o gás metano. Prevalece, todavia, o caráter extensivo na criação de gado, com um tempo médio de três anos para o abate, enquanto nos países que adotam processos intensivos esse prazo é de apenas dois anos. O estudo de caso apura, na cadeia bovina, um desnível técnico entre a pecuária e os frigoríficos brasileiros, estes já ocupando a liderança internacional, enquanto os nossos criadores ainda figuram no plano das potencialidades e oscilam de posição. O rebanho bovino também se distingue negativamente como o maior emissor nacional de metano, respondendo por 76% das emissões deste gás e contribuindo para o desmate na Amazônia, mesmo com as ações preventivas e repressivas em andamento.

Na cadeia de suprimento de carne, identifica-se um excesso de informalidade nas transações e o baixo nível qualitativo dos produtos. Já se nota, porém, um padrão de excelência em contínua evolução para o fornecimento ao mercado externo e às grandes cidades brasileiras. Estima-se uma redução ainda maior interna dos açougues em cidades menores, que serão substituídos por supermercados.

Temos o maior rebanho mundial de corte e ocupamos o segundo lugar de produção. A adoção de práticas intensivas e programas de aprimoramento genético elevaram a produtividade em vários estados. Uma demanda internacional mais exigente vem suscitando inovações tecnológicas e melhores condições sanitárias na criação. Há que superar, porém, fatores que não permitem ao Brasil chegar a mercados de carne *in natura* como os Estados Unidos e Japão, bem como vencer facilmente os obstáculos, da mesma natureza, criados pela União Europeia.

Para mitigar o volume de gases de efeito estufa o setor pecuário terá de melhorar a gestão das pastagens mediante dietas e aditivos nutricionais adequados e desenvolvimento das práticas de manejo animais. Predomina, entretanto, a ideia de que o aumento de produtividade é o melhor caminho para isso.

No setor siderúrgico, indo além de um diagnóstico abrangente das limitações das indústrias no setor ambiental, propõem-se formas concretas para superá-las. O parque siderúrgico brasileiro, no que diz respeito às emissões de GEE, ainda incorpora segmentos que não praticam a reciclagem do aço por falta de sucata, vários usando ainda o carvão mineral e outros, embora funcionando com carvão vegetal, extraíndo-o de matas

nativas, o que contribui, de forma indireta, para emissões de CO₂, via desmatamento.

A linha propositiva do estudo de caso levanta a hipótese de uma reciclagem espelhada no setor de alumínio. Neste, as indústrias da cadeia produtiva se associaram para a viabilização de usinas de reciclagem e criaram um modelo de coleta geradora de eficiência, empregos e renda. Propõe-se, então, que grandes siderúrgicas e sucateiras, devidamente articuladas, adotem o mesmo procedimento. A iniciativa beneficiaria o sistema de tratamento de lixo sólido e mitigaria as emissões de CO₂ na reposição de aço no mercado.

Papel e celulose, originários do eucalipto reflorestado, são produtos emblemáticos da sustentabilidade no Brasil. O Brasil lidera o ranking mundial da produção de celulose a partir de fibra curta. Outros grupos de significativo destaque no setor são Klabin, Suzano e Votorantim. No caso do papel há quatro potentes conglomerados: novamente Suzano e Votorantim, além do International Paper e da Ripasa. Detalham-se, no estudo, (Marcovitch, 2009) as peculiaridades do processo produtivo no setor e são descritas oportunidades inovadoras. Embora reconhecendo importantes resultados na mitigação de GEE, recomendam-se medidas inovadoras como a carbonização e fixação de biomassa aos solos, melhor utilização de rejeitos para a geração de energia, uso de combustível limpo no transporte e até mesmo a fixação de metas setoriais.

A abordagem sobre o setor elétrico brasileiro fundamenta-se na premissa de que há espaço para a gestão ambiental sem grandes custos e contabilizando aportes como investimentos, em face de comprovado retorno econômico. Nessa perspectiva, é demonstrado que a redução de desperdícios pode coexistir com o atendimento à demanda de eletricidade. Dois casos, um no Brasil e outro no estado da Califórnia, EUA, são estudados, após criteriosa descrição do perfil de todo o setor elétrico em nosso país, a composição de sua matriz energética, possibilidades de expansão, volumes de emissões atuais e projetados, ações concretas para a redução de desperdícios.

O Aterro Sanitário Bandeirantes, voltado para a geração de eletricidade a partir do lixo, foi uma iniciativa pioneira no Brasil. Destina-se à mitigação do gás metano causado pela decomposição de resíduos orgânicos. Trata-se de usina termelétrica, instalada em São Paulo, gerando um total de 22 MW. Tal volume, sublinha o estudo, identifica o aterro como a mais potente central termelétrica, movida a biogás, em todo o mundo, e única no

Brasil. A sua capacidade é suficiente para gerar energia para o suprimento de quatro grandes shopping centers durante 24 horas consecutivas.

A experiência californiana é apresentada como paradigma para o encaminhamento da questão da eficiência energética no Brasil, em particular no caso do consumo de eletricidade. Conseguiu-se ali, vistos de forma abrangente os programas mencionados, um consumo elétrico per capita 40% abaixo da média nacional, sem prejuízo do desenvolvimento econômico. Algumas medidas concretas foram apontadas para aplicação no Brasil: racionalização do consumo pela via de incentivos; repotenciação de usinas antigas; redução de perdas na transmissão e distribuição da eletricidade; melhoria da eficiência em motores, lâmpadas, chuveiros, refrigeradores e condicionadores de ar; e uma nova estrutura de remuneração das concessionárias.

O estudo final (Marcovitch, 2009) aborda uma questão de largo impacto no país e no mundo. O seu foco é o conjunto de práticas sustentáveis do setor madeireiro na Amazônia e seu controvertido papel no desmatamento regional. São também examinadas, com isenção e objetividade, ações governamentais no mesmo cenário.

É feita uma avaliação (Marcovitch, 2009) do panorama socioeconômico no grupo de estados que compõem a Amazônia brasileira, seus contrastes, cultura comum, singularidades e conflitos. Levanta-se, com base em respeitáveis fontes técnicas, o papel das florestas tropicais como sumidouros de CO₂, em contraponto ao discurso dominante, que foca somente os altos volumes de emissões para a atmosfera. Os autores associam-se à tese de que as queimadas também refletem uma questão social, na medida em que mobilizam mão-de-obra sem alternativas de remuneração. Essas alternativas começam a surgir e configurar formas cada vez mais úteis no combate ao desmatamento. O setor madeireiro não clandestino ressentem-se da demora na aprovação governamental de projetos de manejo sustentável, enquanto a produção de origem ilícita supre, no mercado interno, a demanda não atendida pelas operações regulares.

As empresas e a legislação verde no Brasil

A transição para uma economia verde exige, na esfera governamental, políticas públicas e regulações específicas. Impõe também ao setor produtivo a busca de uma nova cultura interna, voltada para ações inovadoras de

sustentabilidade. Será decisivo, para isso, um bom nível de conhecimento empresarial sobre a legislação que rege o tema no Brasil, com seus incentivos e eventuais sanções. Esse domínio, uma vez assimilado nos departamentos jurídicos das empresas, expandir-se-á por toda a estrutura decisória e outras áreas das corporações. Em consequência, um diferenciado modelo de gestão pode revelar oportunidades antes não percebidas pelo administrador desatento ao fenômeno das mudanças climáticas – um dos mais fortes desafios que se apresentam aos líderes do século XXI, onde quer que exerçam a sua liderança. Evidenciamos, então, o surgimento de um novo ambientalismo, não mais ativado exclusivamente pela militância, mas incorporando as chamadas forças de mercado.

Os estudos realizados (Marcovitch, 2010-2011) decorrem de uma acurada análise da legislação vigente para mudanças climáticas no Brasil, a partir da Lei Federal e das Leis Estadual e Municipal regulamentadas em São Paulo.

Cinco pontos constituíram o foco dos estudos formulados nas seguintes questões:

- Quais as principais leis em vigor que pautam a discussão sobre a redução de emissões de gases de efeito estufa?
- Quais as metas previstas nessa legislação?
- Qual é a estrutura de governança na legislação em vigor nas esferas federal, estadual e municipal?
- Quais os incentivos e sanções previstas nessa legislação?
- Quais os fundos e programas disponíveis às empresas interessadas na redução de emissões de gases de efeito estufa?

O escopo básico dessa abordagem inicial foi difundir e tornar mais claros alguns conteúdos de quatro diplomas legais que passaram a vigorar entre 2009 e 2010: Lei Federal nº 12.187 de Dezembro de 2009 - Política Nacional das Mudanças Climáticas; Lei Estadual nº 13.798 de Novembro de 2009 - Política Estadual de Mudanças do Clima – SP; Decreto nº 55.947 de 24 de Junho de 2010- Política Estadual de Mudanças do Clima – SP; Lei Municipal nº 14.933 de Junho de 2009 - Política Municipal de Mudança do Clima – SP.

Os estudos realizados identificaram que o empresariado tem dificuldades para lidar com o tema por falta de uma difusão mais homogênea da legislação pertinente. Por exemplo, são de acesso restrito aos agentes

econômicos os cálculos utilizados para a composição do *quantum* das metas fixadas. Isso, evidentemente, induz uma grande assimetria nas informações.

O benéfico acirramento da competitividade empresarial sugere às corporações um domínio maior do tema no plano jurídico e bem planejados investimentos em tecnologias recentes, a partir do acesso aos recursos criados por novas leis e mecanismos. Sugere, ainda, atenção aos efeitos das negociações internacionais sobre o clima com suas oportunidades e seus desafios.

É fundamental que a regulamentação dos procedimentos em nível federal e estadual produza resultados concretos no correr desta segunda década. Para a formação de um sólido mercado de carbono impõe-se, além da fixação de metas, a quebra do imobilismo quanto à redução de emissões por desmatamento e degradação (REDD+), uma demanda sustentada por todos os governadores da Amazônia e pelas forças do mercado.

A governança das políticas públicas, em qualquer esfera, deve cuidar para que as decisões fiscais estejam em linha com as ações para mitigação de emissões no setor empresarial, de modo a não frustrar os investidores por inércia burocrática ou falta de recursos para tal fim. Outra precaução, dentro do aparelho de Estado, deve ser uma avaliação periódica das leis reguladoras para medir sua eficácia e adequação com a passagem do tempo.

No contexto da produção, os empresários devem atentar para a atualização, também periódica, dos fundos relacionados com as mudanças climáticas. Convém fortalecer os corpos técnicos das empresas com a contratação de profissionais cuja formação lhes permita lidar, agilmente, com atividades vinculadas aos primeiros passos na direção de uma economia de baixo carbono.

Para finalizar esta abordagem condensada e inicial da legislação sobre mudanças climáticas em relação às obrigações corporativas, cabe reiterar os comentários já feitos sobre a relatividade implícita nos mecanismos jurídicos. É certo que toda lei, por menos que pareça, tem uma forte ambição transformadora. Mas é à realidade que cabe decidir o verdadeiro alcance de suas disposições. No caso aqui avaliado há um diferencial. Tratamos de uma legislação que contém mais incentivos do que sanções, e isto redobra o seu poder de influir no comportamento social.

As leis, no cenário brasileiro das mudanças climáticas, assumem um caráter nitidamente pedagógico. Podem ensinar aos dirigentes de empresas

um novo modo de pensar a natureza. Assim, devidamente motivados e informados, preservando sua missão empreendedora e seu legítimo propósito de lucratividade, os empresários poderão contribuir decisivamente para encurtar o caminho que ainda nos separa de uma economia sustentável.

Inovação e tecnologias de baixo carbono no Brasil

Os estudos realizados (Marcovitch, 2011) abordam vários casos de tecnologias inovadoras para a sustentabilidade no empreendedorismo privado. Além da descrição de processos, é analisada a sua viabilidade econômica e eventual utilização em grande escala. Abaixo, estão listados, os temas estudados:

- Inovações tecnológicas brasileiras capazes de contribuir para a redução das emissões de CO₂ dos veículos automotores.
- *Smart Grid* e potencial de contribuição às mudanças climáticas no Brasil: um estudo da tecnologia Plataforma Hemera.
- A tecnologia flex na indústria como redutora da emissão de gases de efeito estufa.
- A aplicação da tecnologia multicomcombustível no transporte aéreo.
- Inovação tecnológica no setor de aterros sanitários: o caso do evaporador de percolado (chorume) com a queima de biogás.

Embora não abordada pelos alunos envolvidos nessa pesquisa, cabe inserir aqui uma reflexão, como ponto de partida para outro momento em nosso projeto. Refiro-me às possibilidades do gás natural na transição para a economia de baixo carbono. Além de uma redução das emissões de CO₂ em comparação a outras energias fósseis, o gás natural, quando utilizado para combustão, não emite partículas prejudiciais à saúde.

Os estudos realizados demonstram, em boa parte, uma promissora tendência em trabalhos acadêmicos e, de modo geral, nos estudos que apresentam a sustentabilidade como eixo temático. Vem acontecendo, nesse segmento do saber, e deveria acontecer com maior celeridade, uma bem-vinda transição da retórica, útil, mas insuficiente, para as métricas verificáveis de sustentabilidade.

No universo dos negócios, aprofunda-se a noção de responsabilidade com uso de informações aos consumidores quando se anunciam determinados produtos e mesmo a imagem de uma corporação. Prevalece hoje no

meio corporativo mundial uma mobilização para preencher as lacunas informativas e as omissões na transmissão de dados à sociedade. O IIRC (International Integrated Reporting Committee), a poderosa câmara de lideranças empresariais e da sociedade civil, elegeu os seguintes princípios básicos do uso de indicadores em qualquer documento: relevância e verificação; acessibilidade às informações; compreensão e clareza; e comparabilidade e consistência.

No mundo inteiro a questão emerge com força e apresenta, em alguns casos, desvios de conduta. Há uma expressão em inglês, *greenwashing*, usada para designar empresas que tentam lavar a imagem anunciando práticas “sustentáveis”, que mascaram ações contra o meio ambiente. É comum, nesses casos, o financiamento de ONGs superficialmente envolvidas em atividades ecológicas, enquanto a empresa apoiadora mantém atividades de largo e negativo impacto ambiental.

No Brasil, em agosto de 2011, o Conselho Nacional de Autorregulamentação Publicitária (CONAR) anunciou princípios indeclináveis na veiculação de anúncios que têm por apelo a sustentabilidade ambiental:

- Veracidade – as informações ambientais devem ser verdadeiras e passíveis de verificação e comprovação;
- Exatidão – as informações ambientais devem ser exatas e precisas, não cabendo informações genéricas e vagas;
- Pertinência – as informações ambientais veiculadas devem ter relação com os processos de produção e comercialização dos produtos e serviços anunciados;
- Relevância – o benefício ambiental salientado deverá ser significativo em termos do impacto total do produto e do serviço sobre o meio ambiente, em todo seu ciclo de vida, ou seja, na sua produção, uso e descarte.

Esses princípios enfatizam que a métrica é um compromisso público, a inovação uma ferramenta para cumpri-lo. Em complementaridade, métricas e inovação otimizam a eficiência e a imagem da empresa, legitimando a sua apresentação ao mercado como agente da sustentabilidade.

A adoção nas empresas de políticas de sustentabilidade faz parte de uma estratégia moderna e deve levar em conta seis parâmetros na fabricação de qualquer produto. A produção sustentável de um caminhão, de um eletrodoméstico ou de uma resma de papel terá que mostrar qual foi a

redução do consumo de energia por unidade produzida, o corte nas emissões de gases de efeito estufa, a diminuição no consumo de água e a redução de dejetos. A unidade se refere a uma unidade de produção de uma empresa, ou seja, um produto. Também há relação com a evolução do Produto Interno Bruto (PIB) de um estado ou país. Os outros dois indicadores são o aumento do número de patentes e o aumento da cobertura florestal.

Para que o Brasil possa influenciar a agenda ambiental mundial ele deverá dar um salto na inovação tecnológica. O fato de ter cobertura vegetal e riquezas naturais não vai nos garantir ser um país importante neste século, se não tivermos um diferencial significativo na inovação tecnológica. Nesse quesito, a despeito de recentes avanços, o Brasil vem perdendo para a China e a Índia. (Marcovitch, 2011)

Atualmente, o uso de indicadores sustentáveis é voluntário e as empresas escolhem o que querem divulgar em seus balanços. Essa tendência mudará. As novas regras do CONAR levarão toda empresa que se gabar de ser sustentável em suas peças publicitárias a provar quais os diferenciais que as tornam verdes.

O ambiente para inovação não depende apenas de governantes que adotem medidas periódicas de estímulo ao setor privado, nem de empresários com um perfil modernizador. Sem estabelecermos o peso de cada um dos fatores, recordemos aqueles principais mencionados em vários estudos pertinentes. A lista é extensa, mas cabe reproduzi-la: Proteção da propriedade intelectual; estabilidade política do país; ambiente de regulamentação; quadro institucional; estabilidade macroeconômica; abertura ao investimento estrangeiro; regime fiscal; flexibilidade do mercado de trabalho inclusive na contratação de estrangeiros; abertura para influência de outras culturas; atitude proativa com relação ao avanço da ciência e acesso a financiamento dos investimentos.

Vários fatores podem tornar ainda mais favorável e estimulante o ambiente para a inovação no Brasil em prol da sustentabilidade. Podemos filtrá-los nas seguintes direções:

- Adotar métricas de sustentabilidade claramente fixadas e que assegurem sua rigorosa verificação a todos os investidores, em especial aqueles que se beneficiem de recursos públicos.
- Valorizar nos currículos das escolas técnicas e das faculdades de engenharias os processos de inovação que almejam o desenvolvimento de produtos e processos redutores de GEE.

- Aprimorar os processos de registro de patentes no Brasil e elevar as compensações aos pesquisadores e inventores que obtêm o registro de patentes para processos e produtos redutores de GEE.

Quando se trata de fixar objetivos em projetos sustentáveis, a métrica não é aposta e muito menos declaração de intenções. Deve relacionar-se, nesses casos, a todas as variáveis que cercam o projeto. Depois, para medir os resultados, ela incorpora os mesmos fundamentos utilizados para fixá-las. A transparência deve ser um procedimento indeclinável. O mesmo se dá na composição e caracterização informativa de um produto.

O desatrelamento entre crescimento econômico e uso dos recursos naturais é pré-condição para um futuro sustentável. Nesse quadro, certas regras tácitas que priorizam o curto prazo, embora comuns e até seculares na rotina dos negócios, perdem completamente o sentido na verdadeira economia verde. Vive-se, finalmente, a transição entre a retórica documental e a métrica. A sustentabilidade percorreu longo caminho até ganhar uma nova identidade. Não é lícito anular essa conquista.

Certificação e sustentabilidade ambiental

As políticas ambientais ainda eram apresentadas com um viés predominantemente qualitativo, omitindo indicadores que quantificassem a realidade a ser transformada e metas para alcançar objetivos. Vinha sendo quase uma conduta padrão nas declarações das Conferências das Partes o recurso às subjetividades do fraseado, em prejuízo de compromissos ou formas para cumpri-los.

Nesse embate entre métricas verificáveis e jogos de palavras, a sociedade organizada ainda hoje vem escolhendo sempre o caminho da quantificação nas propostas. Orienta-se por indicadores, não por exortações. Os procedimentos que gera são muitas vezes imperfeitos, carecem de revisão ou novas metodologias, mas inegavelmente produzem eficácia maior que os discursos repetitivos.

Em contraponto ao apego da governança de Estado pelo artifício da eloquência nas questões ambientais, a sociedade civil vem tentando formas verificáveis de controle nesta área. Nesse sentido, as iniciativas analisadas foram:

- A Certificação FSC - Forest Stewardship Council

- ISO - International Organization for Standardization 14001 e a Sustentabilidade
- Global Reporting Initiative – GRI
- ISE - Índice de Sustentabilidade Empresarial
- Análise dos Indicadores Ethos
- CDP-Carbon Disclosure Project

Expostos de forma sumária os instrumentos de informação mais conhecidos no âmbito da gestão ambiental corporativa, cabe perguntar se é justo fomentar comparações, nesta matéria, entre as ações do governo e da sociedade civil. Entendemos que a resposta é um sim, com ênfase, pois a sustentabilidade constitui dever a repartir-se por igual entre todos para com todos. Difícil estabelecer fronteiras que separem, no caso, agentes públicos e privados.

A nenhuma esfera pode ser atribuída infalibilidade em suas métricas. Foram descritas as falhas mais visíveis nos indicadores em uso pelas empresas. Isso certamente não os invalida, mas exige um aprimoramento que, por via de consequência, assegure maior credibilidade às informações.

Pioneirismo e sustentabilidade na Amazônia

Grandes corporações brasileiras estão demonstrando que a prática sustentável, além de legítima, é uma boa opção estratégica. Os *cases* expostos e outros já apurados ou em andamento na linha de pesquisa *Para Mudar o Futuro* (Marcovitch, 2008-2017), praticada no âmbito da USP, evidenciam que, na primeira década do século XXI, muitas empresas no Brasil davam passos de grande alcance na direção de modelos cada vez mais limpos de produção. Outros exemplos, no plano corporativo, demonstram hoje procedimentos novos e promissores. Podemos lembrar alguns pactos já celebrados, que seriam impensáveis no século passado, quando ambientalistas e empresários defrontavam-se em conflitos perigosos e politicamente insanáveis.

O grupo Agropalma, totalmente nacional, dispõe do mais extenso e moderno complexo industrial voltado para o processamento do óleo de palma. Está presente em todo o ciclo produtivo, desde o cultivo até o refino do óleo, gordura vegetal e margarina. Possuía, no ano da pesquisa, 4.500 funcionários e registrava um faturamento anual de aproximadamente R\$ 650 milhões. Numa área de 107 mil hectares, usava 39 mil para cultivo e

extração, destinando cerca de 64 mil a reservas florestais monitoradas. Já investira na Amazônia, desde sua fundação, US\$ 250 milhões.

A partir de 1994, apostando na agricultura orgânica e deixando de utilizar insumos químicos, a Agropalma deu uma guinada em sua cultura de gestão e passou a investir em processos inovadores, reforçando a competitividade e conquistando, além de resultados comerciais, vários certificados de desempenho sustentável. Registre-se que a tonelada de óleo certificado superava de 35% a 40% o preço do óleo comum.

A Agropalma, empresa mais certificada do setor, incluía entre os fatores para sua performance a existência de um corpo gerencial inovador, com idade entre 29 e 42 anos. Outro diferencial positivo era que o seu plantio localizava-se em área já degradada pelo desmatamento, queimadas e pastagens. Mais outro, ainda, a energia consumida em suas atividades vinha do reaproveitamento das próprias fibras vegetais.

O estudo (Marcovitch, 2009-2013) lista 15 ações de gestão ambiental mantidas pela empresa. Entre estas, o monitoramento periódico e tratamento de efluentes líquidos gerados em todas as atividades das indústrias de extração de óleo bruto e da refinaria; monitoramento periódico da quantidade e qualidade das águas superficiais (rios e igarapés) e subterrâneas (poços de água para consumo humano, industrial e lençóis freáticos) de abrangência do grupo Agropalma; construção de aterro controlado para resíduos não perigosos e domiciliares do grupo Agropalma e das vilas de entorno; reciclagem de mais de 60% dos resíduos sólidos gerados em todas as atividades; reaproveitamento de fibras vegetais e cascas de nozes na geração de energia, contribuindo na redução de consumo de combustível fóssil; reflorestamento de mais de 12,5 mil hectares de áreas degradadas; preservação de todas as matas ciliares que protegem os cursos d'água; e planos de emergências ambientais estendidos a todas as áreas, incluindo treinamentos e simulados periódicos.

Operando no âmbito do chamado Arco do Desmatamento, a nordeste do Pará, próximo do Maranhão (onde somente 23% da floresta estão preservados), a empresa fazia um contraponto à cultura predatória ali dominante. O inventário de suas iniciativas sinalizava uma contribuição relevante à redução de gases de efeito estufa, embora a empresa não tivesse adotado o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), em face da instabilidade nas regras e incertezas quanto ao futuro desse mercado.

Outra empresa estudada, (Marcovitch, 2009-2013) a Beraca, empresa familiar então com 53 anos de história, produz ingredientes naturais extraídos da floresta e destinados ao mercado de cosméticos, medicamentos e fragrâncias. Opera de acordo com os padrões internacionais de certificação e seus fornecedores são comunidades extrativistas locais. Exporta seus produtos para mais de 40 países e tem unidades instaladas em Ananindeua (PA), São Paulo (SP), Santa Bárbara do Oeste (SP), Anápolis (GO) e Itapessuma (PE).

Em 2001, a companhia estudada implantou nova proposta de gestão sustentável e modelos produtivos ditados pelo princípio da inovação. Foi naquele ano que comprou parte da Brasmazon, empresa ligada à incubadora da UFPA, e deixou de ser apenas fornecedora de outras indústrias. Passou a desenvolver sua própria linha de ingredientes. Adquirindo matéria-prima colhida por cerca de duas mil famílias, beneficia derivados de açaí, andiroba, urucum, castanha do Pará, buriti, copaíba, cupuaçu e outros que são usados em perfumaria e cosméticos.

A Beraca é, certamente, a maior experiência de aproveitamento industrial da biodiversidade amazônica, em bases comprovadamente sustentáveis. Contribui para a sensibilização ambiental das populações locais de baixa renda, que são mobilizadas para a colheita não madeireira, com remuneração melhor do que a obtida no corte ilegal de árvores.

Na entrevista por escrito concedida pela empresa às jovens pesquisadoras da FEA/USP, é contado que, em 1998, o presidente da corporação visitou a região amazônica em busca de parcerias para implementação de seu projeto sustentável. A oportunidade surgiu com a desvalorização do real para o dólar e uma consequente chance de exportar produtos da Amazônia para o mercado externo de cosméticos. Isso demonstra como empresas competitivas, adotando tecnologias inovadoras, podem aproveitar as mudanças cíclicas da economia e obter lucros. Foi declarado, ainda, com um pleno conhecimento de causa, que o mercado de produtos naturais e orgânicos “é o que mais cresce no mundo”. Endossava-se, desta forma, constatações publicadas por vários estudiosos da economia amazônica.

A relação do sistema produtivo brasileiro com o meio ambiente é muito peculiar e extremamente diversa da que se constata em países desenvolvidos. O primeiro traço distintivo é que, em nosso país, os transportes e economia lícita respondem, juntos, por apenas um quarto das emissões de GEE, enquanto as queimadas e os desmatamentos, principalmente na

Amazônia, lançam três quartos na atmosfera. Tal não se dá porque a nossa produção tenha um comportamento ambiental exemplar, mas pelo fato de possuímos florestas cuja magnitude, paradoxalmente, estimula maior intensidade nas ações ilegais e predatórias. Feita esta ressalva, pode-se afirmar que no Brasil ocorrem avanços tecnológicos e de procedimentos que colocam boa parte do setor empresarial em sintonia com as melhores práticas de sustentabilidade.

Fundo Amazônia: acertos e equívocos

O Fundo Amazônia (FA) foi criado pelo governo federal em 2008. Esse Fundo é gerido pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e tem por objetivo captar doações para investimentos não reembolsáveis em ações de prevenção, monitoramento, combate ao desmatamento, promoção da conservação e do uso sustentável das florestas no bioma Amazônia.

Sobre as metas pretendidas e sua atuação gestora, o BNDES informa que ao término dessa atividade o Fundo Amazônia deverá deixar para a região um legado de atores capacitados, financeiramente sólidos, transparentes, responsáveis e aptos a manter uma nova dinâmica de desenvolvimento sustentável. Para tanto, foi montada uma estrutura representativa da sociedade civil, a qual responde pela emissão das diretrizes gerais, cabendo, em tese, a um comitê formado por especialistas a relação com as instituições que apresentam e desenvolvem os projetos.

Importante mecanismo de cooperação e modelagem de sustentabilidade regional, o FA é alvo constante de restrições por evidências de burocratização e inércia. As doações escasseiam e não surgem perspectivas de outros países contribuintes, enquanto cresce o volume de projetos. O que fazer para reverter esse quadro?

Os seus informes e reflexões, os estudos realizados, (Marcovitch, 2013) fundamentados em levantamento junto aos projetos em execução na Amazônia, constituem um balanço inédito dos contras e prós desse mecanismo que pode vir a ser, nos tempos vindouros, poderoso meio de consolidar políticas públicas. É promissor que essa visão crítica se origine de jovens estudiosos e, como tal, agentes do futuro na cena acadêmica brasileira.

Além das observações implícitas ou explícitas nos comentários feitos até aqui, entendemos como necessária a formulação de algumas

recomendações para o aprimoramento do Fundo Amazônia, cujas ações práticas refletem a nossa capacidade na gestão da Amazônia brasileira:

- Estabelecer uma unidade do Fundo Amazônia na região Norte com profissionais recrutados localmente para orientar por meio de atendimento direto, cursos de capacitação e apoio à institucionalização dos movimentos, de modo a ampliar o alcance dos projetos e seus impactos positivos na região. A proximidade física com as instituições proponentes eleva a eficiência e estimula um maior envolvimento do FA com essas instituições.
- Criar um ambiente apropriado para que pequenas e médias organizações, assim como grandes instituições, sejam levadas a competir para executar programas com efeito ainda mais significativo no combate ao desmatamento. Trata-se de criar redes institucionalizadas, via parcerias, para a implantação de programas e projetos que levem em conta as peculiaridades da região, em especial as adversidades que lhes são pertinentes.
- Organizar uma memória técnica com a experiência adquirida na concepção, execução e avaliação de projetos. Tornando acessível o conhecimento construído na região por meio da sistematização da documentação, torna-se possível induzir a replicação dos projetos exitosos realizados para outros municípios da Amazônia. Essa replicação permite, assim, melhor aproveitamento da curva de aprendizagem e o ganho de escala. Neste sentido, propõe-se que cada projeto registre os seus marcos de referência, o demonstrativo de fluxo de recursos e suas aplicações, além das métricas de insucessos, resultados e de impactos.
- Racionalizar a gestão do Fundo Amazônia, através do cálculo e divulgação dos custos totais de gestão, recursos humanos e despesas operacionais que parecem extrapolar largamente os 3% dos desembolsos que são destinados para custear os gastos do Fundo Amazônia. Recomenda-se, ainda, verificar como conciliar o custo operacional do BNDES com o Fundo Amazônia, além de avaliar outras alternativas compatíveis para a gestão desta iniciativa, no interesse do Fundo e do próprio Banco.
- Reduzir os custos operacionais, estimando os custos decorrentes dos trâmites relativos a cada uma das etapas do ciclo de vida do projeto. Esse ciclo inclui a consulta prévia, enquadramento,

apresentação do projeto detalhado, análise do projeto, aprovação, contratação, execução, licitações para contratação dos serviços de terceiros, desembolsos de recursos, prestação de contas parciais, coleta de documentos para comprovação de despesas, verificação das contas, avaliação dos resultados, preparação dos relatórios, e finalmente, a apreciação dos resultados consolidados.

- Abreviar o tempo de análise de cada projeto, observando que o prazo atual da consulta prévia até a contratação varia de 210 a 440 dias e uma média de 250 dias devido às regulamentações impostas ao Banco para a concessão de recursos reembolsáveis. Propõe-se a redução do tempo médio para um máximo de 180 dias, isto é, seis meses da consulta prévia à contratação, levando em conta os elevados custos para as instituições proponentes que, aliás, não são ressarcidos pelo Fundo.
- Explicitar as métricas de insumos, de resultados e de impactos nos RAFA, os Relatórios de Atividades do Fundo Amazônia, emitidos anualmente. Métricas de insumos indicam os recursos financeiros, bens materiais e competências humanas alocados ao projeto. Métricas de resultados correspondem aos produtos e serviços gerados por estes insumos. Enfim, métricas de impactos revelam as mudanças significativas e duradouras que decorrem dos resultados do programa.
- Implantar uma rede do Fundo Amazônia na região Norte, integrada por cientistas locais, com alguma latitude para recorrer, em sintonia com as proponentes, de algumas decisões tomadas pelo BNDES. Trata-se de caminhar a passos mais largos na busca de um novo modelo de desenvolvimento na Amazônia.

Para concluir, o Fundo Amazônia recebeu, entre 2008 e 2015, doações no valor de R\$ 2 bilhões sendo 96% da Noruega, 2% da Alemanha e 1% da Petrobras. Até 2015, os projetos aprovados somavam R\$ 1,2 bilhão, dos quais foram desembolsados R\$ 518 milhões para os projetos em execução, nos primeiros oito anos de gestão do Fundo pelo BNDES.

Estratégias corporativas e economia verde no Brasil

Encurta-se o tempo que nos separa de uma crise ecológica em escala planetária. Ou, para usarmos linguagem mais comedida, finda-se o prazo fixado pelos cientistas para chegarmos a um consenso sobre a mitigação das emissões de carbono em direção à atmosfera e também se promovam as adaptações necessárias para quando acontecerem as consequências já inevitáveis. Não há notícia, entretanto, de que essa questão venha no tempo certo e obtenha os merecidos cuidados na agenda internacional. Há deslizes a corrigir por parte de governos, empresas, ONGs e no âmbito das organizações multilaterais como o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

Os conteúdos privilegiados no curso da nossa pesquisa, elaborados por alunos da disciplina Estratégias Empresariais e Mudanças Climáticas, da FEA-USP, analisam objetivos, metas, estruturas operacionais e resultados obtidos por várias corporações brasileiras. Cumpre ressaltar a objetividade adotada por jovens analistas que dão seus primeiros passos no caminho da avaliação estratégica. Reproduzimos a seguir o roteiro adotado nas suas análises:

- **A empresa e seu setor:** Identificar as principais unidades de negócios da empresa estudada, suas dimensões quantitativas, as cadeias setoriais nas quais as unidades de negócios estão inseridas, os desafios e oportunidades de cunho socioambiental e os principais fatores que determinam a sua sustentabilidade.
- **Planos e projetos da empresa:** Descrever os seus principais planos e projetos que almejam a sustentabilidade socioambiental com ênfase na redução de emissões de GEE.
- **Métricas:** Levantar e analisar as métricas e os instrumentos relacionados à redução de GEE, como por exemplo, um percentual de elevação da eficiência energética ou de uso de energias renováveis.
- **Resultados:** Descrever e analisar os resultados da empresa relativos à redução de emissões de GEE e sua verificação externa.
- **Recomendações:** Identificar e analisar as principais forças facilitadoras e restritivas para a redução de emissões, além de propor recomendações que levem a essa redução.

Foram analisadas na ocasião as seguintes empresas: Petrobras, Agropalma, Suzano Papel & Celulose, Grupo AES Brasil, Tetra Pak®, BRF, ArcelorMittal Tubarão, CPFL Energia e Latam Airlines.

A pesquisa de campo empreendida (Marcovitch, 2013) revelou um cenário ainda marcado por alguns desacertos, mas já atingindo uma escala capaz de fortalecer a posição brasileira em todos os fóruns internacionais. É importante perceber que as mudanças climáticas estão reclamando não apenas ações governamentais, mas a mobilização de toda a sociedade civil, nela incluída a iniciativa privada, na qual se desenha um perfil cada vez mais eco eficiente, que acumula pelo menos duas décadas de experiências, com avanços no cômputo geral pelo seu poder sinérgico e catalisador. De todo o material lido no conjunto da nossa pesquisa, uma lição emerge da maioria dos casos estudados: é necessário pensar e agir além dos relatórios e tornar as práticas empresariais mais concretas.

O Consenso de Paris

O Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Relações Internacionais (IDDRI), com sede em Paris, fez uma análise independente e criteriosa do Acordo resultante da COP21 (Conferência do Clima da ONU realizada em Paris em 2015), comparando resultados efetivamente alcançados com dez expectativas formuladas anteriormente por estudiosos do tema. Logo na abertura, com fundamentos a seguir colocados, o IDDRI confere à COP21 o status de “maior evento histórico de cooperação internacional sobre as mudanças climáticas”. Reconhece, no texto do Acordo, um quadro universal, equitativo e sustentável, de uma ação global voltada para enfrentar o aquecimento global.

A metodologia usada por esse centro de estudos, confrontando suas previsões com as decisões efetivamente tomadas na cúpula do clima, é boa referência para a elaboração dos futuros documentos dos Estados nacionais que assumiram compromissos e também de empresas que publicam periodicamente os seus relatórios de sustentabilidade. O confronto entre as metas e as métricas é um caminho mais curto para adquirir credibilidade.

O que se faz aqui é a síntese de um informe de grandes proporções e naturalmente incabível no espaço de um artigo também ocupado com outros ângulos de abordagem. Ponto a ponto foram indicados dez critérios

anteriormente estabelecidos pelo IDDRI para o êxito da COP21 e que tiveram confirmação no texto do Acordo Final (IDDRI, 2016):

1. O número de contribuições nacionalmente determinadas cobriria 98% das emissões globais de GEE. Essas comunicações seriam revisadas a cada cinco anos, tendo em vista uma avaliação global periódica. Tais prognósticos foram confirmados.
2. Seria estabelecido um compromisso legal, incluindo elementos vinculantes e não vinculantes, conforme proposta formulada em 2011 pelos países signatários. No Acordo Final, alguns aspectos juridicamente vinculantes foram contemplados: a) apresentação de contribuições nacionais, assim como as medidas internas em cada país para alcançá-las; b) revisão regular da contribuição nacionalmente determinada; e c) transparência no que diz respeito à implementação.
3. Entre as expectativas de êxito registradas em novembro de 2015, foi incluído o princípio das responsabilidades comuns e diferenciadas. Tal conceito seria enfrentado adequadamente, o que de fato aconteceu. A chave finalmente adotada foi a de que países comparáveis assumirão responsabilidades semelhantes em um quadro de diferenciação flexível.
4. Como esperado, a meta principal de fixar uma temperatura média abaixo de 2°C foi alcançada. O texto final também estabeleceu o atingimento de zero emissões globais líquidas entre 2050 e 2100.
5. Os ciclos de ação para chegar à meta de 2°C não constam claramente do Acordo Final. Sua implementação, no entanto, depende, sucessivamente, de cinco elementos para elevar a ambição de cada país: (a) uma data para início da primeira revisão; (b) periodicidade de cinco em vez de dez anos; (c) avaliação periódica dos progressos globais visando alimentar a revisão; (d) clara relação entre os ciclos com o objetivo de 2°C; e (e) convite para que cada país descreva uma estratégia de descarbonização até meados do século. O Acordo obtido preenche quatro dos cinco elementos aqui mencionados. O único elemento que ainda precisa ser reforçado é o que se refere à integração entre os ciclos apontado na letra d.
6. As projeções no item relativo às decisões da COP21 sobre a Adaptação foram acertadas. Em seu memorando de novembro

de 2015, o IDDRI havia destacado três questões a serem incluídas no Acordo Final: definições de meta global que levariam todos os países a fazer uma transição para economias resilientes ao aquecimento; um compromisso igualmente coletivo para desenvolver estratégias nacionais de adaptação; e o aumento do grau de transparência nos informes sobre a matéria. O documento aprovado em Paris no dia 12 de dezembro de 2015 contemplou as três expectativas, além de convidar os países a formular e atualizar relatórios sobre adaptações e formar assim uma base para o fortalecimento do intercâmbio das informações em torno da matéria.

7. O texto publicado pelo IDDRI antes da COP21 salientava que muitas empresas, em vários países, sofriam impactos climáticos potencialmente além de sua capacidade para enfrentá-los, o que sugeria a importância da inclusão do tema “perdas e danos” no texto acordado. Diz o relatório agora produzido que foi incluído no documento final de Paris um artigo completo sobre perdas e danos. Isso ficou além do esperado. O artigo 8 reconhece não apenas o risco potencial, mas também a necessidade de evitar e minimizar os danos ou remediá-los. Foi mantido no Acordo o mecanismo internacional anteriormente firmado em Varsóvia (*Warsaw International Mechanism for Loss and Damages associated with Climate Change Impacts*) sobre a questão. No mesmo artigo foram pontuados aspectos como sistemas de alerta preventivo, preparação de emergências, grau de resiliência das comunidades e gestão de riscos.
8. O financiamento de compromissos ambientais dos países é uma alavanca essencial na transição para economias de baixo carbono. Na manifestação prévia de expectativas, foi sublinhada a importância de um Fundo específico orçado em U\$ 100 bilhões por ano até 2020, um *contexto de financiamento após essa data, uma clara determinação das responsabilidades nacionais* e a revisão de procedimentos no sistema financeiro com vistas ao afastamento gradual de investimentos relacionados com alto teor de carbono, em favor de créditos a projetos sustentáveis. O Acordo de Paris respondeu a tais pontuações. Negociações extraoficiais garantiram a incorporação dessa ambiciosa meta de US\$ 100 bilhões por ano. Porém, a transição para sociedades de baixas emissões e alta resiliência requer, além desses recursos financeiros a angariar, o

redirecionamento da movimentação de trilhões de dólares em projetos insustentáveis para alternativas de baixo carbono. Este é um dos aspectos do Acordo a exigir atenção do setor empresarial e do sistema financeiro.

9. O nono ponto, focado em transparência e prestação de contas, reconhecia como bastante “complicado”, no âmbito diplomático, o debate dessa questão. A falta de consenso dava-se sobre a elaboração de relatório que não poderia obedecer a um formato único, uma vez que as responsabilidades eram diferenciadas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. O IDDRI considera um avanço que o Acordo final tenha estabelecido o sistema unificado de transparência, juntamente com alguma flexibilidade que leva em conta as diferentes capacidades das partes.
10. Por último, são destacadas no informe as ações de intervenientes não estatais nas vésperas e no contexto final da grande cúpula ambiental. São mencionadas a Coalizão *Breakthrough*, o maior fundo de financiamento de energia limpa já criado até agora, o anúncio de 53 empresas multinacionais comunicando operações com 100% de energia renovável e outro de 114 grandes empresas engajadas no estabelecimento de metas alinhadas com a decisão de limitar o aquecimento abaixo do nível de 2°C.

O Brasil e seus compromissos

Já o Brasil, no século XXI, comprometeu-se a atender às expectativas que cercaram o encontro na França. As suas metas estão entre as mais ambiciosas. Visam reduzir em 38% as emissões de GEE até 2025. Outro objetivo será recuperar 12 milhões de hectares de florestas (metade da área do estado de São Paulo) e zerar o desmatamento ilegal até 2030.

É de justiça registrar que o Brasil vem demonstrando desde meados da década passada um empenho ambiental que poderá garantir que seus compromissos assumidos na cúpula de Paris serão cumpridos. Combinando eficientemente repressão, monitoramento e prevenção, o governo adotou medidas transversais, mobilizando vários ministérios. Sustou o crédito de bancos públicos a proprietários rurais em situação ambiental não regularizada, o que impediu empréstimos expressivos. Houve confiscos de fazendas pecuárias e embargos de grandes serrarias que estavam operando de forma ilegal.

Concretizou-se a histórica moratória da soja, um pacto de grandes produtores que suspendeu o comércio de grãos colhidos em áreas irregulares. Todas essas ações reduziram a taxa anual de desmate, que era de 28 mil quilômetros quadrados em 2004, para 5 mil quilômetros quadrados em 2015.

As ações referidas acima reforçaram o protagonismo brasileiro no debate global da sustentabilidade. Outros exemplos: Projeto Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (Prodes), Cadastro Ambiental Rural (CAR), cujo sistema de controle evita a grilagem da terra, e Programa Áreas Protegidas da Amazônia (Arpa), tido como o mais amplo do mundo em termos de conservação de florestas tropicais.

O governo brasileiro, como veremos, mantém articulações com um dos maiores poluidores do mundo, os Estados Unidos. Durante encontro com empresários e investidores realizado em Washington, os dois países anunciaram a criação de um grupo de trabalho voltado para questões de segurança alimentar e energética.

Para além do combate ao desflorestamento, a delegação brasileira em Paris mostrou que, excluindo-se a hidroeletricidade, temos uma participação de 27,9% de energia limpa na matriz brasileira e podemos elevá-la para 33% ou mais do que isso em 2035. As hidrelétricas não são consideradas nestes cálculos em face do impacto ambiental. É inegável que no balanço de vantagens e danos, a energia de origem hídrica é um ponto de grande relevância em termos de sustentabilidade.

Sobre a participação de fontes renováveis apresentadas pelo governo brasileiro em suas negociações com os Estados Unidos, ficou demonstrado que, no momento, temos a seguinte composição: geração eólica 5%; bagaço de cana 15,7%; e lenha ou carvão vegetal 8,1%. É importante salientar que o percentual de 5% de energia eólica é resultado de um esforço de apenas cinco anos. Saímos do zero para 285 parques eólicos em condição de atender a 24 milhões de pessoas.

Brasil-Estados Unidos

Os presidentes Obama e Dilma Rousseff, em seu encontro de Washington, em junho de 2015, acertaram o lançamento de um Programa Binacional para melhor conduzir investimentos destinados ao manejo sustentável das florestas, serviços em prol da resiliência e combate aos efeitos das mudanças climáticas.

Os promissores entendimentos entre Estados Unidos e Brasil, liderados pelos respectivos chefes de Estado, são aqui documentados em seus aspectos principais, conforme Declaração Conjunta emitida em 30 de junho de 2015:

- O Brasil pretende restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas até 2030. De acordo com seus planos de aumentar a utilização de fontes renováveis, o país pretende que sua matriz energética atinja, em 2030, uma participação de 28% a 33% de fontes renováveis (eletricidade e biocombustíveis), além da geração hidráulica.
- Cooperação sobre Uso Sustentável da Terra
- Lançar um Programa Binacional Brasil-EUA de Investimentos em Florestas e Uso da Terra com vistas a melhorar as condições de atração de investimentos no manejo sustentável de florestas e na restauração florestal, que encorajem a prestação de serviços ecossistêmicos, fortaleçam a resiliência, mitiguem a mudança do clima e contribuam para melhorar os fluxos de renda dos agricultores.
- Estabelecer parcerias tecnológicas para pesquisa básica e aplicada sobre espécies nativas para promover a aceleração de projetos de restauração florestal.
- Aprofundar a cooperação sobre monitoramento, relatoria e verificação das emissões florestais e estoques de carbono florestal.

Cooperação em Energia Limpa

- Energia Renovável: ampliar a pesquisa sobre a oferta de energia de fontes renováveis, como energia eólica, solar, biomassa, e combustíveis renováveis de transporte.
- Eficiência Energética e Armazenamento: apoiar iniciativas de sistemas inteligentes (“*smart grids*”), uso de materiais de construção eficientes e a melhoria da eficiência energética industrial, inclusive por meio da adoção crescente de sistemas de gestão e de armazenamento eficiente de energia, incluindo baterias.
- Pesquisa Básica sobre Energia: intercâmbio de experiências relacionadas com pesquisa, desenvolvimento e inovação, e promoção da cooperação entre universidades e instituições de pesquisa em ambos os países por meio dos “*U.S. Energy Frontier Research Centers*” e do Programa Ciência sem Fronteiras.

Brasil-Alemanha

A Alemanha e o Brasil estão sintonizados, mediante compromisso expresso, no que se refere a uma cooperação sobre o uso da terra e proteção nas áreas de energia limpa e eficiência energética. Durante sua visita ao Brasil, em 20 de agosto de 2015, a chanceler Angela Merkel assinou Declaração Conjunta com a presidente Dilma Rousseff. Daquele documento extraímos destaques reveladores da grande responsabilidade comum entre as duas nações em relação às mudanças climáticas:

- O Brasil continuará a fortalecer suas políticas, com vistas a alcançar, na Amazônia brasileira, o desmatamento ilegal zero até 2030 e a compensação pelas emissões de gases de efeito estufa oriundas da supressão legal da vegetação, permitindo, assim, significativas reduções nas emissões de gases de efeito estufa.
- A Alemanha, apoiadora do Fundo Amazônia, continuará a apoiar aquele esforço financeiramente com 100 milhões de euros antes de 2020, além da cooperação técnica. A Alemanha irá contribuir mais para o Fundo Amazônia, fortalecendo os pagamentos por resultados de REDD+.
- O Brasil desenvolverá, por intermédio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), um índice de recuperação florestal, incluindo restauração e reflorestamento, a fim de aperfeiçoar políticas públicas voltadas ao aumento dos estoques de carbono.
- Com o apoio do Fundo Amazônia, o Brasil fará um aumento de estoques de carbono por meio do reflorestamento e da restauração de florestas. O Brasil restaurará e reflorestará 12 milhões de hectares de florestas até 2030. Com base no Código Florestal, serão restauradas Áreas de Preservação Permanente, particularmente nos biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica.
- A Alemanha apoiará a restauração e o reflorestamento de áreas degradadas por meio de um programa abrangendo 5 milhões de hectares, com empréstimo de até 100 milhões de euros a taxas de juros reduzidas.
- O Brasil está comprometido a completar o registro total de proprietários de terras até 2016. Brasil e Alemanha assinaram acordo financeiro para o CAR (doação de 23 milhões de euros).

- A Alemanha também destina apoio futuro ao CAR e ao desenvolvimento econômico sustentável na região amazônica (apoio financeiro de 10 milhões de euros em doação; 11,5 milhões de euros de doação na forma de apoio técnico).
- O Programa de Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA) permitiu que o Brasil, com apoio dos parceiros do ARPA, em particular da Alemanha, aumentasse significativamente sua cobertura e aspirasse à sua sustentabilidade financeira de longo prazo até 2040.
- Atualmente, o Programa apoia esforços de conservação que cobrem mais de 58 milhões de hectares de áreas protegidas e, com a criação iminente de novas áreas pelos governos federal e estaduais, o Brasil superará os 60 milhões de hectares – meta estabelecida para 2020 – tornando o ARPA o maior esforço de conservação de florestas tropicais do mundo, cobrindo cerca de 40% do Sistema Nacional de Unidades de Conservação.
- Brasil e Alemanha assinaram acordo financeiro para o Programa de Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA) de 31,7 milhões de euros de doação.

Mobilização, comunicação e governança

O grande repto da Conferência de Paris, como já referido, foi não reeditar os fracassos anteriores. Houve uma forte mobilização mundial em torno da construção de sua agenda. Até o Papa Francisco empenhou-se nesse esforço. Durante um evento no Vaticano, prefeitos das principais cidades do mundo assinaram uma declaração exortando medidas audaciosas na COP21. No documento, chancelado pelo pontífice, mandatários da África, América Latina, Ásia, Estados Unidos e Europa reafirmam, com outras palavras, o chamamento do ex-presidente dos Estados Unidos Barack Obama: “Esta poderá ser a última oportunidade real de se negociar”.

De uma forma ou de outra, a Cúpula de Paris deflagrou, além das convergências definidas em seu texto final, uma explosão de propostas e diagnósticos na comunidade científica. E também, à semelhança do que aconteceu no imediato pós-Kyoto, quando emergiram os chamados cientistas céticos, houve agora o surgimento dos “neocéticos” e dos seus opositos, os visionários. É necessário, porém, que no âmbito multilateral prosperem cada vez mais os esforços para mudar o futuro, a partir dos consensos possíveis.

Para concluir, cabe realçar o desafio da governança de âmbito multilateral. A boa governança converte ações acordadas em resultados significativos para alcançar metas assumidas. O Acordo de Paris se refere a 18 comitês, grupos de trabalho, conselhos, redes e fundos. Assegurar o bom desempenho dessas unidades organizacionais depende de lideranças preparadas, recursos adequados, processos eficientes e decisões pautadas na lógica de resultados. A articulação sinérgica nesse sistema organizacional constitui um dos principais desafios para o cumprimento dos acordos celebrados.

Em 2016, ratificados os Acordos de Paris, assegura-se a conversão de “intenções voluntárias” do Brasil em “metas assumidas” para reduzir as emissões de gases de efeito estufa de origem antrópica. Os estudos sumarizados neste relatório avaliaram os resultados alcançados na COP21. Destacou a relevância dos acordos bilaterais firmados pelo Brasil na fase preparatória da COP21 e alertou para o desafio da governança no âmbito de cada país signatário para a implantação do que foi acordado. Nesse sentido, a governança repousa nas iniciativas dos estados-nação. Sua eficácia, no entanto, depende da articulação dos governos com a comunidade científica e de políticas públicas delineadas e monitoradas em parceria com organizações não governamentais e com empresas inovadoras, empenhadas em alcançar as metas ambientais e sociais que correspondem aos compromissos assumidos pelo Brasil.

A experiência brasileira com a utilização de modelos integrados para avaliação de impactos de mudanças climáticas globais⁸

O conjunto de atividades econômicas e regiões afetadas por mudanças climáticas globais (MCG) tende a ser amplo, uma vez que os impactos desse fenômeno repercutem tanto direta como indiretamente nas atividades econômicas. Efeitos econômicos sistêmicos merecem especial atenção na avaliação dos impactos de MCG. Não apenas os setores tendem a ser afetados

8 Haddad, E. A. e Santos, E. T. (2015). Economia das Mudanças Climáticas: A Experiência Brasileira com a Utilização de Modelos Integrados para Avaliação de Impactos de MCG. In: Tercio Ambrizzi; Pedro Roberto Jacobi; Livia Márcia Mosso Dutra. (Org.). Ciência das Mudanças Climáticas e sua Interdisciplinaridade. 1ed. São Paulo: Annablume, 2015, p. 249-260.

de forma heterogênea, direta e indiretamente, como também regiões tendem a apresentar impactos diferenciados.

Apesar da longa estrada ainda a se percorrer, o desenvolvimento recente de modelos climáticos que permitem maior desagregação setorial e regional dos impactos físicos tem permitido aumentar o conhecimento técnico sobre o problema da mudança do clima na economia brasileira, possibilitando o desenvolvimento de estudos setoriais cada vez mais detalhados. Simulações referentes à avaliação *ex ante* dos impactos potenciais de MCG sobre a economia tendem a se basear em projeções de média das temperaturas e precipitações para intervalos de períodos raramente inferiores a uma década. A utilização da média reduz as incertezas associadas às projeções dos modelos climáticos. Se, por um lado, a utilização das médias das variáveis climáticas para longos intervalos de tempo reduz as incertezas relativas às projeções climáticas, por outro, essa escolha impõe limitações analíticas. Em particular, o uso de médias para períodos longos não permite que os modelos econômicos sejam aplicados à análise de eventos climáticos extremos de ocorrência irregular e pontual, tais como períodos atípicos de seca prolongada ou excesso de chuvas em determinados anos. Não obstante o grau de incerteza dos modelos climáticos atuais, análises dos impactos de eventos extremos sobre a atividade econômica são realizadas *ex post*, no intuito de se aferir o custo econômico de desastres naturais e o grau de vulnerabilidade econômica das sociedades afetadas.

Os estudos aqui selecionados retratam essas duas dimensões das avaliações de impactos econômicos de MCG. O primeiro deles apresenta uma síntese dos resultados de uma avaliação *ex ante* dos impactos econômicos das MCG no Estado de Minas Gerais. Em termos metodológicos, articula as projeções de alterações climáticas a modelos socioeconômicos, de forma que uma análise integrada dos impactos econômicos desses fenômenos possa ser efetuada. O segundo estudo faz uma avaliação *ex post* dos custos econômicos dos alagamentos ocorridos na cidade de São Paulo em 2008. Adota uma estratégia de modelagem que integra informações climáticas e econômicas georreferenciadas a um modelo espacial de equilíbrio geral computável (EGC)

Enfoque regional: avaliação de impactos de mudanças climáticas sobre a economia mineira⁹

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos causados por MCG, manifestados em mudanças de temperatura e pluviosidade, sobre a economia do Estado de Minas Gerais. O estudo identificou os prováveis impactos de diferentes cenários das mudanças climáticas em Minas Gerais, avaliando suas prováveis repercussões econômicas e regionais no estado até o ano de 2050.

O resultado é um quadro geral do futuro da economia mineira consistente com as premissas utilizadas pelo IPCC, detalhado para setores e regiões. Foram gerados cenários de referência, ou tendenciais, elaborados sem MCG (SMCG), e cenários com MCG (CMCG), incorporando os efeitos das MCG nos setores agricultura, pecuária e energia, para a avaliação comparativa dos impactos.

É importante enfatizar que os cenários delineados partiram das mesmas premissas adotadas no Estudo Econômico das Mudanças Climáticas do Brasil (EMCB)¹⁰. As trajetórias climáticas do IPCC baseiam-se, dentre outras, em hipóteses sobre o comportamento futuro da economia global. Este estudo simulou o comportamento futuro da economia mineira em compatibilidade, na medida do possível, com as mesmas hipóteses do IPCC para a economia global.

Foram gerados dois cenários: A2-BR, alinhado com o cenário climático A2 do IPCC AR4, e B2-BR, alinhado com o cenário climático B2 do IPCC AR4. Em ambos, foram feitas simulações inicialmente sem mudanças climáticas e posteriormente com mudanças climáticas. Tais cenários representam trajetórias futuras da economia brasileira e da economia mineira caso o mundo se desenvolva globalmente segundo as premissas (econômicas) dos respectivos cenários do IPCC utilizados. Em termos muito simplificados, o cenário A2 prevê pouca preocupação com as mudanças climáticas, podendo ser caracterizado como um cenário tendencial “*business as usual*”; já o cenário B2 introduz uma preocupação maior das sociedades

9 FIPE/FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2011: Avaliação de Impactos de Mudanças Climáticas sobre a Economia Mineira, Belo Horizonte.

10 Margulis, S.; C.B.S. Dubeux; J. Marcovitch (Coord.), 2011: The Economics of Climate Change in Brazil: Costs and Opportunities, São Paulo: FEA/USP.

com os problemas climáticos, com as consequentes mudanças de atitudes e comportamentos com respeito ao problema.

Mensuração dos custos

Este estudo apresentou uma síntese econômica sistêmica inédita em termos de impactos espacializados de MCG em trajetórias temporais explícitas para a economia mineira. Utilizando-se uma integração sequencial (em alguns casos semi-iterativas) com outros modelos, garante-se a consistência intertemporal dos resultados em seus vários níveis de agregação. O núcleo central da modelagem utilizada é um modelo econômico capaz de lidar de maneira consistente com a integração com outros modelos, notadamente modelos de demanda e oferta de energia, de uso da terra e de produtividade agrícola, que por sua vez são integrados a modelos climáticos.

Os impactos de MCG sobre a economia mineira podem ser avaliados a partir dos resultados das simulações para se projetar o fluxo marginal de geração de riquezas na economia, no período 2008-2050. Trazendo a valor presente todas as diferenças de PIB até 2050, tem-se uma noção dos custos das MCG sob um enfoque de perdas na produção. Calcula-se então o valor presente (VP) dos fluxos marginais do PIB real, ao longo do período 2008-2050, sob um leque de taxas de desconto, de modo que os valores utilizados se refiram aos efeitos das simulações de MCG, em R\$ milhões de 2008 (Figura 3).

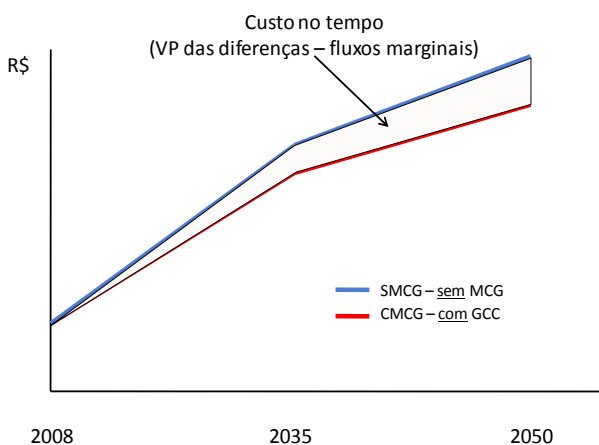


Figura 3 – Custo cumulativo de MCG.

Resultados

O principal resultado projetado é a ameaça maior das MCG às regiões mais pobres do Estado. Sob a ótica espacial, pode-se concluir que as MCG são concentradoras e intensificam as disparidades regionais em Minas Gerais. Os custos em termos de PIB regional são maiores, em termos proporcionais, nas regiões mais pobres e se intensificam com o tempo.

Se os custos de MCG até 2050 fossem antecipados para hoje, a uma taxa de desconto intertemporal de 1,0% a.a., o custo em termos de PIB para Minas Gerais seria de aproximadamente entre R\$ 155 bilhões (cenário A2-BR) a R\$ 446 bilhões (cenário B2-BR), o que representaria de 55% a 158% do PIB estadual de 2008. A decomposição destes valores, reportada na Tabela 1, revela a geografia dos custos de mudanças climáticas no Estado de Minas Gerais.

Destacam-se os custos relativos mais elevados nas microrregiões localizadas no Norte de Minas e no Jequitinhonha/Mucuri. Além disso, microrregiões localizadas no Noroeste de Minas, Triângulo Mineiro, Zona da Mata e Sul de Minas também apresentariam participação nos custos superiores a suas participações no PIB do Estado.

As perdas apontadas representam, para parte significativa do Estado, o equivalente a mais de dois anos de crescimento, ou seja, é como se os efeitos de MCG paralisassem, na margem, o crescimento econômico em algumas regiões por mais de dois anos nos próximos 40 anos. Essas perdas variam, no cenário B2-BR, de aproximadamente um a três PIBs regionais de 2008.

Tabela 1 – Valor presente dos fluxos marginais de PIB associados às MCG (em R\$ bilhões de 2008 e em proporção do PIB regional de 2008)

	R\$ bilhões de 2008		Proporção do PIB Regional		PIB Regional
	A2-BR	B2-BR	A2-BR	B2-BR	(R\$ bilhões de 2008)
Unai	-1,19	-3,54	-0,72	-2,12	1,67
Paracatu	-0,62	-2,99	-0,45	-2,19	1,36
Jamaria	-0,42	-0,64	-1,27	-1,95	0,33
Januária	-0,25	-0,61	-0,76	-1,89	0,32
Salinas	-0,20	-0,56	-0,66	-1,85	0,30
Pirapora	-0,25	-1,16	-0,39	-1,78	0,65
Montes Claros	-1,15	-3,07	-0,85	-2,27	1,35
Grão Mogol	-0,02	-0,06	-0,51	-1,54	0,04
Bocaina	-0,18	-0,49	-0,71	-1,95	0,25
Diamantina	-0,04	-0,09	-0,73	-1,78	0,05
Capelinha	-0,17	-0,34	-0,92	-1,90	0,18
Aracuaní	-0,07	-0,16	-0,81	-1,77	0,09
Pedra Azul	-0,04	-0,13	-0,37	-1,12	0,12
Almenara	-0,10	-0,29	-0,59	-1,68	0,17
Teófilo Ottoni	-0,19	-0,47	-0,80	-1,96	0,24
Namque	-0,32	-1,07	-0,88	-2,97	0,36
Itaútaba	-0,86	-2,26	-0,90	-2,39	0,95
Uberlândia	-6,31	-15,90	-0,73	-1,83	8,69
Patrocínio	-0,68	-1,82	-0,51	-1,37	1,33
Patos de Minas	-0,53	-1,73	-0,39	-1,26	1,37
Frutal	-1,18	-4,98	-0,60	-2,52	1,97
Uberaba	-1,55	-4,42	-0,64	-1,82	2,43
Araxá	-1,47	-4,57	-0,45	-1,41	3,25
Tres Marias	-0,15	-0,70	-0,30	-1,38	0,50
Curvelo	-0,14	-0,42	-0,45	-1,33	0,32
Bom Despacho	-0,24	-0,85	-0,40	-1,44	0,59
Sete Lagoas	-2,12	-5,16	-0,66	-1,60	3,22
Conceição do Mato Dentro	-0,03	-0,08	-0,32	-0,96	0,08
Para de Minas	-0,33	-0,92	-0,57	-1,56	0,59
Belo Horizonte	-107,27	-316,79	-0,53	-1,57	201,52
Itabira	-2,79	-7,58	-0,37	-1,01	7,53
Itaguara	-0,05	-0,14	-0,43	-1,25	0,11
Ouro Preto	-0,25	-0,60	-0,47	-1,16	0,52
Conselheiro Lafaiete	-0,73	-1,96	-0,48	-1,29	1,52
Guanhaes	-0,06	-0,13	-0,49	-1,00	0,13
Pecanha	-0,04	-0,12	-0,35	-1,04	0,12
Governador Valadares	-0,42	-1,02	-0,67	-1,64	0,62
Mantena	-0,04	-0,10	-0,42	-1,13	0,09
Ipatinga	-5,94	-15,50	-0,52	-1,35	11,50
Caratinga	-0,22	-0,53	-0,59	-1,42	0,37
Aimores	-0,14	-0,46	-0,36	-1,20	0,38
Piúma	-0,16	-0,55	-0,35	-1,24	0,45

	RS bilhões de 2008		Proporção do PIB Regional		PIB Regional
	A2-BR	B2-BR	A2-BR	B2-BR	(R\$ bilhões de 2008)
Divinópolis	-2,09	-4,86	-0,78	-1,80	2,70
Formiga	-0,26	-0,74	-0,36	-1,01	0,73
Campo Belo	-0,17	-0,43	-0,51	-1,32	0,33
Oliveira	-0,22	-0,54	-0,61	-1,51	0,36
Passos	-0,45	-1,32	-0,51	-1,49	0,89
Sao Sebastiao do Paraiso	-0,79	-2,06	-0,68	-1,79	1,15
Alfenas	-0,78	-2,15	-0,50	-1,39	1,55
Varginha	-1,76	-4,27	-0,65	-1,58	2,71
Pocos de Caldas	-1,60	-4,21	-0,66	-1,72	2,44
Pouso Alegre	-0,90	-2,32	-0,72	-1,85	1,26
Santa Rita do Sapucaí	-0,52	-1,43	-0,66	-1,81	0,79
Sao Lourenco	-0,49	-1,18	-0,65	-1,57	0,75
Andrelandia	-0,09	-0,22	-0,58	-1,38	0,16
Itajuba	-0,60	-1,57	-0,66	-1,70	0,92
Lavras	-0,30	-0,76	-0,55	-1,38	0,55
Sao Joao Del Rei	-0,14	-0,39	-0,45	-1,26	0,31
Barbacena	-0,18	-0,56	-0,38	-1,18	0,48
Ponte Nova	-0,19	-0,54	-0,50	-1,46	0,37
Manhuaçu	-0,50	-1,14	-0,61	-1,37	0,83
Vicosa	-0,22	-0,52	-0,57	-1,37	0,38
Murice	-0,35	-0,83	-0,70	-1,68	0,49
Uba	-0,69	-1,88	-0,65	-1,76	1,06
Juiz de Fora	-2,46	-6,32	-0,69	-1,78	3,55
Catagnases	-0,44	-1,17	-0,56	-1,50	0,78
Noroeste de Minas	-1,81	-6,53	-0,60	-2,15	3,03
Norte de Minas	-2,46	-6,59	-0,76	-2,03	3,25
Rio Doce	-6,85	-17,86	-0,52	-1,35	13,22
Mata	-4,84	-12,39	-0,65	-1,66	7,48
Sul de Minas	-8,29	-21,51	-0,63	-1,63	13,17
Triângulo	-9,90	-27,55	-0,70	-1,96	14,04
Alto Paranaíba	-2,68	-8,12	-0,45	-1,37	5,94
Centro-Oeste de Minas	-3,13	-7,97	-0,61	-1,55	5,15
Jequitinhonha/Mucuri	-0,89	-2,46	-0,77	-2,12	1,16
Central	-114,21	-335,39	-0,53	-1,55	216,74
Minas Gerais	-155,07	-446,37	-0,55	-1,58	283,17
BRASIL	-723,78	-3613,09	-0,25	-1,25	2889,72

Obs. Taxa de desconto = 1% a.a.

Índice de Vulnerabilidade Econômica às MCG

O Índice de Vulnerabilidade Econômica às MCG relaciona a participação da microrregião nas perdas com MCG no estado e sua participação no PIB. Indicadores superiores a “1” indicam um impacto mais do que proporcional à sua participação no PIB, sinalizando uma estrutura produtiva mais suscetível aos impactos das MCG. Esse mesmo indicador, quando inferior a “1”, sinaliza uma microrregião menos suscetível aos impactos das MCG. Em ambos os cenários, notam-se, na região central do estado, as regiões menos vulneráveis às MCG, e, na porção Norte do Estado, as regiões mais vulneráveis (Figuras 4a e 4b).

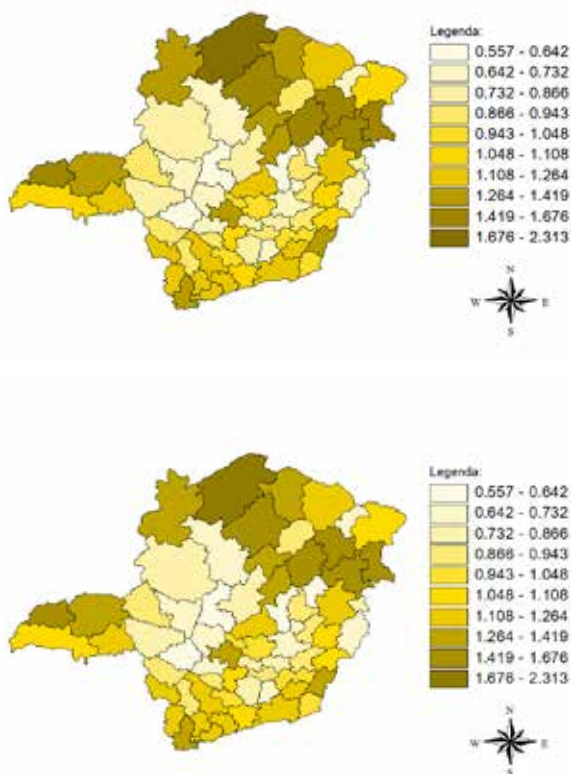


Figura 4a – Índice de Vulnerabilidade Econômica à MCG – Cenário A2-BR.

Figura 4b – Índice de Vulnerabilidade Econômica a MCG – Cenário B2-BR.

A Figura 5 resume esses indicadores por Regiões de Planejamento, indicando que a região central tende a ser menos impactada e vulnerável às MCG, e as três regiões ao norte as mais suscetíveis a esse fenômeno.

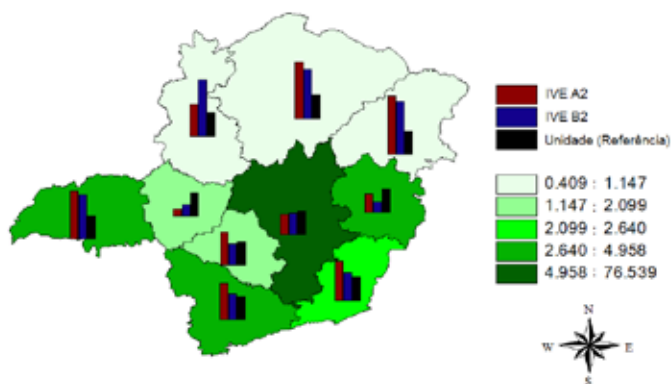


Figura 5 – Participação regional no PIB Estadual e Índice de Vulnerabilidade Econômica às MCG (IVE) – Cenários A2-BR e B2-BR.

Impactos econômicos de desastres naturais em megacidades: o caso dos alagamentos em São Paulo¹¹

Este trabalho teve como objetivo analisar os efeitos econômicos mais amplos dos alagamentos ocorridos na cidade de São Paulo em 2008 e estimar qual teria sido o crescimento das economias municipal, estadual e nacional se os alagamentos não tivessem ocorrido naquele ano. Ao fazer isso, foi possível derivar as estimativas de custos econômicos dos alagamentos em relação à interrupção das cadeias de valor associadas ao fechamento temporário das empresas durante o evento. Ao não levar em conta nem os efeitos da interrupção nos serviços de infraestrutura nem os fluxos financeiros associados com a recuperação dos desastres naturais, isolaram-se os efeitos econômicos associados aos alagamentos e sua propagação espacial, proporcionando uma aproximação das consequências regionais e uma perspectiva de cadeia de valor.

11 Haddad, E. A.; Teixeira, E. (2014). Economic impacts of natural disasters in megacities: The case of floods in São Paulo, Brazil. *Habitat International*, p. 106-113.

A quantificação das perdas econômicas é necessária para auferir a vulnerabilidade dos indivíduos e das comunidades atingidas, avaliar os custos da mitigação dos riscos, determinar o nível apropriado de assistência ao desastre, melhorar as decisões de recuperação, informar seguradoras de suas potenciais obrigações e esclarecer as pessoas interessadas.¹² Desastres naturais podem provocar destruição física de capacidade instalada. Contudo, a cidade de São Paulo adaptou-se ao tipo de alagamento que vivencia. Apesar dos transtornos causados, como a interrupção o fluxo de pessoas e mercadorias pela falta de drenagem urbana, as perdas de máquinas e equipamentos são menos relevantes. As principais perdas provocadas no maior centro econômico e financeiro do país são provenientes da paralisação da produção nos locais afetados. Enquanto as perdas diretas são avaliadas por meio da interrupção das atividades econômicas, as perdas indiretas podem ser calculadas considerando as interrupções na cadeia de valor. Tais estimativas de perdas indiretas demandam um modelo econômico capaz de capturar o fluxo de mercadorias entre os agentes econômicos, o que suscita um enorme desafio, dada a unicidade de cada desastre.¹³

Impactos diretos dos alagamentos

Usando informações georreferenciadas detalhadas dos pontos de alagamento e dos perfis de trabalhadores das firmas, e pressupondo-se que a produção seja um contínuo em dias úteis, as perdas potenciais podem ser indiretamente aproximadas pela medida de salários pagos e perdidos durante a interrupção da produção das firmas afetadas pelos alagamentos.

A informação de alagamentos em São Paulo é fornecida pelo Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE) da Prefeitura de São Paulo. A base de dados do CGE informa, para cada ponto de alagamento, sua exata localização, dia de ocorrência, horário de início e duração, bem como uma medida qualitativa de intensidade do evento. Com o georreferenciamento da base de alagamentos de 2008, e integrando esses dados com a localização das firmas por meio de técnicas de sistemas de informação geográfica,

12 Rose, Adam, 2004: Economic Principles, Issues, and Research Priorities in Hazard Loss Estimation. In: Okuyama, Yasuhide; Chang, Stephanie E. Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters. New York: Springer.

13 Okuyama, Yasuhide, 2007: Economic Modeling for Disaster Impact Analysis: Past, Present, and Future. *Economic Systems Research*, v. 19, n. 2, p. 115-124.

é possível identificar todas as empresas afetadas pelos alagamentos em um pré-determinado raio de impacto.

A informação dos pagamentos feitos aos trabalhadores nas firmas afetadas é essencial para capturar as perdas diretas provocadas pelos alagamentos. Esses dados foram obtidos de uma base de dados georreferenciada sobre a situação dos trabalhadores das firmas – a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), disponibilizada pelo Ministério do Trabalho e Emprego. A base de dados da RAIS informa, para cada empresa, sua localização, total de salários pagos aos trabalhadores, e a classificação setorial de sua atividade principal. Esse levantamento estatístico abrange 97% do mercado formal de trabalho, que representa 57% do total da população ocupada no país, fornecendo uma medida da representatividade dessa amostra.

A combinação dessas duas bases de dados nos permite identificar as empresas potencialmente afetadas pelos alagamentos. Para calibrar a área de influência dos pontos de alagamento nas simulações, foram realizadas 25 entrevistas com firmas localizadas na vizinhança de dois pontos de alagamento específicos da base de dados¹⁴. As principais conclusões dessa pesquisa de campo foram que: (i) a uma distância de até 100 metros do ponto de alagamento (aproximadamente um quarteirão), as firmas são certamente afetadas – dependendo do horário do evento, os trabalhadores não conseguem chegar ao trabalho, ou deixam o local de trabalho mais cedo; (ii) as empresas mais distantes do ponto de alagamento (por exemplo, a 200 metros) são afetadas apenas nas ocorrências mais severas; e (iii) nas raras ocasiões nas quais a água invade as instalações, medidas de adaptação preventiva são prontamente realizadas para o próximo evento. Assim, o cenário mais factível é aquele que define um raio de impacto de 100 metros e não considera danos em estoque de capital. Além disso, para calibrar as simulações, foi adotada uma hipótese *ad hoc* adicional de que a extensão da perda potencial de produto vai depender do horário do dia em que ocorreu o alagamento: para eventos que ocorreram antes do meio dia (e após 6 horas da manhã) assume-se que toda a produção diária é “perdida”, enquanto apenas a metade dessa produção será considerada “perdida” se o alagamento ocorreu na parte da tarde, durante o horário de trabalho. Assim, depois de identificadas as empresas diretamente afetadas pelos alagamentos sob essas hipóteses de trabalho, é possível estimar as perdas potenciais nos períodos

14 Regiões da Lapa e CEAGESP.

de interrupção da produção. Essa informação é utilizada para preparar o vetor de choque que alimenta o modelo espacial EGC, para que seja possível avaliar os impactos econômicos totais dos alagamentos em São Paulo.

As estimativas de impactos diretos estão altamente concentradas no setor terciário (aproximadamente 90%), principalmente serviços, comércio e transporte. No cenário mais factível, de 100 metros de raio de impacto, quase 20 mil firmas podem ter sido diretamente afetadas pelos alagamentos de 2008, com uma perda de salários de aproximadamente R\$ 17 milhões. Em termos de perda de produto potencial, isso representa aproximadamente R\$ 80 milhões.

Impactos sistêmicos dos alagamentos

E se os alagamentos não tivessem ocorrido na cidade de São Paulo em 2008? Qual teria sido a diferença em termos de valor adicionado para a cidade e para outras regiões do país? Para se estimar os impactos totais dos alagamentos em São Paulo foi utilizado um modelo espacial EGC. Trata-se de um modelo baseado em otimizações simultâneas do comportamento dos agentes econômicos, sujeitos a restrições de recursos. Quando estendido para uma estrutura multi regional, o modelo é capaz de fornecer a distribuição espacial dos impactos¹⁵.

A análise que se segue será concentrada no cenário mais factível de 100 metros de raio de impacto. Os resultados para os demais cenários são qualitativamente similares. Os resultados macroeconômicos das simulações do modelo espacial EGC indicam que os alagamentos na cidade de São Paulo teriam diminuído o Produto Regional Bruto (PRB) em 0,0263%; e o PIB nacional em 0,0071%. Apesar da ocorrência local dos alagamentos, dentro dos limites da cidade, a redução do crescimento do produto ultrapassa seu território. Os alagamentos também teriam contribuído para reduzir o bem-estar dos residentes da cidade (menor consumo real das famílias), diminuir as receitas fiscais do governo, e reduzir a competitividade doméstica e internacional da cidade, com agravamento da balança comercial inter-regional e internacional. Os efeitos sobre o país seguem na mesma

15 Ver Haddad, E. A. . Interregional Computable General Equilibrium Models. In: M. Sonis; G. J. D. Hewings. (Org.). Tool Kits in Regional Science: Theory, Models and Estimation. Berlin: Springer, 2009, pp. 119-154.

direção, com redução do bem-estar dos residentes e dos gastos do governo, e diminuição da competitividade do país nos mercados internacionais.

Em termos monetários, o impacto total sobre o valor adicionado da economia brasileira foi estimado em R\$ 218,19 milhões (para o cenário de 100 metros de raio de impacto), com um dano direto de R\$ 43,54 milhões e uma taxa de dano associada (dano total dividido pelo dano inicial) de 5,0. Considerando apenas o impacto dentro do município de São Paulo, a taxa de dano é equivalente a 2,2. Dada a fragmentação espacial existente no Brasil, e a estrutura de dependência espacial observada nos dados, a hierarquia dos impactos mostra o restante do Brasil como a segunda região mais afetada, com perdas potenciais de PRB similares em magnitude àquelas projetadas para a cidade de São Paulo. O restante do Estado de São Paulo, beneficiado pelo recente processo de esvaziamento da RMSP, apresenta perdas potenciais de PRB maiores do que a totalidade dos outros municípios da RMSP. Assim, o impacto sobre o PIB em todos os cenários seria distribuído espacialmente como segue: a cidade de São Paulo e o restante do país (exceto o Estado de São Paulo) com participações similares nas perdas totais, de aproximadamente 44%; o restante do Estado de São Paulo (fora a RMSP) com 9%, e os restantes 4% associados aos demais municípios que compõem a RMSP.

Considerações finais

Os estudos aqui reportados ilustram, parcialmente, os esforços recentes que envolvem diretamente pesquisadores ligados ao INCT para Mudanças Climáticas. Como sinalizado no primeiro relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, os esforços mais amplos já realizados na identificação dos efeitos de MCG trouxeram importantes *insights* iniciais em escala global, para o caso brasileiro e para análises regionais. Ao mesmo tempo, criaram uma base para que novas iniciativas sejam empreendidas, no sentido de promover melhorias nas estratégias de avaliação. Esforços têm sido realizados na construção de uma forma mais ampla de avaliação dos efeitos de mudanças climáticas, que integra diversos fatores, incluindo, dentre outros, os sociopolíticos, o econômico, aspectos relacionados ao uso da terra, produção e consumo de energia, recursos hídricos, característica dos solos, vegetação etc. Grande parte desses esforços alinha-se com a proposta da construção de um Modelo Climático Brasileiro ou do Modelo Brasileiro do

Sistema Terrestre (BESM), cuja ampla capacidade de avaliação dependerá, em grande medida, da ligação dos modelos e das informações específicas fornecidas por cada equipe envolvida.

Referências

ALLEN, Myles R., FRAME, David J. Call Off the Quest. *Science*, Vol. 318, 5850, PP. 582-583, 2007. doi: 10.1126/science.1149988.

AMARAL, Luiz Fernando do. “Uma nova estratégia para as finanças sustentáveis”. *Valor Econômico*. São Paulo, 29 de abril de 2016.

ANDERSON, Kevin, BOWS, Alice. A New Paradigm for Climate Change. *Nature Climate Change* 2, PP. 639-640, 2012.

ATLEE, Tom. *Empowering public wisdom: A practical vision of citizen-led politics*. Berkeley: North Atlantic Books, 2012.

BARROS, M. T. L. et al.. *The impact of urban sprawl on flood risk areas*. In: MOGLEN, Glenn E. *Managing watersheds for human and natural impacts: engineering, ecological, and economic challenges*. Williamsburg, VA: American Society of Civil engineers, 2005.

Declaração conjunta Brasil-Estados Unidos sobre Mudança do Clima, 20 de junho de 2015. Disponível em: <http://docplayer.com.br/6450670-Ministerio-das-relacoes-exteriores-declaracao-conjunta-brasil-estados-unidos-sobre-mudanca-do-clima-washington-d-c-30-de-junho-de-2015.html>

Declaração conjunta Brasil-Alemanha sobre Mudança do Clima, 20 de agosto de 2015. Disponível em: http://www.brasil.diplo.de/Vertretung/brasilien/pt/__pr/Nachrichten_20Archiv/Declara_C3_A7_C3_A3o_20Conjunta_20Brasil-Alemanha_20sobre_20Mudan_C3_A7a_20do_20Clima.html

DEFRIES, Ruth. *The Big Ratchet: How Humanity Thrives in the Face of Natural Crisis*. New York, Basic Books, 2014.

DUBEUX, Carolina B.S.; MARGULIS, Sergio; MARCOVITCH, Jacques (Orgs.). *Economia da Mudança do Clima no Brasil*, Synergia Editora, 2011.

DRYZEK, John S. Institutions for the Anthropocene: Governance in a Changing Earth System. *British Journal of Political Science*, FirstView (Supplement -1), PP. 1-20, 2014. doi: doi:10.1017/S0007123414000453.

FLETCHER, Robert. Using the master’s tools? Neoliberal conservation and the evasion of inequality. *Development and Change* 43, 1, PP. 295-317, 2012.

Environmental Performance Index (EPI). Ranking & Scores. Yale University, 2010. Disponível em: <http://epi.yale.edu>.

FOLHA DE SÃO PAULO. Governo paulista foi alertado em 2009 sobre riscos no Cantareira, 13/03/2014. <http://tools.folha.com.br/print?site=emcimadahora&url=http://www...659-estado-foi-alertado-em-2009-sobre-riscos-no-cantareira.shtml>.

FREUDENBURG, William R. Privileged Access, Privileged Accounts: Toward a Socially Structured Theory of Resources and Discourses. *Social Forces* 84, 1, PP. 89-114, 2005.

GOLDEMBERG, José; GUARDABASSI, Patrícia. Burden sharing in the implementation of the Climate Convention. *Energy Policy* 81 (2015) 56-60.

HACKMANN, Heide, MOSER, Susanne C., ST. CLAIR, Asuncion L.. The social heart of global environmental change. *Nature Climate Change* 4, no. 8: 653-55, 2014.

HADDAD, Eduardo A. *Regional inequality and structural changes: lessons from the Brazilian economy*. Aldershot: Ashgate, 1999.

HANDMER, John W., DOVERS, Stephen R. A typology of resilience: rethinking institutions for sustainable development. *Organization & Environment* 9, 4, PP. 482-511, 1996.

HEWINGS, Geoffrey J.D.; MAHIDHARA, Ramamohan. *Economic impacts: lost income, ripple effects and recovery*. In: CHANGNON, Stanley (Org.). *The great flood of 1993: causes, impacts and responses*. Boulder: Westview Press, 1996.

IDDR. Une evaluation de l'Accord de Paris: comparaison avec les 10 critères de succès selon l'Iddri. 29 jan. 2016. Disponível em: <http://www.blog-iddri.org/2016/01/29/une-evaluation-de-laccord-de-paris-comparaison-avec-les-10-criteres-de-succes-selon-liddri/>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: a special report of working groups I and II*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

KIESEL, Laura, et al. A comparative rhetorical analysis of US and UK newspaper coverage of the correlation between livestock production and climate change. *Proceedings of the 10th Biennial Conference on Communication and the Environment*, Portland, OR, 2009. Disponível em: <https://theieca.org/contents-2009-conference-communication-and-environment-proceedings>.

LAHSEN, Myanna. Toward a Sustainable Future Earth: Challenges for a Research Agenda. *Science, Technology & Human Values* 41, 5, PP. 876-898, 2016.

LAHSEN, Myanna. “Protegendo” o Brasil Contra o “Conhecimento Inconveniente”: A Representação da Conexão entre Mudança Climática e a Carne Bovina nos Jornais Brasileiros. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 40, 2017.

MARCOVITCH, Jacques. *A Gestão da Amazônia – Ações Empresariais, Políticas Públicas, Estudos e Propostas*. São Paulo: Edusp. 2011.

_____. “Para mudar o futuro: Mudanças climáticas, políticas públicas e estratégias empresariais”. São Paulo: Edusp/Saraiva, 2006.

_____. Como avançar na RIO + 20? *Política Externa*, v. 20. P. 21-29, 2012.

_____. Estudos desenvolvidos no âmbito da disciplina EAD-5953 – Estratégias Empresariais e Mudanças Climáticas, da FEA-USP. 2008 a 2016. Disponível em: www.usp.br/mudarfuturo/cms.

_____. (Org.). *Mitigação de gases de efeito estufa: a experiência setorial e regional no Brasil*. São Paulo: FEA/USP, 2009. Disponível em: <https://www.usp.br/mudarfuturo/cms/?cat=22>

_____. (Org.). *A redução de emissões de gases de efeito estufa e a legislação brasileira*. São Paulo: FEA/USP, 2010-2011. Disponível em: <https://www.usp.br/mudarfuturo/cms/?cat=39>.

_____. (Org.). *Sustentabilidade e Tecnologias de Baixo Carbono no Brasil*. São Paulo: FEA/USP, 2011. Disponível em: <https://www.usp.br/mudarfuturo/cms/?cat=53>

_____. (Org.). *Pioneirismo e Sustentabilidade na Amazônia*. São Paulo: FEA/USP, 2009-2013. Disponível em: <https://www.usp.br/mudarfuturo/cms/?cat=69>.

_____. (Org.). *Fundo Amazônia: Uma Experiência de Cooperação Internacional e Gestão Brasileira*. FEA/USP, 2009-2013. Disponível em: <https://www.usp.br/mudarfuturo/cms/?cat=80>

_____. (Org.). *Os Compromissos de Paris e os ODS 2030: Energia, Florestas e Redução de GEE*. FEA/USP, 2015-2016. Disponível em: <https://www.usp.br/mudarfuturo/cms/?cat=119>

MARQUES, Luiz. *Capitalismo e Colapso Ambiental*. Campinas, Brazil: Editora da Unicamp, 2015.

MICHELINI, Janaina, LAHSEN, Myanna. Implicações da pecuária brasileira para a segurança alimentar: a ciência e o discurso do setor produtivo. *Sustentabilidade em Debate - Brasília* 7, 3, PP. 112-126, 2016.

NEWELL, Peter. The Elephant in the Room: Capitalism and Global Environmental Governance. *Global Environmental Change* 21, PP. 4-6, 2011.

NEWELL, Peter, PATERSON, Matthew. *Climate Capitalism: Global Warming and the Transformation of the Global Economy*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2010.

NOBRE, C. et al.. *Vulnerability of Brazilian megacities to climate change: The São Paulo Metropolitan Region (RMSP)*. In: MOTTA, Ronaldo S. et al.. *Climate change in Brazil: economic, social and regulatory aspects*. Brasília: IPEA, 2011.

NOBRE, Carlos. Oportunidade histórica. Folha de S. Paulo, 20 agosto 2015, Tendências e Debates.

O'RIORDAN, Timothy. Sustainability beyond austerity: Possibilities for a successful transition to a wellbeing society. *Social Analysis*, 211 XLIX, PP. 497-520, 2014.

PACHAURI, Rajendra K., et al. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2014.

PARK, Jacob, CONCA, Ken, FINGER, Matthias, eds. *The Crisis of Global Environmental Governance: Towards a New Political Economy of Sustainability*. London: Routledge, 2008.

PARKIN, Sara. Leadership for Sustainability: The Search for Tipping Points. *Addressing Tipping Points for a Precarious Future*, edited by T. O'Riordan and T. Lenton, 194-212. Oxford, UK: Oxford University Press, 2013.

SAREWITZ, Daniel, PIELKE, Roger A., BYERLY, Radford, Eds. *Prediction: Decision-Making and the Future of Nature*. Washington, D.C.: Island Press, 2000.

STERN, Nicholas. *The Economics of Climate Change – The Stern Review*. Cambridge University Press, 2006.

_____. *Why Are We Waiting?: The Logic, Urgency, and Promise of Tackling Climate Change*. Mit Press, 2015.

TOURAINÉ, Alain. *Pourrons-nous vivre ensemble? – Égaux et différents*. Librairie Arthème Fayard, 1997.

WORTHEN, Blaine R., SANDERS, James R., FITZPATRICK, Jody L. *Avaliação de programas – concepções e práticas*. Edusp/Editora Gente, 2004.

RAYNER, Steve. Uncomfortable knowledge: the social construction of ignorance in science and environmental policy discourses. *Economy and Society* 41, 1, PP. 107-125, 2012.

ROCKSTRÖM, Johan, KLUM, Mattias. *The Human Quest: Prospering Within Planetary Boundaries*. Langenskiölds, 2012.

ROGERS, Deborah S., et al. "A vision for human well-being: transition to social sustainability." *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4.1, PP. 61-73, 2012.

ROSE, Adam. *Economic principles, issues, and research priorities in hazard loss estimation*. In: OKUYAMA, Yasuhide; CHANG, Stephanie E. *Modeling spatial and economic impacts of disasters*. New York: Springer, 2004.

SDSN (Sustainable Development Solutions Network). Financing Sustainable Development: implementing the SDGs through effective investment strategies and partnerships. 2015.

SCOTT, James C.. Seeing Like a State. New Haven: Yale University Press, 1998.

STERMAN, John D. Policy Forum: Risk Communication on Climate Change: Mental Models and Mass Balance. *Science* 322, 24 October, 2008.

STIRLING, Andy. Emancipating transformations: From controlling ‘the transition’ to culturing plural radical progress. *The Politics of Green Transformations*, ed. SCOONES, Ian, LEACH, Melissa, NEWELL, Peter. London, New York: Routledge, 2015.

TUNDISI, José G., TUNDISI, MATSUMURA, Takako. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biota Neotropica* 10 (4), PP. 67-75, 2010.

VISEU, Ana. Integration of social science into research is crucial.” *Nature* 525, 7569, PP. 291-291, 2015. WILKINSON, Richard, PICKETT, Kate, CATO, Molly S. *The spirit level. Why more equal societies almost always do better*. Penguin, London, 2009.

WILL, Will, PERSSON, Åsa, DEUTCH, Lisa, ZALASIEWICZ, Jan, WILLIAMS, Mark, RICHARDSON, Katherine, CRUMLEY, Carole et al. The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship. *Ambio* 40 (7), PP. 739-761, 2011.

WRI (World Resources Institute). **Designing and Preparing Intended Nationally Determined Contributions (INDCs)**. Advanced Unedited Version. 13 maio.2015.

Sites consultados:

<http://www.coalizaobr.com.br/>

<http://blog.planalto.gov.br/assunto/cop-21/>

<http://www.scielo.br/pdf/rausp/v49n2/06.pdf>

<http://www.amazonfund.gov.br/FundoAmazonia/fam/site>

Zonas Costeiras

Margareth S. Copertino¹
Carlos A. Garcia^{1,4}
Alexander Turra²
Áurea Maria Ciotti²
Douglas Gherardi³
Márcia R. Denada²
Osmar Möller¹
Patrizia Raggi¹
Paulo Antunes Horta⁴
Ruy P. K. Kikuchi⁵
Renato Ghisolfi⁶
Antonio F. Klein⁴
Eduardo Siegle²
Paulo H. G. O. Sousa²
Paulo C. Lana⁷

Resumo

Zonas costeiras são muito vulneráveis às mudanças climáticas, fato exacerbado pelo grau de degradação ambiental e com consequências drásticas para os bens e serviços providos pelos ecossistemas costeiros. A extensa costa brasileira abriga uma alta diversidade de ambientes e ecossistemas, influenciados por climas regionais e dinâmicas geomorfológicas e oceanográficas distintas, implicando em níveis de vulnerabilidades variáveis às mudanças climáticas. O subprojeto Zonas Costeiras do INCT para Mudanças

-
- 1 Universidade Federal do Rio Grande
 - 2 Universidade de São Paulo
 - 3 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
 - 4 Universidade Federal de Santa Catarina
 - 5 Universidade Federal da Bahia
 - 6 Universidade Federal do Espírito Santo
 - 7 Universidade Federal do Paraná

Climáticas, também vinculado à Rede Clima, foi criado com o objetivo de avaliar o estado do conhecimento, identificar deficiências, estabelecer protocolos, coordenar/integrar projetos que investiguem a vulnerabilidade das zonas costeiras brasileiras aos impactos das mudanças climáticas globais. Este capítulo apresenta uma síntese dos seus principais resultados, ações e impactos, de 2009 a 2016. O subprojeto Zonas Costeiras contribuiu para a superação de muitas deficiências do conhecimento sobre mudanças climáticas no Brasil. Promoveu a integração entre pesquisadores de diversas áreas e regiões do país, culminando na criação de uma rede de monitoramento da biodiversidade bentônica (ReBentos) e um sistema observacional de parâmetros meteoceanográficos (SiMCosta). Foram realizadas sínteses sobre o estado da arte do conhecimento e análises de impactos e vulnerabilidades, em diversas áreas das ciências do mar. As incertezas associadas às medições maregráficas no Brasil limitam os estudos nacionais sobre a tendência do nível médio do mar (NMM), demandando investimentos para a obtenção de séries temporais longas. A erosão costeira ocorre de modo generalizado ao longo de todo o litoral brasileiro por causas múltiplas. Diversas são as cidades costeiras que sofrem com problemas de erosão, drenagem e inundações, os quais serão amplificados em cenários de mudanças climáticas. Mudanças na circulação costeira e estuarina foram observadas nas últimas décadas. No sul do Brasil, observou-se aumentos nas taxas de descarga fluvial e no nível das águas em lagoas costeiras, relacionados com aumentos nas taxas de precipitação para a região, que afetam a qualidade da água, comunidades biológicas e a socioeconomia local, particularmente a produção pesqueira. O aumento da temperatura das águas superficiais do Atlântico Sudoeste, acoplado ao cenário de intensificação das chuvas na bacia do rio da Prata, interfere nas entradas de nutrientes e na estratificação das águas da plataforma continental ao sul, induzindo modificações na estrutura das comunidades algais e afetando a capacidade de sequestro de CO₂ da região. Estudos sobre os ecossistemas costeiros e sua biodiversidade apontam mudanças na abundância e distribuição de espécies-chave, aumento na incidência e abundância de espécies oportunistas, aumento na frequência de eventos de branqueamento e mortalidade de corais, perda de bancos de gramas marinhas e reduções de manguezais. Não se pode afirmar, entretanto, o quanto dessas modificações pode ser atribuído a impactos antropogênicos ou às mudanças climáticas. Os ecossistemas costeiros vegetados brasileiros – manguezais, marismas e pradarias marinhas

– possuem alta capacidade de sequestro de carbono, sendo de suma importância na mitigação das mudanças climáticas. Esses estoques estão ameaçados pela intensa ocupação da zona costeira, podendo gerar emissões da ordem de milhões de toneladas de CO₂ por ano. A aplicação de modelos hidrodinâmicos associados a modelos ecológicos (modelagem biofísica) tem contribuído para melhor compreender como as alterações no clima impactam a circulação do oceano e influenciam a distribuição e a resiliência das populações de organismos marinhos na costa brasileira. As respostas dos sistemas costeiros e marinhos às variabilidades climáticas e oceanográficas, associadas ao grau de sensibilidade das espécies e vulnerabilidade dos ecossistemas, apresentam implicações para a socioeconomia de populações costeiras, particularmente aquelas que dependem dos recursos pesqueiros. Para prever melhor os impactos das mudanças climáticas sobre as zonas costeiras brasileiras, compreender as respostas dos ecossistemas, da sua biodiversidade e as suas implicações socioambientais, faz-se necessário o investimento em infraestruturas observacionais estratégicas e a criação de centros e laboratórios interdisciplinares e multi institucionais. A continuidade e o fortalecimento das redes e sistemas observacionais existentes e dos programas de longo prazo são fundamentais para a consolidação de uma agenda nacional de pesquisa em mudanças climáticas.

Introdução

As zonas costeiras estão entre as áreas mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas, prevendo-se que serão diretamente atingidas pelo aumento acelerado do nível médio do mar (entre +24 e +131 cm até 2100; Koop et al., 2016), elevação da temperatura superficial do mar (até 3°C) e do continente (até 4°C), eventos extremos de ondas de tempestade e ressacas, alterações nos regimes de precipitação e descarga continental, e acidificação dos oceanos (Trenberth et al., 2007; Bindoff et al., 2007; Nicholls et al., 2007; Poloczanska et. al, 2007) (Figura 1a e 1b). A compreensão sobre as implicações das mudanças climáticas sobre os sistemas costeiros aumentou substancialmente nas últimas décadas, com um progressivo reconhecimento das consequências adversas causadas por desastres naturais relacionados com as mudanças do clima e do nível médio do mar (Nicholls et al., 2007). Ao longo do século XX, a elevação do nível do mar contribuiu significativamente para o aumento das inundações, erosão e perdas dos ecossistemas. Os efeitos

observáveis do aumento da temperatura incluem redução do gelo marinho, derretimento do “permafrost” e consequente retração costeira, além do aumento na frequência de eventos de branqueamento e mortalidade de corais. As previsões antecipadas dos impactos relacionados com as mudanças climáticas variarão consideravelmente em escalas globais e regionais, mas é certo que muitos desses impactos trarão prejuízos para os ecossistemas e para a sociedade.

Os impactos das mudanças climáticas sobre as regiões costeiras serão exacerbados pelo grau de degradação ambiental e pelo aumento acelerado da urbanização e atividades humanas concentradas nessas regiões, com consequências drásticas para a sociedade, que depende dos bens e serviços dos ecossistemas costeiros (Nicholls et al., 2007). Fluxos monetários provenientes de serviços ecossistêmicos são estimados na ordem de US\$ 2 mil (plataforma continental), US\$ 8 mil (estuários), US\$ 194 (manguezais) até US\$ 352 mil dólares/hectare ano (recifes de corais) (Constanza et al., 2014, Groot et al., 2012). As perdas de áreas e de funcionalidade dos ecossistemas, registradas para os últimos 30 anos, indicam um declínio drástico no valor global dos serviços ecossistêmicos, mas cuja ordem de magnitude é ainda altamente incerta (Pendleton et al., 2016).

Grandes cidades com alta densidade populacional estão concentradas a menos de 100 km da linha de costa, próximas à foz de grandes rios e em regiões de baixa altitude, e a densidade populacional das zonas costeiras deve mais do que dobrar até 2080. Para a maioria das regiões costeiras, esse crescimento implica na redução ou perda da resiliência dos sistemas naturais e o aumento da vulnerabilidade socioambiental. Inundações, perda da qualidade da água, colapsos pesqueiros ou de outros recursos naturais costeiros impactarão, direta ou indiretamente, centenas de milhões a bilhões de pessoas. Os custos e prejuízos socioeconômicos, advindos desses impactos, deverão aumentar significativamente em função das mudanças climáticas.

A costa brasileira abriga uma alta diversidade de ambientes e ecossistemas, cuja estrutura e dinâmica são fortemente influenciadas pelas dinâmicas geomorfológicas e características meteorológicas e oceanográficas de cada região, implicando em níveis de vulnerabilidades bastante variáveis (Muehe et al., 2010). O estudo e compreensão dos impactos das mudanças climáticas globais sobre cada região costeira do país são imprescindíveis para o planejamento estratégico e para a tomada de decisões por parte do poder público e da sociedade. A formação de arranjos institucionais

próprios, multidisciplinares e integrados, com novos modelos de governança, não pode prescindir de uma correta avaliação dessa complexidade. São fundamentais a criação e a manutenção de sistemas observacionais permanentes e eficientes que permitam análises apropriadas, em diversas escalas de tempo e espaço (Turra et al., 2013). Tais sistemas observacionais costeiros devem ser extensivos e compreensivos, transcendendo os programas de monitoramento de cunho local ou regional, de forma a fornecer as melhores informações científicas para o adequado manejo dos ecossistemas e recursos naturais (Clarck et al., 2001; Christian et al., 2005). As redes de monitoramento são especialmente importantes para a quantificação e modelagem dos processos físicos, químicos e ecológicos, tornando mais eficiente a previsão dos impactos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas costeiros, tanto no nível regional como global.

O subprojeto Zonas Costeiras do INCT para Mudanças Climáticas, também vinculado à Rede Clima, foi criado para enfrentar o grande desafio científico de avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre o extenso litoral brasileiro e sua zona costeira, considerando as dinâmicas naturais e vulnerabilidades ecológicas e socioambientais próprias de cada região e ecossistema. Os resultados científicos visam, em médio e longo prazo, alcançar uma compreensão ampla e integrada do problema, em escalas locais, regionais e nacional, de modo a melhor embasar os planos de adaptação e mitigação às mudanças climáticas. O subprojeto Zonas Costeiras compreende uma rede de pesquisa multi/interdisciplinar e interinstitucional, formada inicialmente por mais de 30 pesquisadores de diferentes regiões do país e áreas do conhecimento (<http://mudancasclimaticas.zonascosteiras.com.br>). O objetivo geral do subprojeto foi avaliar o estado do conhecimento, identificar deficiências, estabelecer protocolos, coordenar/integrar projetos que investiguem a vulnerabilidade e os efeitos das mudanças climáticas em zonas costeiras brasileiras, propondo ações adaptativas e mitigadoras, em conjunto com setores organizados da sociedade.

O presente capítulo apresenta uma síntese dos principais resultados, ações e impactos do subprojeto Zonas Costeiras ao longo de quase oito anos de atuação (2009 a 2016). As vulnerabilidades da zona costeira brasileira aos impactos potenciais das mudanças climáticas foram estudadas a partir de distintos recortes, incluindo diversas áreas temáticas, ecossistemas e processos. As ênfases primárias incluíram as variações projetadas do nível do mar, riscos costeiros (erosão e inundação), hidrodinâmica e circulação, produção

primária, acoplamento atmosfera-oceano-sistemas biológicos, biodiversidade, sequestro de carbono e socioeconomia pesqueira. Os enfoques metodológicos aplicados são múltiplos, incluindo revisões históricas, análises de dados observacionais, monitoramento, experimentos, inferências estatísticas e modelagem. São ainda apresentadas as principais ações concretas que emergiram a partir da criação do subprojeto e da sub-rede da Rede Clima, e a interação entre os diferentes grupos de pesquisas, como a criação de redes de estudo e monitoramento e a instalação de infraestruturas físicas observacionais. O capítulo visa fornecer uma síntese integrada, que possa servir de base aos planos de adaptação e mitigação de mudanças climáticas, propondo recomendações para o avanço da ciência sobre mudanças climáticas no Brasil.

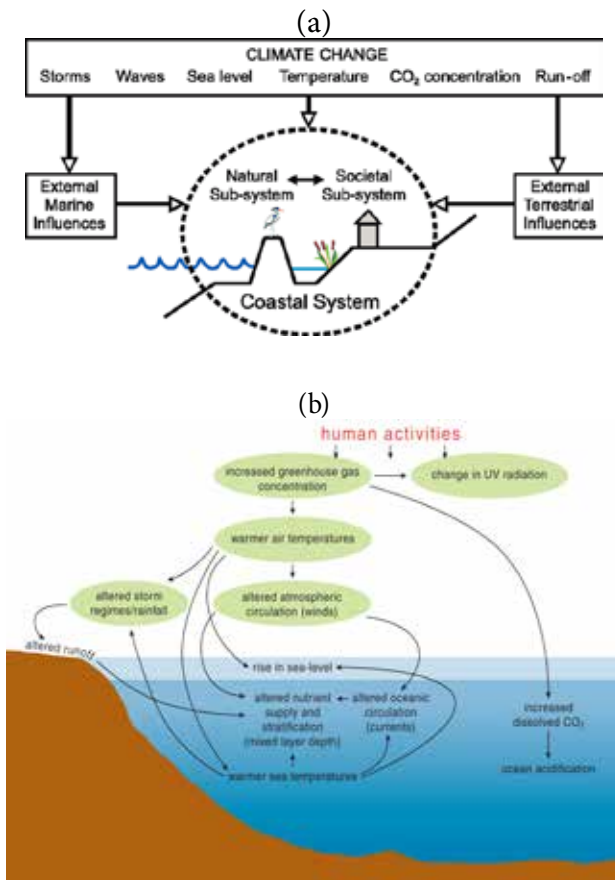


Figura 1 – (a) Principais impactos das mudanças climáticas sobre sistemas costeiros, ressaltando as influências externas marinha e terrestre (Nicholls et al., 2007); (b) Mudanças

na atmosfera e nos oceanos causadas por atividades humanas. O aumento da concentração de CO₂, a elevação da temperatura do ar e as modificações na circulação atmosférica e no regime de chuvas e tempestades causam alterações (diretas e indiretas) em diversos parâmetros físicos e químicos da água do mar, com impactos observados e previstos sobre a biodiversidade marinha e os serviços ecossistêmicos (Poloczanska et. al, 2007).

Ações e impactos

O subprojeto Zonas Costeiras do INCT para Mudanças Climáticas realizou diversas ações com impactos variados na geração de conhecimento e políticas públicas. Nesse contexto, questões científicas pertinentes e os impactos sobre a costa e as vulnerabilidades física, ecológica e socioeconômica foram estudados de modo a ter repercussão nacional e internacional. A seguir serão destacados resultados dessas iniciativas na pesquisa, formação de recursos humanos e transferência de conhecimento para a sociedade e tomadores de decisão.

Pesquisa

Os esforços integrados do subprojeto Zonas Costeiras alcançaram boa parte de seus objetivos e metas originais, produzindo resultados concretos. As três edições do Workshop Brasileiro de Mudanças Climáticas em Zonas Costeiras, realizadas em 2009, 2011 e 2013, tiveram papel fundamental para o alcance dos objetivos e metas. Os encontros fomentaram a integração entre pesquisadores, a consolidação nacional do subprojeto, a produção de artigos e documentos, e catalisaram a formação de redes de monitoramento e programas observacionais.

Resultados preliminares do subprojeto foram publicados em 14 artigos dentro do Volume Especial *Climate Changes and Brazilian Coastal Zones*, um marco inicial do projeto, que forneceu bases preliminares para as pesquisas integradas subsequentes dentro do tema mudanças climáticas e zonas costeiras (Garcia & Nobre, 2010; Copertino et al., 2010). O volume especial da Rede de Monitoramento dos Habitats Bentônicos Costeiros, publicado em 2016 pelo *Brazilian Journal of Oceanographic*, apresenta nove sínteses sobre o estado da arte do conhecimento da biodiversidade dos habitats costeiros, com foco nos impactos antropogênicos e vulnerabilidades às mudanças climáticas (Turra & Denadai, 2016). A produção conjunta do subprojeto, de 2009 a 2016, especificamente dentro dos temas de mudanças

climáticas, variabilidade climática e oceanográfica, totaliza mais de 300 artigos em revistas internacionais e nacionais.

A partir da integração e discussões durante os workshops, surgiram recomendações e iniciativas para a criação e fortalecimento de redes observacionais para a costa brasileira para o monitoramento integrado e extensivo, com a coordenação e participação de membros do subprojeto Zonas Costeiras. Nesse aspecto, destacam-se a criação da Rede de Monitoramento dos Habitats Bentônicos Costeiros (ReBentos) e do Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SiMCosta). Diversos programas e projetos integrados, nacionais e regionais, contam com a coordenação ou participação ativa de membros do subprojeto Zonas Costeiras, como: Projeto Riscos Costeiros, Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD), Rede de Estudos Hidrodinâmicos, Ecológicos e de Monitoramento de Qualidade Ambiental em Sistemas Aquáticos (REHMANSAs), Rede Abrolhos, Projeto Biota/FAPESP Araçá, Rede Antares entre outros.

A internacionalização do subprojeto Zonas Costeiras foi realizada através de diversas ações, como:

1. a participação ativa de pesquisadores internacionais durante a segunda e a terceira edição do Workshop de Mudanças Climáticas e Zonas Costeiras;
2. a realização de encontros internacionais sediados no Brasil por membros do subprojeto, com destaque para os eventos Sensitivity of Central and South American Benthic Communities to Global Climate Changes (Ilhabela, 2012), Global Change in Coastal Marine Ecosystems (Santos, 2015), Third International Symposium on Effects of Climate Change on the World's Oceans (Santos, 2015), VII International Sandy Beach Symposium (Ilhabela, 2015), Blue Carbon Scientific Working Group no Brasil (Rio Grande, 2014);
3. a participação de membros do subprojeto em grupos de trabalho e painéis internacionais, dentro do tema de mudanças climáticas e zonas costeiras, nas mais diversas áreas do conhecimento, com destaque para os grupos The Blue Carbon Initiative, Latin-American Ocean Acidification Network, Integrated Marine Ecosystem Biogeochemistry and Ecosystem Research (IMBER) e Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR).

Formação de Recursos Humanos

Com a constituição do subprojeto Zonas Costeiras e de seus projetos vinculados, houve um aumento significativo de formação de recursos humanos dedicados à temática das mudanças climáticas. No período de vigência do INCT para Mudanças Climáticas, foram conduzidos cerca de 10 projetos de pós-doutorado, 30 de doutorado, 40 de mestrado, 26 de iniciação científica, 6 trabalhos de conclusão de curso e 20 bolsistas de desenvolvimento técnico-industrial. A formação de pesquisadores dedicados às mudanças climáticas, em diversas instituições ao longo da costa brasileira, tem criado novos quadros de formação e novos quadros de pesquisa, feita de forma colaborativa e voltada para a detecção de mudanças de larga escala temporal e espacial. A extensa série de eventos, entre simpósios e workshops nacionais e internacionais, contribuiu significativamente para uma melhor formação de recursos humanos e para uma participação mais ampla de pesquisadores interessados no tema.

Transferência de conhecimento

A Declaração de Rio Grande (2009) foi um dos primeiros produtos do subprojeto Zonas Costeiras, elaborado pelos participantes do I Workshop de Mudanças Climáticas em Zonas Costeiras (Rio Grande, setembro de 2009). Trata-se de um documento de base com proposições de metas científicas e recomendações destinadas ao poder público, privado e sociedade organizada. Esse documento teve expressiva divulgação pelos meios científicos, públicos e midiáticos, por ocasião de seu lançamento. Além de estar publicado em volume especial de periódico científico, o documento pode ser encontrado hoje no site do subprojeto (www.mudancasclimaticas.zonascosteiras.furg.br). Dentre as principais recomendações, o documento enfatiza: a criação ou intensificação de ações que promovam a redução imediata das emissões de gases de efeito estufa; o avanço do conhecimento científico sobre os ecossistemas costeiros; o fortalecimento do sistema de observação; a elaboração e execução de planos de gerenciamento ambiental que promovam a conservação dos ecossistemas costeiros sob cenários de mudanças climáticas; o fortalecimento de políticas públicas existentes; o incentivo às soluções inovadoras que estimulem medidas de adaptação de cidades costeiras; e a ampliação da visão crítica e conscientização da sociedade com relação ao tema mudanças climáticas.

Através dos estudos realizados no âmbito do subprojeto, o conhecimento sobre a dinâmica dos ecossistemas costeiros está sendo ampliado e integrado em largas escalas geográficas e temporais, e divulgado em diferentes esferas públicas e privadas. Diversas atividades dos pesquisadores estão relacionadas com demandas específicas ou são realizadas em interação com os ministérios de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), Meio Ambiente (MMA), Pesca e Aquicultura (hoje integrado ao Ministério da Agricultura), Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Fundação Boticário, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), assim como superintendências estaduais de portos dentre outras instituições.

Dessa maneira, as diversas ações e projetos do subprojeto Zonas Costeiras vêm fornecendo subsídios para a tomada de decisão, nas esferas públicas e privadas, direcionando ações de gerenciamento e contribuindo diretamente para a conservação efetiva dos recursos naturais e para ações de adaptação e mitigação. Dentro da ReBentos, por exemplo, há previsão de fornecimento de produtos específicos para o planejamento e proposição de políticas públicas voltadas para as mudanças climáticas globais, como os planos nacionais de Adaptação à Mudança do Clima, de Biodiversidade e de Zonas Costeiras (MMA), além de estratégias de monitoramento de Unidades de Conservação, considerando manguezais e costões rochosos junto ao ICMBio.

A educação ambiental é uma das vertentes trabalhadas por um dos grupos de trabalho da ReBentos, que visa levar o conhecimento ao público em geral, através de ações educativas de longo alcance. Diversos produtos de divulgação, principalmente educativos (jogos, cartilhas etc.), bem como blogs e vídeos online, além de reportagens em diversos meios de comunicação foram elaborados e disseminados pelos seus integrantes.

O subprojeto Zonas Costeiras teve ainda participação ativa no processo de elaboração da Terceira Comunicação Nacional (TCN) do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês). A elaboração das Comunicações Nacionais é um trabalho coletivo do governo federal, coordenado pelo MCTIC, desenvolvido em parceria com instituições e especialistas representados, em grande parte, pela Rede Clima e pelo INCT para Mudanças Climáticas. A coordenação do subprojeto Zonas Costeiras participou do processo de

seleção e supervisão dos consultores, além de fornecer informações e revisar parte dos documentos produzidos. A TCN foi submetida pelo MCTIC à Organização das Nações Unidas (ONU) em abril de 2016.

O conhecimento e os documentos produzidos pelo subprojeto também fornecem embasamento para as revisões do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC). Destaca-se para 2016 a participação de pesquisadores do subprojeto na preparação do “Relatório Especial sobre Zonas Costeiras e Cidades Frente às Mudanças Climáticas”, produzido pelo PBMC, que deverá focar no impacto das mudanças climáticas e variabilidade natural do clima sobre as populações humanas e infraestruturas.

No âmbito da interação com setores privados, o SiMCosta foi contemplado pela Cooperação Brasil-Canadá (Chamada MCTI/CNPq-ISTP-Canadá 019/2012, Ciência e Tecnologia dos Oceanos), com a promoção de ações de integração entre universidades e empresas para a instalação de sistemas inovadores de observação dos oceanos e zonas costeiras. O SiMCosta foi escolhido para monitorar os Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de 2016 - uma demanda do Comitê Olímpico financiada com recursos do MCTIC. Três boias, instrumentos e sensores foram adquiridos e instalados no Rio de Janeiro (RJ) para essa finalidade. Após os Jogos, algumas dessas boias foram transferidas para outros locais da costa brasileira.

Impactos das mudanças climáticas globais: tendências, vulnerabilidades e potencialidades da zona costeira brasileira

Tendências do nível do mar

Dentre os efeitos das mudanças climáticas sobre a costa, a elevação do nível médio do mar (NMM) tem recebido grande ênfase devido aos impactos evidentes nas regiões costeiras, tais como inundação, erosão, intrusão de água marinha, mudanças nos padrões de sedimentação, redução da penetração da luz na lâmina d'água, além dos impactos à infraestrutura e às comunidades costeiras (Hinkel et al., 2014; Church et al., 2013). O aumento recente do NMM está associado principalmente ao derretimento dos mantos de gelo e à expansão térmica da água, causados pelo aquecimento global. Um estudo recente concluiu, a partir da quantificação das forças naturais (variabilidades naturais na energia solar incidente, erupções

vulcânicas, no clima passado) e antropogênicas (principalmente gases de efeito estufa), que componentes antropogênicos de fato dominam (maior que 60%) enquanto causa do aumento médio no nível do mar, depois de 1970 (Slangen et al., 2016). A estabilização da elevação da temperatura global poderia reduzir o derretimento do gelo, mas não deverá parar a subida do NMM, devido à inércia inerente ao efeito da expansão térmica da água.

Nos últimos 20 anos, a elevação global do NMM foi de cerca de $3,23 \pm 0,4$ mm por ano. As estimativas sugerem que, até 2081-2100, o nível do mar aumentará em 95% das costas de todo o mundo (IPCC, 2013), com projeções que variam entre 0,26 m até 1,50 m (Koop et al., 2016). Essa elevação não será uniforme ao longo das regiões costeiras do globo (Pauchari, 2015). As estimativas globais raramente refletem a realidade local, já que fatores regionais e locais, ou a interação entre estes, torna cada região um caso particular. As causas principais incluem a circulação oceânica e costeira, efeitos gravitacionais estáticos (resultantes das mudanças de massa dos mantos de gelo), mudanças nos estoques de água subterrânea, subsidência continental, ajustamento isostático glacial e, em menor extensão, fatores climáticos regionais (Stammer et al., 2013). As projeções de aumento relativo do nível do mar (considerando o movimento da crosta terrestre) podem apresentar desvios de até 20 cm dos valores médios globais, em mais de 80% das linhas de costa (Carson et al., 2016). Para a costa brasileira, as projeções para 2081-2100 (cenário intermediário RCP 4.5 do IPCC), estimadas por dados de altimetria satelital e modelos regionais, mostram valores de aumento relativo de 0,4 até 0,57 m, com as maiores elevações observadas para o Norte e Nordeste (Carson et al., 2016).

Avaliações sobre as tendências observadas do nível do mar ao longo da costa brasileira foram realizadas por Neves e Muehe (1995), Mesquita (2003), Muehe (2006) e Lousada et al. (2013). Analisando dados de 50 anos da estação maregráfica de Cananéia (1954-2004), Costa (2007) estimou uma elevação na ordem de 4,2 mm por ano. Lousada et al. (2013) examinaram as mudanças do nível do mar juntamente com marés, ondas de tempestade e eventos extremos, concluindo que o nível do mar está subindo em toda a costa brasileira, com uma tendência no Sul de aumento por ondas de tempestade e durante anos de El Niño. Apesar das várias tentativas de estimativas para o Brasil, muitas deficiências ainda dificultam a condução de estudos básicos sobre as previsões da elevação do nível do mar, como a inexistência de um referencial altimétrico ortométrico e a carência de

dados históricos que permitam estabelecer as taxas de elevação (Lemos & Ghisolfi, 2010). A incerteza associada às medições maregráficas no Brasil, seja pela ausência de padronização das técnicas de obtenção, tratamento e análise dos dados e/ou pelo tamanho reduzido de séries temporais contínuas, limitam quaisquer resultados de estudos sobre a tendência do NMM na maior parte da costa brasileira. A atribuição e as previsões sobre a tendência atual e futura do nível do mar requerem um sistema observacional climático e oceanográfico robusto e preciso.

Mapas de vulnerabilidade da elevação do nível do mar, desenvolvidos a partir de modelos globais (ex. Nicolodi et al., 2010; Costa et al., 2010), não são suficientemente precisos para avaliações dos impactos desse fenômeno nas escalas locais e regionais da costa brasileira. Somente a partir da existência de uma base confiável de dados será possível mapear tais vulnerabilidades e realizar uma previsão dos impactos sobre os meios físico, biótico e socioeconômico, gerar cenários futuros e avaliar as alternativas de mitigação, bem como estratégias adaptativas.

As iniciativas brasileiras para medir o nível do mar datam desde 1910 e podem ser agrupadas em três períodos distintos quanto aos objetivos e tecnologias empregadas (Lemos & Ghisolfi, 2010; Gonzáles et al., 2016). Infelizmente, a maioria dos marégrafos instalados nas décadas passadas, ativos inicialmente, não foi mantida ou foi destruída, com exceção da estação de Cananéia, onde a série temporal tem agora mais de 50 anos, período mínimo para avaliar tendências de longo prazo (Pirazzolli, 1986), mas também sem um referencial altimétrico ortométrico. A partir de 1990, foram realizadas melhorias no estabelecimento de níveis de referências (tanto locais, como do *Datum* vertical) e foi criado o Permanent Tide Network for Geodesy (PTNG), que utiliza estimativas mais precisas com GPS contínuo, gravímetros e altimetria. Atualmente, a iniciativa mais importante para monitorar o nível do mar é o Global Sea Level Observing System - Brasil (GLOSS-Brasil), implementado dentro da Ação GOOS-Brasil e gerenciado pela Marinha Brasileira. A rede maregráfica GLOSS-Brasil possui atualmente 12 estações distribuídas ao longo da costa brasileira, mantidas por diferentes instituições.

Apesar dos mais de 9000 km de linha de costa brasileira, considerando as saliências e reentrâncias do litoral, há somente duas estações maregráficas (Fortaleza (CE) e Salvador (BA) atualmente em operação (maio de 2016) constando na lista *online* da Intergovernmental Oceanographic

Commission (IOC) da UNESCO. Nesse sentido, a obtenção de séries temporais de NMM longas depende da continuidade dos atuais esforços por parte, principalmente, do IBGE e do Centro de Hidrografia da Marinha-Diretoria de Hidrografia e Navegação (CHM-DHN), no controle, manutenção e modernização dos marégrafos, para a implantação de um *Datum* Geocêntrico, para a utilização de informações altimétricas e para a incorporação de medidas geodésicas e de controle de movimentos da crosta terrestre, entre outros. A utilização de novas tecnologias (CGPS e o gravímetro), que auxiliam na acurácia das estimativas, começaram a ser implementadas apenas neste século, e devem ser disseminadas.

Circulação costeira e estuarina

Considerando que os regimes de ventos e de precipitação sobre o continente sul-americano são altamente dependentes da temperatura da superfície do mar no Atlântico e no Pacífico, é de se esperar que mudanças climáticas de grande escala tenham profundo impacto nos padrões de circulação costeira. Isso fica claro quando se analisa os padrões de circulação atmosférica durante eventos El Niño (La Niña), os quais intensificam (reduzem) os ventos de N/NE de junho a agosto, na parte subtropical da América do Sul (Barros et al., 2002). Essa situação altera a circulação costeira na região Sul do Brasil, que é influenciada pela progressão das águas da pluma do rio da Prata (APP), durante outono e inverno (Möller et al., 2008). Em períodos ditos normais, a APP atinge distâncias de aproximadamente 1.000 km da desembocadura do rio da Prata. Durante eventos de El Niño, entretanto, quando a descarga do rio da Prata atinge valores três vezes superiores à média de 20.000 m³/s, a pluma é impedida de progredir para o norte, sendo forçada para oceano aberto (Piola et al., 2005). Nos anos de La Niña, essa progressão para o norte tende a ser mais intensificada. As intensificações de ventos de norte no outono e inverno de anos El Niño podem induzir processos de ressurgência costeira em locais onde normalmente não se verificariam nessa época ou, adicionalmente, forçar a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) a se aproximar da costa, trazendo alterações significativas na produção primária em áreas do embaçamento de São Paulo.

A carência de estudos sistemáticos e integrados, particularmente nas regiões Norte e Nordeste, limitam uma maior compreensão da forma como eventos de longo período podem afetar as zonas costeiras e a plataforma

continental, em cada região costeira brasileira. Da mesma forma, faltam medições de níveis das águas e de outros parâmetros oceanográficos para avaliações dessas tendências de longo prazo e das interações entre a plataforma continental e áreas estuarinas, como forma de avaliar se há um equilíbrio nas tendências verificadas de um e outro lado, para melhor modelar e prever cenários futuros.

Dentre os ambientes costeiros altamente vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas estão estuários, deltas e baías semifechadas, afetados diretamente pelas mudanças no nível do mar, nas taxas pluviométricas e alterações do campo de ventos, com consequências para as amplitudes das marés e descargas fluviais (Möller et al., 2001). As mudanças na hidrodinâmica estuarina e de sistemas costeiros fechados afetam a socioeconomia regional, particularmente a produção pesqueira (Möller et al., 2009; Schroeder & Castello, 2010). As análises de dados pretéritos apontam para um aumento nas taxas de descarga fluvial e aumento de nível das águas em bacias hidrográficas na região Sul do Brasil, ao longo dos últimos 40 anos (Lagoa dos Patos - Möller & Fernandes, 2010; Lagoa Mirim - Hirata et al., 2010). Esses processos estão ligados a aumentos nas taxas de precipitação para a região (Haylook et al. 2006, Vera et al. 2006, Agosta & Compagnucci, 2008), possivelmente associados principalmente à intensificação dos eventos de El Niño e seus efeitos sobre o Sul do Brasil (Grim et al., 2000). Não se pode descartar também atividades humanas, como o aumento das áreas urbanas que diminuem a infiltração das águas de chuva, desmatamentos, mau uso do solo e intensidade nas atividades agrícolas que retiram matas ciliares, facilitando o escoamento de águas e sedimentos para as bacias hidrográficas. As consequências mais fáceis de serem previstas são: redução na salinidade média, aumento da turbidez e incremento da dinâmica de sedimentos de estuários, como já observado no estuário da Lagoa dos Patos (Toldo Jr. et al., 2006). Tais modificações nas características dos parâmetros físico-químicos da água acarretam consequências significativas para ecologia das comunidades e para a socioeconomia local, já evidenciadas nos estuários do Sul do Brasil (seções Ecossistemas e biodiversidade bentônica e Socioeconomia pesqueira, adiante). Para a grande maioria dos estuários brasileiros, entretanto, a inexistência de séries temporais longas inviabiliza qualquer projeção dos efeitos das mudanças climáticas, o que só faz aumentar a urgência de estudos sobre a variabilidade sazonal, interanual ou de escalas ainda mais amplas. Cenários associados a eventos de El

Niño e La Niña podem ser utilizados para que se formulem hipóteses sobre as consequências de alterações de mais longo período. Como esses sistemas costeiros dependem do que se passa na zona costeira das plataformas continentais, é fundamental que essas medições de longo período sejam simultâneas nos dois ambientes.

Vulnerabilidades da linha de costa

As respostas dos sistemas naturais costeiros à elevação do nível do mar são dinâmicas e irão variar de acordo com as condições geomorfológicas, climáticas e antropogênicas locais (Bijlsma et al., 1996). Em geral, fenômenos como erosão e inundação poderão ser agravados ou desencadeados, com grandes prejuízos às cidades costeiras. Tais processos são consequência não apenas de mudanças no nível do mar, mas também de modificações na distribuição das chuvas, na descarga de material particulado de rios, na frequência direcional e intensidade das ondas e do aumento da frequência e intensificação de marés meteorológicas associadas a ciclones extratropicais (Muehe, 2006). Fatores estes que em conjunto interferem no trânsito dos sedimentos na zona costeira e, conseqüentemente, no balaço de sedimentos.

A erosão costeira ocorre de modo generalizado ao longo de todo o litoral brasileiro por causas múltiplas (Figura 2), podendo em parte decorrer da elevação do nível do mar, registrada em nível global para as últimas décadas (Muehe et al., 2010). A tendência projetada de aumento da elevação do nível do mar deverá agravar essa situação, que pode ser crítica em locais com construções muito próximas da praia, além do aumento de inundações periódicas em áreas de baixa altitude. Mudanças no clima de ondas, decorrentes de alterações na circulação atmosférica, podem resultar em impactos ainda mais significativos, desencadeadores de episódios de erosão severa na linha de costa. A baixa ocupação de grande parte da zona costeira faz com que áreas de maior risco e vulnerabilidade se concentrem nas cidades costeiras, sendo os riscos de inundação os de maior impacto sobre a população (Nicolodi & Petermann, 2010). Erosão costeira crítica ocorre no entorno de Fortaleza (CE) e Recife-Olinda (PE), assim como em outras cidades costeiras e na foz de grandes rios (Muehe et al., 2010).

Embora haja o reconhecimento sobre a ocupação inadequada desses locais e recomendações específicas de agências governamentais, diretrizes para prevenir esse problema não têm sido adotadas. A região Norte, com uma

plataforma extensa e baixo gradiente topográfico, irá sofrer recessão substancial da costa em resposta à subida do nível do mar (Muehe, 2001). Algumas áreas do Nordeste estão perdendo sedimentos para o campo de dunas, resultando em um balanço sedimentar negativo. Ao longo das barreiras da costa no Sudeste e Sul, o litoral está transgredindo com a ação das ondas e erosão localizada, e um suprimento negativo de sedimentos. Sob um cenário de aumento do nível do mar, áreas recifais protegidas do litoral do Nordeste serão afetadas pelo aumento da altura e energia das ondas. Por outro lado, as falésias sedimentares do Nordeste e de parte do Sudeste fornecem boa proteção para a costa, já que as taxas de recessão ainda são mais lentas nessas regiões. No entanto, a falta de monitoramento de longo prazo sobre a mobilidade da linha da costa, do clima de ondas e do nível do mar torna difícil distinguir entre eventos de curta duração e tendências de erosão de longo prazo (Muehe, 2006). A ausência de observações contínuas de longa duração das diversas variáveis e respostas que caracterizam a dinâmica costeira e a falta de mapeamentos detalhados representam a maior dificuldade para identificação e construção de cenários de risco em nível local e, conseqüentemente, para o desenvolvimento e aplicação de medidas de minimização dos impactos.

Estudos sobre impactos das mudanças climáticas, como a erosão e a inundação, e avaliações da vulnerabilidade costeira estão sendo realizados mais recentemente em diversos trechos do litoral brasileiro, incluindo praias do Rio Grande do Sul (FURG), Santa Catarina (UFSC), São Paulo, Espírito Santo, Bahia e Ceará (IOUSP), através da utilização de indicadores ambientais (Machado et al., 2010; Sousa et al., 2011; Ribeiro, 2012; Sousa et al., 2013; Ribeiro et al., 2013; Ribeiro, 2014). Entre as diferentes variáveis costeiras (por exemplo, morfologia da praia e posição da linha de costa, histórico de processos erosivos em curto prazo, configuração do campo de dunas, exposição às ondas, número de frentes frias, ângulo de incidência das ondas, deriva potencial e presença de desembocaduras) e continentais (por exemplo, elevação do terreno, vegetação, obras de engenharia, ocupação e permeabilidade do solo) analisadas, a topografia, a ocupação do solo e o clima de ondas são fundamentais para a avaliação das vulnerabilidades (Sousa et al., 2011; Sousa et al., 2013; Ribeiro, 2014). Os resultados desses estudos evidenciam que a ocupação desordenada potencializa a vulnerabilidade costeira, particularmente em áreas com elevação igual ou inferior a 3 m. Em geral, essas áreas apresentam problemas de sobrelavagem e inundação em eventos oceanográficos de alta energia associados a períodos de chuva.

Através do estudo de clima de ondas e técnicas de modelagem foi possível estimar o impacto das ondas no balanço sedimentar e, consequentemente, na erosão costeira do litoral sul de São Paulo (Sousa, 2013). Os resultados das observações foram fundamentais para a definição da vulnerabilidade do litoral à erosão costeira e à elevação do nível do mar. A análise de uma série temporal de 30 anos (1979-2009) sobre o comportamento das ondas em Ilha Comprida (SP) evidenciou que os mecanismos responsáveis pelo transporte de sedimentos, e consequentes processos de erosão e deposição, são dominados pelas ondas que alcançam a costa nos períodos mais energéticos (em geral no mês de julho). A ilha apresenta baixa vulnerabilidade à erosão costeira, exceto em seus extremos norte e sul, onde esses processos atuam mais severamente. Entretanto possui vulnerabilidade alta à elevação do nível do mar. A análise do impacto de tempestades nesse mesmo litoral identificou áreas propícias a eventos de sobrelevagem e inundação, sob cenários com diversas alturas de ondas (Aragon, 2014). Ondas com altura de 1,5 e 2 m causam danos significativos à infraestrutura urbana na porção norte da ilha, que já sofre com a erosão. Desse modo, ondas maiores que 4 m poderiam levar a extensas áreas de inundação ao longo da maior parte da Ilha Comprida. Somado a isso e partindo da premissa de que a erosão costeira pode ser agravada com as mudanças climáticas, Silva et al. (2016) analisaram o clima de ondas e mecanismos de transporte de sedimentos em maior detalhe, mostrando uma tendência geral no transporte de sedimentos para NE e uma relação direta entre a força de onda e as áreas em erosão. Em suma, há uma relação direta entre os processos erosivos e o clima de onda para a região. As dunas frontais, distribuídas ao longo da ilha e concentradas na porção central, funcionam como barreiras naturais que protegem as áreas interiores dos danos causados por ondas.

Os estudos acima evidenciaram que características regionais e o tipo de uso e ocupação do solo são variáveis importantes a serem consideradas em estudos de vulnerabilidade. Os cenários observados nos estudos mostraram que os recursos naturais têm sido usados de maneira exacerbada e não há aparente preocupação ambiental com os problemas atuais e previstos. Isso se reflete principalmente na ocupação desordenada e nas medidas de contenção de erosão, cujas obras são feitas, geralmente, em caráter emergencial. Foi observado que o modelo de uso e ocupação do solo pouco ou nada considera o papel fundamental que os processos costeiros têm nas alterações morfodinâmicas e no balanço sedimentar das regiões costeiras. Os estudos apontam

o surgimento de novas áreas propícias à inundação, em função do aumento da ocupação em locais inadequados e do agravamento da erosão costeira, que levará a prejuízos socioeconômicos e ambientais ainda maiores.



Figura 2 – Erosão costeira acentuada em Conceição da Barra (ES), Ilha Comprida (SP) e no litoral do Rio Grande do Sul (Farol da Conceição) evidenciando o grau de recuo da linha de costa. O aumento do nível do mar, diferenciado em cada região do globo, agravará a erosão costeira que ocorre ao longo de toda a costa do Brasil. Fotos: Paulo H. G. O. Sousa (a); Filipe Galiforni Silva (b) e Lauro Caliari (c).

Grandes ecossistemas marinhos

Um dos desafios lançados à comunidade científica para o século XXI é o de determinar, de maneira quali-quantitativa, os efeitos das mudanças climáticas sobre os processos que interligam a atmosfera, o oceano e os sistemas vivos e como devemos medi-los. As modificações observadas em variáveis bióticas e abióticas, resultantes das mudanças climáticas, atuam de maneira cumulativa, pressionando ecossistemas pelágicos e costeiros a ponto de colocar em risco não só o seu funcionamento, mas também importantes serviços ecológicos (Bernhardt & Leslie, 2013). A acidificação dos oceanos e o declínio do crescimento de corais, o aumento da erosão costeira e o colapso da produção pesqueira são apenas alguns exemplos desses riscos. Entretanto, o foco na zona costeira como domínio geográfico está muito mais ligado à percepção da sociedade das consequências das mudanças climáticas (erosão, inundação, eventos extremos) do que ao funcionamento dos ecossistemas sob a influência dessas mudanças. A zona costeira é um elo da cadeia de processos que conecta as bacias oceânicas, a plataforma continental e o continente. Dessa maneira, os Grandes Ecossistemas Marinhos (GEMs) destacam-se como unidades de gerenciamento dos recursos marinhos (Sherman et al., 2009), cujos limites geográficos englobam os contornos continentais e as correntes oceânicas superficiais.

Um exemplo da complexidade dessa conexão é o caráter contrastante das respostas do zooplâncton e da biomassa de peixes submetidos a uma tendência de aquecimento do oceano nos GEM's na porção nordeste do Atlântico Norte (Belkin, 2009; Sherman et al., 2009). A biomassa pesqueira pode tanto aumentar (em regiões mais frias) quanto declinar (em regiões mais quentes), devido ao aumento ou diminuição na biomassa de zooplâncton. A esse processo, soma-se a influência humana contribuindo com diferentes níveis de pressão sobre esses recursos. Mesmo modulando-se essa influência humana, a mitigação de cenários de mudanças climáticas pode também reservar algumas surpresas, como sugerem os resultados de modelos do sistema terrestre (John et al., 2015) que simulam a reversão de cenários RCP (Representative Concentration Pathways), do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). A resposta biogeoquímica e ecológica a uma reversão do aquecimento do oceano pode resultar em um deslocamento de regime na estrutura da comunidade fitoplanctônica dominada por diatomáceas para uma dominada por espécies fitoplanctônicas não silicosas.

Análises de Gherardi et al. (2010) e Soares et al. (2014) mostraram que a variabilidade interanual dos GEMs do Atlântico Sul está ligada ao regime de Oscilação Decenal do Pacífico (ODP)⁸. Essa relação é, por sua vez, modulada pelas anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) do Atlântico Tropical. De fato, o controle do sistema oceano-atmosfera na escala da bacia do Atlântico Sul está associado aos fluxos de calor em superfície e ao transporte de calor pelo oceano. Observou-se que o estado do Atlântico Tropical tende a atuar amortecendo as anomalias associadas ao El Niño no Pacífico. A quebra na safra de sardinha no GEM de Benguela, por exemplo, estaria possivelmente ligada à intensificação dos ventos de sudeste causada pela conjunção do El Niño e ODP, ambos na fase quente (Soares et al., 2014).

Para antecipar os impactos dessas mudanças sobre a zona costeira, também é preciso levar em conta a vulnerabilidade e a resiliência (capacidade de retornar ao estado inicial) dos regimes biológicos no ambiente pelágico. Isto exige o emprego de estratégias de investigação mais complexas, envolvendo o uso de modelos hidrodinâmicos associados a modelos ecológicos (modelagem biofísica), que representam hoje o estado da arte dos esforços de previsão das respostas dos ecossistemas. Em termos específicos, essas pesquisas poderão dar indicações sobre como as alterações no clima impactam a circulação do oceano e influenciam a distribuição e a resiliência das populações de organismos marinhos. Mesmo esquemas mais simples de modelagem baseada no indivíduo (MBI), utilizando modelo advectivo-difusivo e dados de altimetria por satélite, permitem detectar a importância da intensificação de processos de mesoescala em anos de El Niño, a partir de simulações de dispersão de larvas de lagosta espinhosa no Atlântico Tropical (Rudorff et al., 2009a,b). Os resultados indicaram que em anos de El Niño a conectividade entre as populações de lagosta que ocorrem nas ilhas oceânicas seria maior do que em outros períodos. Assim, a estratégia de MBI permite elaborar diagnósticos para o impacto das mudanças climáticas no sistema pelágico, com o realismo necessário para que sirva de subsídio à tomada de decisão.

8 A Oscilação Decenal do Pacífico (ODP), descrito em Mantua & Hare (2002), é um padrão de variabilidade climática com oscilação entre 20 e 30 anos. A fase quente da ODP é caracterizada por anomalias negativas de TSM no Pacífico Norte Central e positivas na costa oeste da América do Norte e na fase fria observa-se o inverso.

A resiliência do sistema é antes o resultado de suas propriedades emergentes do que simplesmente uma qualidade de suas partes constitutivas. Por exemplo, a acentuada variabilidade das correntes superficiais na plataforma continental sudeste do Brasil, associada principalmente à atividade de mesoescala, determinam a estratégia reprodutiva da sardinha verdadeira (Dias et al., 2014) e suas consequências sobre a produção pesqueira. Essa dinâmica é igualmente determinante para o recrutamento de recursos pesqueiros em ambientes recifais. A alta energia cinética do oceano ao largo do Banco dos Abrolhos causa a redução no recrutamento do badejo (*Mycteroperca bonaci*) e a conectividade entre as unidades de conservação ao longo do litoral da Bahia (D'Agostini et al., 2015).

Produção primária da plataforma continental

Os processos de enriquecimento biológico na plataforma continental brasileira dependem dos aportes continentais e dos regimes de ventos, que movem, respectivamente, as plumas dos rios e controlam a ressurgência costeira (Ciotti et al., 2014). Assim, as respostas biológicas às mudanças climáticas serão certamente distintas nas diferentes regiões da plataforma continental brasileira. Uma das formas de quantificar alterações biológicas se dá pela análise da concentração de clorofila-*a* (Cloern & Jasby, 2010). Em toda a extensão da plataforma continental brasileira a clorofila-*a* possui ciclos sazonais importantes, principalmente nos extremos norte e sul, sob influência do rio Amazonas e do rio da Prata, respectivamente (Ciotti et al., 2010). No Sul, a qualidade da água na plataforma continental responde à extensão da pluma do rio da Prata (Giannini et al., 2013) e os efeitos biogeoquímicos do deslocamento da pluma são notados até a Ilha de São Sebastião (Nagai et al., 2014). O regime de ressurgência de Cabo Frio tem efeito local reduzido sobre a produção biológica (Coelho-Souza et al., 2012). Entretanto, os efeitos do enriquecimento de nutrientes pela penetração da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e sua dependência dos regimes de ventos precisam ainda ser quantificados em maiores escalas de tempo e espaço na região Sudeste. Alguns indícios sugerem intensificação na ressurgência de Cabo Frio e em outras regiões mais ao norte nos próximos anos (dados não publicados). Em regiões mais próximas da costa, a combinação da influência da ACAS (enriquecimento por nitratos) com a pluma de rios (enriquecimento por fosfato e silicato) promove o aumento

da produtividade e alterações significativas na composição da comunidade do fitoplâncton (Moser et al., 2014). Assim, regiões influenciadas por ressurgências costeiras parecem ser mais vulneráveis às ações antropogênicas, pelo sinergismo entre os aportes de nutrientes.

Os efeitos das mudanças climáticas sobre a produtividade primária estão relacionados principalmente com alterações na temperatura superficial do mar e na hidrografia, que alteram a disponibilidade de luz e nutrientes na camada fótica, induzindo mudanças na biomassa fitoplanctônica, na composição de suas espécies e nas suas taxas de produção (Huisman et al., 2004; Cullen et al., 2002). As distintas comunidades formadas possuem tamanhos de células e eficiências fotossintéticas distintas e, portanto, os impactos esperados sobre os demais níveis tróficos e sobre o metabolismo da comunidade podem ser igualmente variáveis (por exemplo, Emerson et al., 2003).

O aumento da temperatura das águas superficiais do Atlântico Sudoeste, ainda insuficientemente documentado, acoplado ao cenário de intensificação das chuvas na bacia do rio da Prata (Marengo, 2008), poderá interferir tanto nas entradas de nutrientes como no grau de estratificação vertical e horizontal das águas da plataforma continental ao sul. Esse cenário induz a modificações da estrutura das comunidades, para grupos de fitoplâncton com menores tamanhos, afetando o papel do fitoplâncton como sorvedouro de CO₂. Em médio e longo prazo, a cadeia trófica marinha pode ser alterada pela menor disponibilidade de carbono primário presente, com consequências drásticas para a disponibilidade de espécies de importância pesqueira.

Em menores escalas de tempo e espaço, a produtividade primária pela-gial responderá às alterações de luz e nutrientes guiadas por ventos e correntes de marés e por aportes de água doce guiados pelas chuvas ou ações antrópicas (por exemplo, Bucci et al., 2012; Guenther et al., 2012). Alternância nos padrões de chuvas em regiões estuarinas afeta a proporção relativa entre grupos de organismos (Lumi et al., 2015). Florações de algas potencialmente tóxicas são exacerbadas em períodos de maiores precipitações (Moser et al., 2012) ou de maior tempo de residência da água (Odebrecht et al., 2015). Processos de eutrofização em estuários e baías costeiras modificam o balanço entre espécies autotróficas e heterotróficas (Moser et al., 2016), de forma que se espera um acúmulo de biomassa de produtores primários no local. Todavia, o excesso de carbono produzido pela eutrofização parece ser eficientemente assimilado pelo zooplâncton (Guenther et

al., 2014). Os efeitos da urbanização intensa acoplados ao aquecimento das águas em superfície no metabolismo planctônico (Cotovitsz et al., 2015) reforçam as tendências de que esses locais se tornem sorvedouros de carbono atmosférico (Bauer et al., 2014). O aumento episódico da disponibilidade de nutrientes em regiões próximas à costa, num efeito combinado entre a menor profundidade local e presença de despejos de esgotos, parecem influenciar a eficiência nas taxas de produção primária, favorecendo mais as espécies de maior tamanho (Giannini & Ciotti, no prelo), sugerindo aumento da exportação do carbono produzido para regiões adjacentes.

Ecosistemas e biodiversidade bentônica

Os ecossistemas costeiros e sua biodiversidade desempenham papel essencial na vida das populações costeiras, através do provimento de bens e serviços como a depuração da água, ciclagem de nutrientes, recursos pesqueiros, matéria prima, proteção da costa, recreação e turismo, estimados globalmente na ordem de bilhões de dólares por ano (Constanza et al., 2014). Entretanto, a degradação ambiental e a perda da biodiversidade estão comprometendo gradualmente o funcionamento dos ecossistemas e sua resiliência, ameaçando sua habilidade de continuar suprindo esses serviços. Os ecossistemas costeiros estão dentre os mais ameaçados do planeta, com perdas estimadas globalmente entre 2% a 7% por ano. Apesar de inúmeros acordos internacionais, a biodiversidade global declina em taxas sem precedentes (TEEB Synthesis, 2010). As mudanças climáticas somam-se aos impactos antropogênicos e comprometem a estrutura e funcionamento desses ecossistemas, afetando os bens e serviços por eles providos. Portanto, compreender os efeitos das mudanças climáticas sobre biodiversidade marinha é uma das chaves para se compreender as consequências para a sociedade e para a definição de medidas de adaptação capazes de garantir a qualidade de vida humana.

A costa brasileira abriga uma alta diversidade de habitats e ecossistemas, cuja distribuição, características e dinâmicas são fortemente influenciadas por fatores climáticos e oceanográficos de cada região, acarretando naturalmente vulnerabilidades muito distintas às mudanças climáticas. Devido à extensão latitudinal e à influência dos vários regimes de maré e padrões climáticos, o litoral brasileiro possui uma quantidade e diversidade expressiva de praias arenosas (Amaral et al., 2016), que sustentam

a economia de centenas de municípios (Klein et al., 2004). Os impactos do aumento do nível do mar e da frequência e magnitude dos eventos extremos - erosão, inundação por tempestade, mudanças na amplitude das marés, mudanças nos padrões sedimentares e na morfodinâmica praias - reduzirão a área disponível para ocupação pela biota e, em situações extremas, levarão à perda de habitats (Amaral et al., 2016). A morfodinâmica de praias e a salinidade da água do mar podem ser alteradas por mudanças na vazão dos rios, aumentando a descarga de sedimentos e o volume de água doce que atingem esses ambientes (Amaral et al., 2016). As praias do Sul do Brasil são fortemente afetadas por eventos El Niño, que deverão aumentar em frequência e intensidade nas próximas décadas, tornando as praias da região dentre as mais vulneráveis do litoral brasileiro aos impactos das mudanças climáticas. Além das mudanças no perfil topográfico, os eventos extremos causam a mortalidade massiva da biota, já que grande quantidade de organismos é transportada e fica aprisionada na zona superior da praia, acima da zona do lavado (Silva et al., 2008).

Os costões rochosos, colonizados por organismos bentônicos sésseis (fixos) e sedentários (que se movem pouco ou muito lentamente), são abundantes nas faixas recortadas do litoral brasileiro, desde o delta do Parnaíba (PI) até Torres (RS), com concentração na região Sudeste e litoral norte de Santa Catarina. Em pequena escala, a zonação dos organismos, que é uma característica marcante da faixa entremarés em costões, poderá sofrer o impacto do estresse térmico, que causará reduções do limite superior de distribuição, com eventos de mortalidade massiva nos períodos de marés baixas (Coutinho et al., 2016). Em escala maior, a elevação da temperatura do mar afeta a distribuição latitudinal dos organismos de costões rochosos do mundo, com registros de deslocamento de espécies em direção aos polos em uma taxa de 50 km/década (Helmuth et al., 2006). O aumento na frequência e intensidade de eventos extremos poderá alterar a composição das comunidades, considerando a riqueza e abundância de espécies, as interações entre organismos, como competição e predação, e ainda a expansão da zona ocupada pelas diferentes espécies (Coutinho et al., 2016).

Os estuários brasileiros são intensamente urbanizados e sustentam atividades de pesca, turismo, portuária e moradia. Influenciadas por marés e descargas de rios, essas áreas sofrerão principalmente com as modificações da precipitação regional, campo de ventos e nível médio do mar (seção Circulação costeira e estuarina), com impactos ecológicos substanciais,

tanto de curto quanto de longo prazo (Bernardino et al., 2016). O aumento da temperatura (do ar e da água) e as modificações nos padrões de salinidade - intrusão salina ou aumento da descarga fluvial - afetarão a fisiologia dos organismos, alterando sua distribuição, produtividade, metabolismo, crescimento e reprodução. Os estuários brasileiros abrigam ecossistemas de manguezais, marismas e pradarias submersas (Copertino et al., 2016; Shaffer Novelli et al., 2016), os quais têm sido utilizados como instrumento de avaliação da elevação do nível dos oceanos (Walters et al., 2008).

Os manguezais apresentam distribuição descontínua ao longo da costa brasileira, desde o Amapá (04°20' N) a Santa Catarina (28°30' S), cobrindo uma área estimada entre 9.600 km² e 13.000 km², o que representa a segunda (Spalding et al., 2010) ou terceira (Giri et al., 2011) área de manguezais em um único país (7%-8,5% da área de manguezal do mundo). As marismas brasileiras ocorrem em todas as costas protegidas, associadas ou não com manguezais, mas as áreas mais extensivas se encontram no Rio Grande do Sul (Marangoni & Costa, 2009). Em termos fisiológicos, é possível que a produtividade bruta aumente com a elevação da temperatura, mas também aumentarão os gastos com taxas de respiração e transpiração, assim como são previstas alterações na fenologia reprodutiva das espécies (Schaeffer-Novelli et al., 2016). A ocorrência de eventos extremos poderá levar a episódios de mortalidade em massa, erosão, deposição de sedimentos finos e redução da produtividade das plantas (Schaeffer-Novelli et al., 2016). Tais eventos deverão acelerar um processo de reconfiguração do litoral, com a progressiva migração de manguezais e marismas para o interior, com o aumento da salinização. Uma revisão recente sobre a resposta dos manguezais às mudanças climáticas analisou as tendências de expansão e migração de áreas no mundo e no Brasil (Godoy & Lacerda, 2015). Ao longo da região macrotidal da costa norte e semiárido do Nordeste, observa-se erosão de grandes áreas na foz dos rios e ilhas deltaicas, contrabalanceada por expansão de áreas de manguezais do lado continental. Na costa semiárida do Nordeste, a redução da precipitação e represamento de rios têm causado intrusão salina em estuários, com migração continental acelerada (Godoy & Lacerda, 2015). Os manguezais da costa sudeste granítica, espremidos entre o oceano e a Serra do Mar, estão desaparecendo rapidamente, supostamente devido à elevação do nível do mar e aumento na frequência e magnitude de eventos extremos, maximizados pela forte pressão antropogênica. O aumento da temperatura (do ar e do oceano) e do CO₂ poderia

“beneficiar” e promover uma expansão austral dos manguezais brasileiros, limitados ao sul pelas temperaturas mínimas e ocorrência de geadas. Entretanto, embora observada em outras regiões do globo, tal expansão não tem sido detectada no limite sul dos manguezais brasileiros (Soares et al., 2012). Todos esses processos de migração e expansão dependem de um balanço entre as taxas de erosão e acreção de sedimentos (afetadas pela precipitação, descargas fluviais, correntes e marés), do grau de impactos e degradação sofridos por esses ecossistemas e da amplitude da ocupação humana sobre as áreas adjacentes, acima da linha da maré (Faraco et al., 2010). As margens internas de muitos estuários e rios brasileiros, na sua interface com o ambiente continental, estão drasticamente modificadas e ocupadas por infraestrutura, impedindo ou dificultando esse avanço.

As pradarias de gramas marinhas ou fundos submersos vegetados ocupam zonas intermareais e o infralitoral raso de toda a costa brasileira, concentrando-se em praias de baixa energia, no lado interno de recifes e no interior de estuários e lagunas costeiras (Creed, 2003; Copertino et al., 2016). Os bancos mais expressivos encontram-se no Nordeste, sendo abundantes ao longo da Costa dos Corais, Banco de Abrolhos e Delta do Parnaíba. No Brasil, esses habitats deverão ser impactados principalmente pela elevação do nível do mar, aumento na temperatura da água, modificações nos padrões de precipitação e descarga fluvial, assim como por eventos extremos (Barros et al., 2013; Copertino et al., 2016). A expansão da distribuição geográfica do capim-agulha (*Halolude wrightii*), principal espécie tropical formadora dos prados brasileiros, tem sido registrada ao longo das últimas décadas (Sordo et al., 2011; Ferreira et al., 2013), representando um deslocamento de cerca de 4 graus em direção sul (Copertino et al., 2016). Não é possível afirmar, no entanto, se tal expansão se deve de fato ao aumento da temperatura para a região. Com o aumento da temperatura da água e do CO₂, o resultado dependerá também de um balanço competitivo entre gramas marinhas e macroalgas oportunistas. O aumento na frequência e intensidade de tempestades, causando aumento no transporte de sedimentos, tem alterado a distribuição e biomassa de bancos de gramas marinhas e, em situações extremas, levado à perda de bancos inteiros (Short et al., 2006; Copertino & Seeliger, 2010). Enquanto os bancos intermareais da costa semiárida deverão sofrer com as reduções de precipitações e aumentos de temperatura, previstos para a região (Barros et al., 2013), as pradarias dos estuários do Sul demonstram-se mais vulneráveis ao aumento da descarga

fluvial (Copertino et al., 2016). Reduções na abundância e distribuição de espécies bentônicas (flora e fauna) ocorrem em pradarias de lagunas costeiras do Sul do Brasil, sob condições de descargas fluviais anômalas, associadas a eventos El Niño moderados e fortes (Copertino & Seeliger, 2010; Colling et al., 2016, no prelo). Reduções dos fundos vegetados são seguidos por mudanças de fase (*phase-shifts*), com domínio de macroalgas oportunistas e desencadeadoras de marés verdes (Lanari & Copertino, no prelo).

Os recifes coralinos brasileiros, concentrados na região tropical nordeste e leste, possuem um elevado grau de endemismo, tanto de espécies de corais como de invertebrados e peixes (Leão et al., 2016). A região de Abrolhos concentra os maiores e mais ricos recifes de corais de todo o Atlântico Sul. Os registros de eventos de branqueamento são normalmente atribuídos a anomalias positivas de temperatura superficial do mar, associadas a anos de El Niño (Leão et al., 2016). O branqueamento de corais ocorre quando o estresse ambiental causa a disrupção da relação entre os corais e sua zooxantelas simbióticas. Assim, dentro do panorama de aumento extremo da temperatura dos oceanos (~ 4°C até 2100) nos cenários de mais altas emissões - RCP 8.5 (IPCC, 2014), as consequências para esses organismos tendem a ser drásticas.

Os bancos de rodolitos ocupam toda a margem interna da plataforma continental brasileira do Maranhão ao Rio de Janeiro (Foster, 2001), formando oásis de alta biodiversidade em ambientes marinhos de fundo arenoso (Horta et al., 2016). Esses bancos são formados por camadas cumulativas de nódulos de algas calcárias (bioconstrutoras), conhecidas também por granulados bioclásticos ou “maerl”. Extensos e abundantes nas ilhas oceânicas, nas montanhas submarinas da cadeia Vitória-Trindade e nas ilhas costeiras de Santa Catarina, os extensos bancos brasileiros representam grandes “fábricas” de carbonato com um papel fundamental no ciclo biogeoquímico do carbono no Atlântico Sul (Amado-Filho et al., 2012). Os bancos de rodolitos estão ameaçados principalmente pelas mudanças na química do carbono e por processos de acidificação, juntamente com o aumento da temperatura, que reduzirão as taxas de calcificação pelas algas calcárias. Também serão afetados pelo aumento do nível do mar e da frequência dos eventos climáticos extremos que, por sua vez devem reduzir a transparência da água e comprometer a produção primária do sistema (Horta et al., 2016). Com taxas anuais de crescimento extremamente baixas (mm/ano), os bancos brasileiros sofrem com os impactos da poluição

costeira, pesca de arrasto e exploração de petróleo. As interações desses estressores locais com aqueles globais têm se apresentado como devastadores para essas formações recifais.

De modo geral, o aumento da temperatura atua sobre todos os processos metabólicos (taxas fotossintéticas, respiração, crescimento e ciclos reprodutivos), alterando ao final as distribuições latitudinais e os processos migratórios, podendo aumentar ainda vulnerabilidade dos ecossistemas aquáticos à invasão por espécies exóticas (Chu et al., 2005). Com base em estudos ecofisiológicos e reprodutivos, pode-se prever, com certa margem de confiança, as respostas individuais das principais espécies marinhas do Brasil à elevação da temperatura. Entretanto, as respostas integradas de sistemas biológicos resultarão de mudanças na disponibilidade de matéria orgânica (pelos produtores primários), mais os processos de competição, pressões de pastagem e predação, devendo variar caso a caso. O grau de degradação ambiental deverá interferir na vulnerabilidade e potencial de adaptação. Uma forte redução na abundância e biodiversidade de organismos bentônicos já tem sido observada ao longo da costa brasileira durante os últimos dez anos, principalmente por impactos da urbanização (Schermer et al., 2013). Reduções da biodiversidade causam menor diversidade genética intrapopulacional, com implicações para a resiliência e o potencial de adaptação futura das espécies às novas condições climáticas e oceanográficas.

Sequestro de carbono e mitigação das mudanças climáticas

Ecossistemas costeiros vegetados – particularmente manguezais, marismas e pradarias marinhas - desempenham papel significativo no processo de sequestro global do dióxido de carbono (CO₂), sendo de suma importância para absorver gases de efeito estufa e equalizar as mudanças climáticas (Laffoley & Grimsditch, 2009; Nellemann et al., 2009; Mcleod et al., 2011; Duarte et al., 2010). Cobrindo apenas 0,5% dos fundos marinhos, esses ecossistemas são responsáveis por mais de 50% de todo o carbono estocado nos sedimentos marinhos (denominado como *blue carbon*). Como nos ecossistemas terrestres, o carbono inorgânico é fixado pela biomassa vegetal através da fotossíntese e em curta escala de tempo. Entretanto, o estoque do carbono nos sedimentos marinhos pode ocorrer por milênios, devido à elevada capacidade de soterramento e baixa oxidação da matéria orgânica. Como a

profundidade da coluna sedimentar aumenta com o aumento do nível do mar, o estoque do carbono no sedimento tende a aumentar com o aumento do volume de sedimento ao longo do tempo (Chmura et al., 2003). Estima-se que esses sumidouros possam capturar e estocar anualmente entre 235 a 450 Teragramas (Tg) de carbono (C), o que equivale de um terço até metade das emissões globais do setor de transportes, estimadas em torno de 1.000 Tg C por ano. A destruição e a degradação de zonas costeiras podem converter tais sumidouros naturais em emissores de CO₂, já que o carbono sequestrado ao longo de milhares de anos seria liberado para o ambiente em curto prazo, resultando em emissões imediatas e contínuas no tempo. Globalmente, estima-se que as emissões associadas à degradação das zonas costeiras poderiam resultar em até 900 milhões de toneladas de CO₂ por ano (Pendentlon et al., 2012). Esses valores correspondem entre a 20% das emissões globais causadas por desflorestamento ou ainda a cerca de 2% de todas as emissões de origem antropogênica. A magnitude dessas emissões tornou-se aparente apenas recentemente e tais fontes ainda não têm sido consideradas nas contabilidades nacionais das emissões e nas existentes regulamentações e políticas sobre mudanças climáticas.

Detendo taxas históricas de desmatamento ainda bastante elevadas, o Brasil está dentre os dez maiores emissores de gases de efeito estufa do planeta, um grupo de países responsável por produzir 70% das emissões globais (Ge et al. 2014). Ocupando atualmente a sétima (emissões totais por ano ou emissões absolutas) ou oitava (emissões *per capita*) posição no *ranking* mundial de emissões de CO₂, o Brasil contribui significativamente para o aquecimento global do planeta.

Nesse aspecto, o país possui grande influência dentro dos planos e políticas globais para mudanças climáticas. Grande parte desses esforços tem sido focada nos ecossistemas terrestres, impulsionado a nação a encontrar maneiras sustentáveis de manejar e valorar monetariamente esse carbono. Entretanto, como em muitos outros países com extensas linhas de costa, o Brasil ainda negligencia o papel dos oceanos e seus ecossistemas. Com a segunda ou terceira maior área de manguezais do mundo, centenas de hectares de pradarias marinhas e mais de 1000 km² de marismas, a zona costeira brasileira é um verdadeiro *blue carbon hot spot*. Esses estoques de carbono estão gravemente ameaçados pela intensa ocupação territorial da zona costeira brasileira, pelo crescimento econômico acelerado e pelas mudanças do uso do solo (Pagliosa et al., 2012). No Nordeste brasileiro, a

instalação de fazendas de camarão, a extração de madeira e a construção de rodovias e outras atividades reduziram em 30% as florestas de manguezais da região nos últimos 20-30 anos (Marques et al., 2004). Tais atividades não só alteram a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, como geram emissões da ordem de toneladas de CO₂ por hectare por ano. Portanto, a contabilidade das emissões deve ser agora inclusa nos inventários nacionais e internacionais (IPCC 2013, 2014). A ênfase nos estudos do carbono costeiro (ou *blue carbon*) propõe mudanças nos incentivos econômicos e novos mecanismos de valoração dos ecossistemas costeiros, com grande potencial para proteger a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (Copertino, 2011). Estimativas de estoques, sequestro e emissões de carbono pelas áreas costeiras vegetadas devem ser realizadas em nível nacional, integradas a estudos socioeconômicos que embasem a construção desse mecanismo financeiro. O sucesso depende ainda de um rearranjo que não tenha impactos negativos para a sobrevivência das populações locais, que dependem dos recursos desses ecossistemas.

Socioeconomia pesqueira

As mudanças climáticas impactarão recursos marinhos e costeiros de importância econômica, como moluscos, crustáceos e peixes. O aumento da temperatura, por exemplo, deve alterar ciclos reprodutivos, de crescimento e de distribuição das espécies migratórias. As modificações nos padrões de temperatura e precipitação previstas para o Brasil para as próximas décadas (Marengo et al., 2009), deverão alterar a descarga fluvial de regiões estuarinas o que, por sua vez, afetará a biologia e dinâmica populacional de espécies de peixes e crustáceos de interesse comercial (Möller et. al., 2009; Schroeder & Castello, 2010) e, portanto, a socioeconomia regional. Os prognósticos de modificações na produção primária e na biodiversidade, associados à degradação dos ecossistemas costeiros (já detalhados anteriormente), devem resultar em queda da produtividade pesqueira. Esses impactos afetam a produtividade industrial, a geração de empregos e a renda no setor pesqueiro, produzindo forte impacto sobre a sociedade.

As alterações na pesca advindas de mudanças climáticas afetam a economia de um setor que já depende de recursos sobre-explotados. Entre os impactos esperados, os efeitos sobre as pescarias de subsistência e de pequena escala podem ser devastadores, pela falta de mobilidade e alternativas

tecnológicas inerentes a essa categoria de pesca, sendo estas frequentemente as mais dependentes de recursos costeiros e estoques marinhos. Esses estoques comumente dependem de águas costeiras protegidas e estuários para a reprodução e desenvolvimento, sendo suscetíveis a mudanças na temperatura da água, níveis de precipitação, correntes costeiras e acidificação dos oceanos, devido a mudanças climáticas, além dos impactos locais causados pela própria sobrepesca e poluição. Assim, tais impactos afetam diretamente as dinâmicas sociais e econômicas de comunidades pesqueiras tradicionais e das populações litorâneas em geral.

A região Sul do Brasil é fortemente afetada pelo modo de variabilidade climática ENSO e sua ação sobre a precipitação regional e descarga fluvial (seção Circulação costeira e estuarina). Anos influenciados por El Niño são associados com altas precipitações e descargas fluviais anômalas, afetando negativamente a pesca artesanal da região. A dimensão econômica dos efeitos negativos de eventos climáticos (i.e. El Niño) foi investigada sobre a pesca artesanal da Lagoa dos Patos, onde a atividade é de relevância econômica crucial na formação de renda e manutenção de emprego de mais de 1.300 famílias. As principais espécies capturadas na Lagoa dos Patos, responsáveis pelo bom desempenho da atividade econômica e social na região, como o camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) e a tainha (*Mugil platanus*), são diretamente afetadas por essas alterações climáticas, já que essas espécies dependem da área estuarina da Lagoa dos Patos para seu crescimento e desenvolvimento. Diversos estudos têm relatado os efeitos de altas descargas fluviais (em anos de El Niño) sobre a biologia e ecologia de espécies de peixes e invertebrados (Garcia et.al., 2003, 2004; Garcia & Vieira, 2001; Vieira et al., 2008), com impactos negativos sobre os estoques e safras de importantes espécies pesqueiras (Castello & Möller, 1978, Möller et.al., 2009). Prognósticos sobre o impacto de mudanças climáticas preveem ainda reduções no tamanho máximo das espécies, assim como adiantamento e diminuição dos picos de biomassa, impactando o calendário da pesca e, portanto, aumentando a vulnerabilidade socioeconômica dos pescadores (Shroeder & Castelo, 2010). O dimensionamento desses impactos sobre a economia pesqueira constata perdas no volume de captura do camarão-rosa e consequentes registros de receitas negativas para os pescadores (Abdallah & Hellebrandt, 2012).

Um estudo de avaliação econômica, que teve como base os registros de El Niño e da descarga fluvial ao longo de quase cinco décadas (1964-2008;

Möller et al., 2009), calculou a perda econômica média da pesca do camarão-rosa em anos de El Niño (o que se deixou de produzir devido ao clima), em torno de US\$ 7,4 milhões (Abdallah & Hellebrandt, 2012) (Figura 3).

Considerando que em anos estáveis a receita da pesca do camarão-rosa gira em torno de US\$ 9 milhões (HD_SACC_CRN2076/IAI, 2011), os impactos negativos do clima causam uma perda de produção de mais de 80% ao ano. Somente no ano de 2001, a receita negativa da economia da pesca do camarão-rosa foi de US\$ 9,8 milhões. Nesse mesmo ano, foram gastos aproximadamente 71% desse valor com o crédito rural à pesca no Brasil: cerca de 10% desse valor também foram aplicados na pesca artesanal da região da Lagoa dos Patos via créditos do PRONAF, entre outros valores, subsidiando a pesca na região em estudo (HD_SACC_CRN2076/IAI, 2011). Isso produz efeitos negativos para todo o setor pesqueiro da região, uma vez que a pesca do camarão-rosa gera mais de 50% da receita anual média dessa atividade em anos estáveis, e que a atividade pesqueira na Lagoa dos Patos e região costeira adjacente envolve aproximadamente 30 mil pessoas, direta e indiretamente, no setor produtivo pesqueiro (Abdallah & Hellebrandt, 2012).

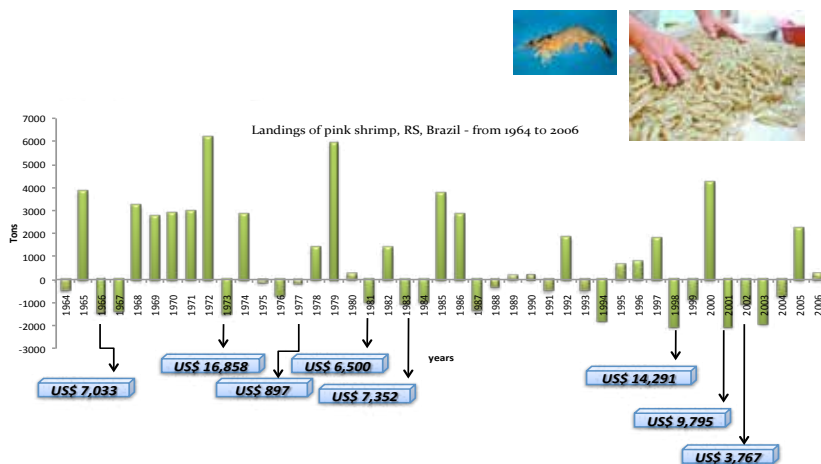


Figura 3 – Variações nos desembarques de camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) capturado na Lagoa dos Patos (RS) de 1964 a 2006, em relação à captura média anual para a região durante anos neutros (eixo 0 equivale à média de 2012 toneladas). Estimativas de perda econômica média (receita negativa) em anos afetados por eventos El Niño (i.e. o que se deixou de se produzir devido ao clima) estão indicadas nas caixas azuis (Abdallah & Hellebrandt, 2012).

Sistemas observacionais da zona costeira brasileira

Os sistemas observacionais costeiros são planejados para medir um conjunto de parâmetros ambientais necessários à elaboração de estratégias eficientes de manejo dos ecossistemas e recursos naturais. Sendo concebidos para seguir protocolos que permitam a sua intercalibração e comparação, esses sistemas são cruciais para a validação dos resultados de modelos físicos, biogeoquímicos e ecológicos, de forma a proporcionar resultados científicos inéditos e relevantes, melhorando a capacidade de previsão dos impactos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas costeiros, bem como a importância desses ecossistemas nos processos de escala global.

Diversos programas de observação de ecossistemas costeiros marinhos foram implementados nas décadas de 1970 e 1980 em vários locais do planeta, possuindo hoje séries suficientemente longas para inferir sobre a variabilidade interdecenal das condições ambientais. No Brasil, as séries temporais de parâmetros ambientais, em especial oceanográficos, são relativamente raras e curtas. O estuário da Lagoa dos Patos, por exemplo, vem sendo observado por várias décadas pela comunidade científica da FURG, o que permitiu a construção de séries temporais suficientemente longas que auxiliaram a interpretar a influência humana e a variabilidade climática no ecossistema costeiro (Seeliger & Odebrecht, 2010; Odebrecht et al., 2010).

Considerando que os impactos das mudanças climáticas e do desenvolvimento urbano deverão aumentar consideravelmente a vulnerabilidade ambiental e social das regiões costeiras, e considerando a completa ausência de sistemas de monitoramento da costa brasileira, o subprojeto Zonas Costeiras realizou recomendações e catalisou a criação de redes de monitoramento e sistemas observacionais. Destaca-se a criação da ReBentos em 2010 e do SiMCosta em 2012, descritos a seguir.

Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SiMCosta)

O SiMCosta é uma rede integrada de observações de zonas costeiras, constituída de plataformas fixas ou flutuantes, dotada de instrumentos e sensores com funcionamento autônomo e capacidade de coletar regularmente variáveis climáticas essenciais (oceanográficas e meteorológicas), transmitindo-as para uma central de processamento e, imediatamente, disponibilizando gratuitamente ao público em geral (Figura 4). Os sensores das plataformas flutuantes (boias) medem variáveis meteorológicas

(radiação solar, velocidade e direção do vento, temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica e concentração de CO₂) e oceanográficas (salinidade, condutividade, temperatura, fluorescência estimulada, pH, turbidez, matéria orgânica dissolvida colorida, velocidade e direção de correntes e ondas). As plataformas fixas no continente são equipadas com radar altimétrico e outros sensores, de forma a fornecer dados de nível médio do mar e propriedades meteorológicas.



Figura 4 – Instalações do Sistema de Monitoramento da Costa – SiMCosta: Boia Meteorocenaográfica fundeada na Baía de Guanabara e Estação Maregráfica instalada nos Molhes do Rio Grande (RS).

O SiMCosta teve seu início em 2012, com recursos aportados pelo Fundo Clima e MCTI. Quatro plataformas flutuantes (boias), instrumentos, e sensores foram adquiridos no período de 2012 e 2013. A boia piloto (SiMCosta CEBIMAR-SP) foi instalada no Canal de São Sebastião (SP) em setembro de 2014, em parceria com o Centro de Biologia Marinha da Universidade de São Paulo (CEBIMar/USP). Em 2016, a plataforma LOBO, adquirida com recursos CT-INFRA pelo projeto CEILORS (IO-FURG), foi instalada no Estuário da Lagoa dos Patos (SimCosta RS-3). Novo aporte de recursos ocorreu em 2014 para monitorar os Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de 2016, o que permitiu a aquisição de mais três boias, instrumentos e sensores, instalados no Rio de Janeiro. O portal especializado <http://www.simcosta.furg.br> foi desenvolvido para distribuição de dados brutos. O SiMCosta conta com pesquisadores parceiros da UFRJ, CEBIMar-USP, UFPR, UFSC e FURG. O arranjo institucional prevê que em cada instituição haja equipes locais treinadas para, por exemplo, manutenção de boias, sensores.

Em 2015, o projeto “Uso de dados pretéritos e do SiMCosta para avaliar mudanças das variáveis climáticas essenciais nos ecossistemas costeiros do Brasil” foi aprovado na Chamada MCTI/CNPq/ANA N ° 23/2015 – Pesquisa em Mudança do Clima. Esse projeto objetiva prover, analisar e distribuir variáveis climáticas essenciais (VCEs) com alta frequência e de excelente qualidade, e avaliar se houve mudanças ao longo das últimas décadas nos ecossistemas costeiros da região Sul-Sudeste do Brasil, utilizando-se dados pretéritos e os obtidos pelo SiMCosta.

O SiMCosta possui uma componente para medir a variação do nível do mar e outras variáveis meteorológicas, que está sendo operacionalizada através da instalação de estações maregráficas. Doze estações maregráficas foram construídas e instrumentalizadas, com o apoio da FURG, MCTIC e IBGE. A primeira estação piloto foi instalada nos Molhes da Barra do Rio Grande (RS, FURG) em janeiro de 2015. Outras onze estavam sendo instaladas em Imbituba (SC, IBGE), Florianópolis (SC, UFSC), Pontal do Sul (PR, UFPR), São Sebastião (SP, USP CEBIMAR), Arraial do Cabo (RJ, IBGE), Vitória (ES, UFES), Recife (PE, UFPE), Fortaleza (CE, UFCE LABOMAR), São Luiz (MA, UFMA), Belém (PA, IBGE) e Santana (AP, IBGE) durante 2016, quando da finalização deste capítulo.

Rede de Monitoramento dos Habitats Bentônicos Costeiros (ReBentos)

As múltiplas e variadas atividades de pesquisa sobre o bentos marinho costeiro no Brasil possuíam historicamente um caráter local/regional, desvinculado de propostas em rede, com metodologias próprias de cada grupo de pesquisa, sem maiores esforços de padronização. Os estudos eram limitados a períodos de um a dois anos, compatíveis com o tempo de duração das teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso. Até 2010, também não havia um claro direcionamento dos projetos de pesquisa para a avaliação dos efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade bentônica marinha.

A ReBentos foi formada em 2010, a partir de discussões durante o I Workshop de Mudanças Climáticas em Zonas Costeiras. A rede é uma iniciativa inovadora no Brasil, integrando de forma padronizada as ações de um grande número de especialistas em biodiversidade bentônica marinha e direcionando suas pesquisas para perspectivas macroecológicas ou de larga escala. A ReBentos objetiva realizar o monitoramento contínuo

e permanente de parâmetros bióticos e abióticos de regiões entremarés e sublitorais rasas, abrangendo seus vários habitats ao longo da costa brasileira, como forma de detectar o efeito das mudanças ambientais regionais e globais. A iniciativa deu origem a uma série de dados sobre a biodiversidade ao longo da costa brasileira (<http://rebentos.org/>). O projeto foi apoiado inicialmente pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Edital MCT / CNPq / MMA / MEC / CAPES / FNDCT - Ação transversal / FAPs nº 47/2010).

A ReBentos está estruturada em oito Grupos de Trabalho (GTs) focados em distintos habitats ou ecossistemas costeiros: Estuários, Praias Arenosas, Costões Rochosos, Recifes Coralinos, Bancos de Rodolitos, Fundos Vegetados Submersos e Manguezais e Marismas. A ReBentos possui ainda um GT de caráter transversal, voltado para Educação Ambiental. A estratégia adotada foi definir métodos padronizados, adequados aos objetivos da rede, para a amostragem da biodiversidade, processamento e análise de dados e mensuração de fatores abióticos. Esses métodos estão reunidos no e-book “Protocolos para o Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros” (<http://books.scielo.org/id/x49kz>), que traz propostas metodológicas para um acompanhamento contínuo e de longo prazo nos diferentes ecossistemas. Uma vez que esta é uma proposta de longo prazo, cobrindo toda a variação latitudinal da costa, tais métodos foram estabelecidos buscando rapidez, facilidade de procedimentos e baixo custo, encorajando a sua mais ampla aplicação. A partir do monitoramento contínuo, um inventário está sendo produzido para aumentar o conhecimento da biodiversidade marinha ao longo da costa brasileira, incluindo a fauna e a flora. O GT Educação Ambiental propõem ações educativas que levem a sociedade a refletir sobre a questão das mudanças climáticas nos ecossistemas marinhos e costeiros, incentivando mudanças de atitude e valores em relação a esses ambientes e sua biodiversidade.

Atualmente a ReBentos possui 166 pesquisadores distribuídos em 57 instituições de ensino/pesquisa, tanto nacionais como internacionais. Integra cerca de 70 projetos de pesquisa vinculados e mais de 50 pontos de monitoramento na costa. Os dados obtidos estão sendo reunidos em um Banco de Dados da Biodiversidade Marinha (SinBiota), que possibilitará, futuramente, a realização de análises, considerando tempo, espaço

e diferentes ambientes costeiros, para uma real compreensão de possíveis mudanças na biodiversidade bentônica que, combinadas com a análise das variáveis ambientais, poderão ser atribuídas às mudanças climáticas globais ou a outros fatores antropogênicos ou naturais.

A ReBentos catalisou diversas publicações, entre artigos científicos (103), livros (5) e capítulos de livros (17). A ReBentos também publicou nove sínteses sobre o estado da arte do conhecimento da biodiversidade bentônica nos diferentes ecossistemas costeiros, com prognósticos sobre impactos das mudanças climáticas e vulnerabilidade dos ecossistemas (Turra & Denadai, 2016). Parte dos resultados desse volume está sintetizada na seção Ecossistemas e biodiversidade bentônica deste capítulo.

Estudos experimentais e mesocosmos

a gestão das consequências ecológicas, socioambientais e econômicas das mudanças climáticas globais sobre os ecossistemas marinhos e suas comunidades requer enfoques múltiplos, incluindo monitoramento, experimentos e modelagem (Stewart et al., 2013). Dentro do enfoque experimental, o uso de mesocosmos é uma solução que conecta, com grau de realismo crescente, as respostas fisiológicas obtidas em condições controladas de laboratório pouco representativas do observado na natureza com a extrema complexidade ecológica dos diferentes habitats e respectivos ecossistemas costeiros. Com a problemática das mudanças climáticas, o uso de experimentos de mesocosmos nos estudos ecológicos marinhos aumentou consideravelmente nas últimas décadas, com aumento da complexidade e das técnicas empregadas, o que permitiu a ampliação do número de variáveis testadas (O’Gorman & Emmerson, 2010; Twomey et al., 2012). Resultados de experimentos realizados em mesocosmos que simulem condições naturais e cenários climáticos futuros buscam, portanto, conectar as respostas fisiológicas individuais com as observadas nos ambientes costeiros marinhos. Os estudos de mesocosmos devem ser planejados visando à atribuição de causas, às respostas integradas ao nível das comunidades, ao sinergismo entre diferentes fatores e à obtenção de taxas e parâmetros que possam alimentar modelos preditivos.

Dentro do subprojeto Zonas Costeiras, os estudos sobre os impactos e vulnerabilidades dos ecossistemas brasileiros e sua biodiversidade incluem, além de estudos observacionais de campo, abordagens experimentais

realizadas em bancadas de laboratórios e em infraestruturas de mesocosmos. Através do monitoramento sistemático em campo pode-se detectar, por exemplo, os efeitos de ondas de calor sobre populações de espécies chave dos ecossistemas recifais (Krug et al., 2013; Leão et al., 2008; Lisboa, 2016). Ao estudar tais efeitos em experimentos em mesocosmos, é possível a compreensão dos processos ecofisiológicos que regem as respostas das espécies chave (Faveri et al., 2015). Tal conhecimento permite a previsão e a seleção de alternativas para contornar os impactos negativos desses eventos, cada vez mais frequentes no litoral brasileiro.

Eventos de branqueamento de corais associados a anomalias térmicas, como o observado no verão de 2016, geram grande impacto sobre a diversidade dos ambientes recifais, com consequências para a pesca artesanal e a atividade turística no Nordeste do Brasil. A interação do aquecimento com a acidificação dos oceanos deverá intensificar os eventos de branqueamento e acelerar o processo de perda de biodiversidade, alterando, portanto, o funcionamento dos ecossistemas coralinos e de seus serviços à sociedade. Experimentos laboratoriais revelam o grau de resistência e a resiliência de algumas espécies de corais endêmicas do Atlântico Sul ocidental, como *Siderastrea stellata* (altas; Silva, 2008), *Mussismilia harttii* (baixas; Vasconcellos, 2011) e *M. braziliensis* (baixas), ou de espécies cosmopolitas como *Montastraea cavernosa* (altas; Freitas, 2012). Apontando grandes lacunas sobre o comportamento de algumas das principais espécies construtoras dos recifes nessa região do Atlântico, esses estudos apresentam limitações intrínsecas às condições experimentais e de cultivo, particularmente com relação à interação entre os diversos fatores abióticos que serão afetados pelas mudanças climáticas. Portanto, é necessária a simulação de um grau de realismo maior, que inclua os ciclos circadianos e possíveis influências de variáveis como turbidez, pH e alcalinidade, características dos ambientes de recifes.

A condução de experimentos em sistemas marinhos é tecnicamente bastante complicada e apresenta uma série de desafios intrínsecos ao alto dinamismo desses ambientes e às particularidades do ecossistema em questão e sua biodiversidade. Experimentos manipulativos nesses ambientes requerem estruturas especiais e resistentes às correntes, à ação das ondas e à corrosão marinha, que possam simular na escala e o período adequado aos processos e interações ecológicas sob a pressão seletiva dos fatores derivados dos estressores globais. O estudo no ambiente infralitoral,

por exemplo, está entre os mais difíceis e caros, requerendo pessoal e equipamentos altamente especializados e dispendiosos. O estudo no ambiente intermareal é relativamente mais fácil, entretanto restrito aos períodos entremarés. Águas transitórias são mais acessíveis, mas também possuem problemas intrínsecos relacionados com as variações de inundação e salinidade, causadas por maré, ventos e descarga fluvial. Por outro lado, experimentos em aquários e mesocosmos não possuem as dificuldades de tempo e das condições meteoceanográficas, mas possuem as limitações descritas anteriormente.

A infraestrutura de mesocosmo criada pelo projeto Coral Vivo replicava com um bom grau de realismo as condições existentes em áreas rasas de recifes costeiros (Duarte et al., 2015; Scherner et al., 2016). A estrutura, entretanto, não resistiu à ação de ondas de tempestades no local. A estrutura criada no Instituto Almirante Paulo Moreira (IAPM) simula as condições presentes em ambientes profundos de plataforma ambiental (Figueiredo et al., 2015; Villas-Boas et al., 2014), mas possui limitações em relação ao tamanho dos organismos que podem ser estudados. O mesocosmo da Universidade Federal de Santa Catarina proveu alguns avanços na avaliação da acidificação dos oceanos, através do uso de Infrared Gas Analyser (IRGA) e aferição e manutenção da $p\text{CO}_2$, sob diferentes sistemas de circulação de água (aberto ou fechado) e controles quimiostáticos (Munoz et al., 2015). Experimentos de intercalibração das técnicas utilizadas são ainda necessários, para avaliar o potencial e as fragilidades do sistema, e permitir a obtenção de informações robustas e comparáveis com a realidade de campo.

Destaca-se a carência no Brasil de infraestruturas que possam simular as condições de ambientes como praias e manguezais, onde existem grandes lacunas de conhecimento sobre os efeitos de acidificação e a interação dos impactos das mudanças climáticas com os estressores antropogênicos, os quais deverão ser exacerbados nesses ambientes. Investigações sobre os impactos da poluição ou da fertilização por ferro (Alongi, 2010) e da elevação do nível do mar (Lu et al., 2013) têm sido testadas em outras regiões do globo, mas a interação desses efeitos com os de alterações geoquímicas associadas às mudanças climáticas ainda é desconhecida. Algumas questões importantes são: 1) O que acontecerá aos moluscos e crustáceos habitantes desses ambientes naturalmente mais ácidos que as águas oceânicas? 2) Como o aumento da concentração de nutrientes e poluição irá interagir

com águas mais ácidas e que tipo de impactos isso poderá provocar ao nível do metabolismo individual ou numa população? 3) Como as plantas de manguezais e marismas reagirão ao aumento simultâneo do $p\text{CO}_2$ na atmosfera e na água dos estuários? 4) Quais são os efeitos do aumento do CO_2 atmosférico e o dissolvido na água, em conjunção com as anomalias térmicas? A resposta a essas questões serão obtidas somente a partir da abordagem experimental, com manipulação de um número elevado de parâmetros geoquímicos, em conjunto com a abordagem de modelagem preditiva (Queirós et al., 2015).

Considerações finais

O alcance das pesquisas relacionadas com impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas nas zonas costeiras brasileiras ainda se encontra limitado por deficiências do conhecimento sobre o funcionamento da dinâmica natural e pela escassez de monitoramento ambiental de longo prazo, na maior parte das regiões costeiras do país. O processo de construção do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) antecipou uma série de dificuldades, derivadas dessa carência de informações. Essas limitações somente serão superadas a partir do estímulo à interdisciplinaridade, da aplicação de protocolos metodológicos intercomparáveis e do estabelecimento de sistemas observacionais contínuos ao longo da costa, em conjunto com estudos experimentais avançados (mesocosmos) e da modelagem biogeoquímica e biogeoquímica. Somente com observações acuradas e consistentes será possível concluir sobre as tendências de parâmetros importantes impactados pelas mudanças climáticas (nível do mar, clima de ondas, temperatura, pH, dentre outros) e mapear as vulnerabilidades de cada região do país, a fim de propor alternativas de mitigação e estratégias adaptativas.

O subprojeto Zonas Costeiras contribuiu com avanços significativos para a superação dessas deficiências, colocando a ciência marinha brasileira em patamar mais avançado de conhecimentos. Redes de monitoramento e programas observacionais foram estabelecidos, com destaque para os sistemas de monitoramento de parâmetros meteoceanográficos (SimCosta) e da biodiversidade bentônica costeira (ReBentos). Além disso, houve avanços na modelagem de processos que interligam o oceano-atmosfera e os sistemas vivos, contribuindo para uma melhor compreensão da dinâmica

de larga escala dos ecossistemas marinhos. Através da integração entre pesquisadores e grupos das diferentes regiões do país, o subprojeto Zonas Costeiras catalisou a elaboração de sínteses sobre o estado da arte do conhecimento, assim como análises de impactos e vulnerabilidades, em diversas áreas das ciências do mar. Como resultado, foi produzido um conjunto de informações mais completo e integrado sobre o funcionamento dos sistemas naturais, fundamental para a gestão mais segura dos recursos naturais frente às mudanças ambientais globais. Esses resultados precisam ser incorporados aos diferentes planos de adaptação e mitigação das mudanças climáticas, nas mais diferentes esferas, sob pena de se perder esse investimento em pesquisa e capacitação e de não se qualificar a tomada de decisão. Para tanto, é fundamental o apoio continuado a essas iniciativas.

As incertezas associadas às medições maregráficas no Brasil limitam quaisquer resultados de estudos sobre a tendência do NMM na maior parte da costa brasileira. A obtenção de séries temporais longas de nível médio do mar depende da continuidade dos atuais esforços por parte, principalmente, do IBGE e do CHM-DHN no controle, manutenção e modernização dos marégrafos, na implantação de um *Datum* Geocêntrico, na utilização de informações altimétricas, na incorporação de medidas geodésicas e de controle de movimentos da crosta terrestre, entre outros. Dentro do monitoramento dos estuários brasileiros, recomenda-se particularmente o reforço da estrutura da Agência Nacional de Águas (ANA), aumentando a cobertura de registradores de nível das águas, material em suspensão e indicadores de qualidade da água nos rios.

Conforme apontado pelo Painel Brasileiro para Mudanças Climáticas (PBMC, 2013), diversas são as áreas costeiras densamente povoadas que se situam em regiões planas e baixas. Nessas regiões já são verificados muitos problemas de erosão, drenagem e inundações, que serão amplificados em cenários de mudanças climáticas. Embora existam diversos estudos sobre vulnerabilidades, exposição e perigos (dinâmica e impactos) costeiros, há uma carência de estudos sobre a quantificação de riscos costeiros, com projeções de perdas de habitats e infraestruturas. Apenas um estudo de caso levou em consideração os diferentes cenários do IPCC na modificação dos ventos, ondas, e nível do mar, para avaliar riscos costeiros no litoral de Santa Catarina (CEPAL, 2016). As deficiências nos estudos brasileiros se referem ao desenvolvimento e aplicação de metodologia para elaboração de bases de dados numéricos de alta resolução temporal e espacial do clima

marítimo (ventos, ondas e marés) pretéritos e futuros (previsões), para calcular vulnerabilidade, exposição, perigos e riscos costeiros. Há ainda uma dependência de grupos estrangeiros, a exemplo dos relatórios gerados para América Latina e Caribe (CEPAL, 2013) e para o estado de Santa Catarina (CEPAL, 2016).

Pesquisas baseadas na simulação de cenários de impacto e mitigação a partir de modelos biofísicos devem fazer parte da agenda dos grupos dedicados ao estudo das mudanças climáticas na zona costeira. Para que essa estratégia esteja realmente à altura do desafio imposto, ela deve ser capaz de determinar os possíveis impactos das mudanças climáticas na produtividade, conectividade e resiliência dos ecossistemas de interesse. Com base nos resultados do Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5), já é possível realizar experimentos de regionalização dos cenários futuros de mudanças climáticas (por exemplo, Expts 4.1 e 4.2, RCP 4.5 e RCP 8.5 no período de 2006-2100) utilizando o Regional Ocean Modeling System (ROMS) em associação com modelos lagrangeanos. Essa estratégia permite a elaboração de cenários atuais e futuros para se determinar as diferenças na distribuição de nutrientes, composição do plâncton, fluxo de carbono e na dispersão de organismos nos GEMs.

Os estudos sobre impactos das mudanças climáticas sobre os padrões de produção primária pelagial, em associação com processos de eutrofização, aumentaram significativamente no Brasil ao longo dos últimos anos, mas o número de pesquisadores dedicados a essa linha de pesquisa é ainda muito modesto. Esforços devem ser colocados visando uma maior integração entre os grupos existentes e o desenvolvimento de projetos voltados a melhor compreender as taxas de produtividade primária e sua variabilidade ao longo das diferentes regiões na costa brasileira.

Os ecossistemas costeiros e seus recursos estão ameaçados pelas mudanças climáticas globais (aquecimento e acidificação dos oceanos) e pelas eventuais interações com estressores locais (poluição costeira, poluição relacionada à exploração de petróleo, pesca). As respostas da biodiversidade marinha brasileira às mudanças climáticas são variadas, agravadas nas regiões densamente povoadas e impactadas. O conjunto de registro e observações, ao longo das últimas décadas, aponta mudanças na abundância e distribuição de espécies chaves, aumento na incidência e abundância de espécies oportunistas, aumento na frequência de eventos de branqueamento e mortalidade de corais, perda de bancos de gramas marinhas e reduções

de áreas ocupadas por manguezais. Entretanto, não se pode afirmar o quanto dessas modificações pode ser atribuído a impactos antropogênicos ou às mudanças climáticas. É certo que a ocupação intensa da zona costeira brasileira dificultará ou impedirá tanto a expansão de habitats naturais em direção ao continente (em caso de elevação do nível do mar), como em direção aos polos (no caso de aumento da temperatura). O monitoramento contínuo e a produção de inventários pela ReBentos poderão revelar, em médio e longo prazo, uma visão geral das modificações que estão ocorrendo com a biota, atribuídas a eventos naturais e/ou antropogênicos, dentro do contexto das mudanças climáticas. Resultados experimentais, que simulem condições naturais e cenários climáticos futuros, poderão conectar as respostas fisiológicas individuais com as observadas no campo. Tais produtos deverão subsidiar as propostas de políticas públicas e estratégias para a conservação da biodiversidade marinha. Mais que isso, a integração entre pesquisadores e tomadores de decisão carece de um estímulo, que pode levar a um novo patamar de integração entre ciência e gestão no Brasil. Um exemplo dos esforços nesse sentido no âmbito da ReBentos remete à integração com unidades de conservação para instalação de sítios de monitoramento de longa duração que sirvam tanto aos interesses científicos quanto para a avaliação da efetividade das unidades de conservação. Com essa iniciativa pode-se buscar não apenas a perenidade dos monitoramentos, com recursos humanos e financeiros aportados ou viabilizados via os órgãos gestores das unidades de conservação, mas também uma re-significação para os dados produzidos.

Apesar dos investimentos dos últimos anos, o Brasil ainda não dispõe de infraestruturas adequadas para simular condições relacionadas às mudanças climáticas, considerando os diferentes ambientes costeiros. Os laboratórios disponíveis são resultado do financiamento de projetos pulverizados e não dispõem de apoio técnico e financiamento adequado para o seu funcionamento e manutenção a longo prazo (Kerr et al., 2016). Recomenda-se a criação de grandes laboratórios multi institucionais, com infraestruturas apropriadas de mesocosmos. Esses centros devem permitir a interação entre grupos de pesquisa emergentes e consolidados, otimizando os esforços de pesquisa e catalisando a elaboração de propostas mais criativas e factíveis de manejo dos recursos marinhos-costeiros. O resultado seriam informações mais seguras, claras e precisas para subsidiar os

planos de adaptação e mitigação dos efeitos negativos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas brasileiros.

As respostas dos sistemas costeiros e marinhos às variabilidades climáticas oceano-atmosfera (ENSO, ODP), hidrológicas (precipitação, descarga fluvial) e oceanográficas (nível do mar, correntes, eventos extremos), associadas ao grau de sensibilidade das espécies e vulnerabilidade dos ecossistemas, já apresentam implicações para a socioeconomia das populações costeiras do Brasil, particularmente aquelas que dependem dos recursos pesqueiros. As perdas na economia pesqueira, associadas com eventos El Niño no Sul do Brasil, são exemplos de processos que podem ser amplificados com as mudanças climáticas. Recomenda-se maiores estudos para outras regiões do país, que incorporem análises de previsões climáticas e oceanográficas sobre a produção pesqueira. Dessa maneira, políticas de promoção à pesca artesanal devem ser repensadas, levando-se em consideração essas previsões e a relação custo-benefício social na tomada de decisão à gestão, de modo a mitigar os impactos negativos sobre a economia e sobre os povos pesqueiros.

Para prever os impactos das mudanças climáticas sobre as zonas costeiras brasileiras, compreender as respostas dos ecossistemas, da sua biodiversidade e as suas implicações socioambientais, faz-se necessário o investimento em infraestruturas observacionais estratégicas e a criação de centros e laboratórios interdisciplinares e multi institucionais. A continuidade e o fortalecimento das redes e sistemas observacionais existentes (ReBentos, SiMCosta, Rede Abrolhos), dos programas de longo prazo (Programas Ecológicos de Longa Duração – PELD, INCTs), assim como o investimento de fundo setoriais (ex. CT-HIDRO) são fundamentais para a consolidação de uma agenda nacional de pesquisa em mudanças climáticas. O investimento coordenado, que priorize o conhecimento estratégico, permitirá ao Brasil tratar adequadamente o tema mudanças climáticas globais e suas implicações para a sociedade, incluindo aquelas que fragilizam a soberania nacional. Esse processo deve ser institucionalizado e o financiamento incorporado à legislação, para que tenhamos a segurança de sua manutenção, independentemente de interesses políticos de curto prazo.

Agradecimentos

À Rede Clima e ao INCT para Mudanças Climáticas, apoiados pelo CNPq e FAPESP, pelo apoio financeiro, técnico-científico e logístico. As ações e estudos foram apoiados por diversos programas e projetos, com destaque para ReBentos (Programa SISBIOTA; CNPQ e FAPESP), SiMCosta (Fundo Clima/FINEP; CNPq), Projeto Riscos Costeiros (Fundo CLIMA; FINEP), PELD (CNPq), REHMANSÁ, IAI, *The Blue Carbon Initiative* e CEPAL. M. Copertino e M. Denadai foram bolsistas da Rede Clima (CNPq) e ReBentos (CNPq), respectivamente.

Referências

Abdallah P. R., & Hellebrandt D. (2012). Efeito de eventos El Niño na economia da pesca do camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) na Lagoa dos Patos, RS, Brasil. Em: 50º Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural – SOBER, Vitória, ES, Brasil.

Agosta E. A., & Compagnucci R. H. (2008). The 1976/77 Austral Summer Climate Transition Effects on the Atmospheric Circulation and Climate in Southern South America. *Journal of Climate* 21: 4365-4383.

Alongi, D. M. (2010). Dissolved iron supply limits early growth of estuarine mangroves. *Ecology* 91(11): 3229–3241.

Amado-Filho G.M., Moura R. L., Bastos A. C., Salgado L. T., Sumida P. Y., Guth A. Z., Francini Filho R. B., Pereira Filho G. H., Abrantes D. P., Brasileiro P. S., Bahia R. G., Leal R. N., Kaufman L., Kleypas J. A., Farina M., & Thompson F. L. (2012). Rhodolith Beds Are Major CaCO₃ Bio Factories in the Tropical South West Atlantic, Brazil. *PLoS ONE* 7 e35171.

Amaral A. Z. A., Corte G. N., Filho J. R. S., Denadai M. R., Colling L. A., Borzone C., Veloso V., Omena E. P., Zalmon I. R., Barreira C. R. A., Souza J. B. R., Rosa L. C., & Almeida T. M. C. (2016). Brazilian Sandy Beaches, Characteristics, Ecosystem Services, Impacts, Knowledge and Priorities. *Brazilian Journal of Oceanography* 64(sp2): 5-15.

Aragon C. C., Sousa P. H. G. O., & Siegle E. (2013). Estudo do impacto de tempestades na Ilha Comprida, SP. In: XXV Semana Nacional de Oceanografia, São Paulo.

Barros K. V. D. S., Barreira C. D. A. R., & Magalhães K. M. (2013). Ecology of Brazilian Seagrasses. Is our Current Knowledge Sufficient to Make Sound Decisions About Mitigating the Effects of Climate Change? *Iheringia. Série Botânica* 68(1): 155-170.

- Barros V., Grimm A., & Doyle M. (2002). Relationship between temperature and circulation in Southeastern South America and its Influence from El Niño and La Niña events. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 80(1): 21-32.
- Bauer J. E., Cai W. J., Raymond P. A., Bianchi T. S., Hopkinson C. S., & Regnier P. A. G. (2013). The changing carbon cycle of the Coastal Ocean. *Nature* 504: 61-70.
- Belkin, I.M. (2009). Rapid warming of large marine ecosystems. *Progress in Oceanography* 81: 207-213.
- Bernardino A. F., Pagliosa P. R., Christofolletti R. A., Barros F., Netto S., Muniz P. & Lana P. C. (2016). Benthic Estuarine Communities in Brazil: Moving Forward to long term Studies to Assess Climate Change Impacts. Brazilian. *Journal of Oceanography* 64(sp2): 81-95.
- Bernhardt J. R., & Leslie H. M. (2013). Resilience to Climate change in Coastal Marine Ecosystems. *Annual Reviews of Marine Science* 5: 371-392.
- Bijlsma L., Ehler C. N., Klein R. J. T., Kulshrestha S. M., McLean R. F., Mimura N., Nicholls R. J., Nurse L. A., Perez Nieto H., Stakhiv E. Z., Turner R. K., & Warrick R. A. (1996). Coastal zones and small islands. In: Watson RT, Zinyowera MC, & Moss RH (Eds.) *Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses*. Cambridge University Press, Cambridge, 289-324.
- Bindoff N. L., Willebrand J., Artale V., Cazenave A., Gregory J. M., Gulev S., Hanawa K., Quéré C. L., Levitus S., Nojiri Y., Shum C. K., Talley L. D., & Unnikrishnan A. S. (2007). Oceanic Climate Change and Sea Level. In: *Climate Change the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* 5: 386-432.
- Bucci A. F., Ciotti M. A., Pollery R. G. C., de Carvalho R., de Albuquerque C., de Albuquerque H. C., & Simões L. S. T. (2012). Temporal variability of Chlorophyll-a in the São Vicente Estuary. *Brazilian Journal of Oceanography* 60(4): 485-499.
- Carson M., Köhl A., Stammer D., Slangen A. B. A., Katsman C. A., van de Wal R. S. W., Church J., & White N. (2016). Coastal sea level changes, observed and projected during the 20th and 21st century. *Climatic Change* 134(1): 269-281.
- Castello J. P., & Möller O. O. (1978). On the Relationship between Rainfall and Shrimp Production in the Estuary of the Pathos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *Atlântica* 3: 67-74.
- CEPAL (2013). Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe, 2013 (LC/G.2582-P), Santiago de Chile, 2013. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: E/S.14.II.G.1.

CEPAL (2016). Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2016: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los desafíos del financiamiento para el desarrollo.

Chmura G. L., Anisfeld S. C., Cahoon D. R., & Lynch J. C. (2003). Global Carbon Sequestration in Tidal, Saline Wetland Soils. *Global Biogeochemical Cycles* 17(4): 1111.

Christian R. R., Digiacoimo P. M., Malont, T. C., & Talaue-McManus L. (2006). Opportunities and Challenges of Establishing Coastal Observing Systems. *Estuaries and Coasts* 29(5): 871–875.

Chu C., Mandrak N. E., & Minns C. K. (2005). Potential Impacts of Climate Change on the Distributions of Several Common and Rare Freshwater Fishes in Canada. *Diversity and Distributions* 11: 299–310.

Church J. A., Barros V. R., Jon D. D., Mach K. J., & Mastrandrea M. D. (2013). In: Stoker T. F. et al. (Eds.) *Climate Change 2013, The Physical Science Basis. IPCC*, Cambridge Univ. Press 13: 1137–1216.

Ciotti A., Garcia C. A. E., & Jorge D. S. F. (2010). Temporal and Meridional Variability of Continental Shelf. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5(2): 236–253.

Ciotti A. M., Mahiques M. D., & Möller O. O. (2014). The meridional gradients of the S-SE Brazilian Continental Shelf: Introduction to the special volume. *Continental Shelf Research* 89: 1–4.

Clark J. S., Carpenter S. R., Barber M., Collins S., Dobson A., Foley J. A., Lodge D. M., Pascual M., Junior R. P., Pizer W. C., Pringle C., Reid V., Rose K. A., Sala O., Schlesinger W. H., Wall D. H., & Wear D. (2001). Ecological Forecasts, an Emerging Imperative. *Science* 293:657–660.

Cloern J. E., & Jassby A. D. (2010). Patterns and Scales of Phytoplankton Variability in Estuarine Coastal Ecosystems. *Estuaries and Coasts* 33: 230–241.

Coelho-Souza S. A., López M. S., Guimarães J. R. D., Coutinho R., & Candella R. N. (2012). Biophysical Interactions in the Cabo Frio Upwelling System, Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* 60 (3): 353–365.

Copertino M. S., Garcia A. M., Muelbert J. H., & Garcia C. A. E. (2010). Introduction to the Special Issue on Climate Change and Brazilian Coastal Zone. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5(2): I–VIII.

Copertino M., & Seeliger, U. Hábitats de *Ruppia Maritima* e de Macroalgas. (2010). In: Seeliger, U. e Odebrecht, C. (Eds). *O estuário da lagoa dos patos: um século de transformações*. Editora da FURG, Rio Grande: 92–98.

Copertino M. S. (2011). Add Coastal Vegetation to the Climate Critical List. *Nature* 473: 255.

- Copertino M., Creed J. C., Lanari M. O., Magalhães K., Barros K., Lana P. C., Sordo L., & Horta P. A. (2016). Seagrass and Submerged Aquatic Vegetation (VAS) Habitats off the Coast of Brazil: state of knowledge, conservation and main threats. *Brazilian Journal of Oceanography* 64(sp2): 53-79.
- Costa M. B. S. F., Mallmann D. L. B., Pontes P. M., & Araujo M. (2010). Vulnerability and Impacts Related to the Rising sea level in the Metropolitan Center of Recife, Northeast Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5(2): 341-349.
- Constanza R., Groot R. D., Sutton P., Van Der Ploeg S., Anderson S., Kubiszewski I., Farber S., & Turner R. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environment Change* 26: 152-158
- Cotovistsz L. C., Knoppers B. A., Brandini N., Santos S. J. C., & Abril J. (2015). A Strong CO₂ Sink Enhanced by Eutrophication in a Tropical Coastal Embayment (Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil). *Biogeosciences* 12: 6125–6146.
- Coutinho R., Yaginuma L. E., Siviero F., dos Santos J. C. Q. P., López M. S., Christofolletti R. A., Berchez F., Ghilardi-Lopes N. P., Ferreira C. E. L., Gonçalves J. E. A., Mais B. P., Correia M. D., Sovierzoski H. H., Skinner L. F., & Zalmon I. R. (2016). Studies on benthic communities of rocky shores on the Brazilian coast and climate change monitoring: status of knowledge and challenges. *Brazilian Journal of Oceanography* 64(sp2): 37-35.
- Creed J. C. (2003). The seagrasses of South America: Brazil, Argentina and Chile. In: Green, E. P. and Short, F. T. (Eds), *World Atlas of seagrasses*. University of California Press. Pp. 243–245.
- Cullen J. J., Franks P. J. S., Karl D. M., & Longhurst A. (2002). Physical Influences on Marine Ecosystem Dynamics. In, Robinson, A. R., Mccarthy, J. J., & Rothschild B. J. *The Sea*. New York, John Wiley, Sons 12(08): 297-336.
- D'Agostini A., Gherardi D. F. M., & Pezzi L. P. (2015). Connectivity of Marine Protected areas and Its Relation with Total Kinetic Energy. *Plos One* 10 (10): e 0139601
- Dias D. F., Pezzi L. P., Gherardi D. F. M., & Camargo R. (2014). Modeling the Spawning Strategies and Larval Survival of the Brazilian Sardine, *Sardinella Brasiliensis*. *Progress in Oceanography*, 123: 38-53.
- Duarte C. M., Marbà N., Gacia E., Fourqurean J. W., Beggins J., Barrón C., & Apostolak E. T. (2010). Seagrass Community Metabolism: Assessing the Carbon Sink Capacity of Seagrass Meadows. *Global Biogeochemical Cycles* 4: 24.
- Duarte G., Calderon E. N., Pereira C. M., Marangoni L. F. B., Santos H. F., Peixoto R. S., Bianchini A., & Castro C. B. (2015). A novel marine mesocosm facility to study global warming, water quality, and ocean acidification. *Ecology and Evolution* 5(20): 4555-4566.

- Emerson S., Quay P., & Wheeler P. A. (1993). Biological Productivity Determined from Oxygen Mass Balance and Incubation Experiments. *Deep Sea Research* 1(40): 2351-2358.
- Faraco, L. F. D., Filho, J. M. A., & Lana, P. C. (2010). A Methodology for Assessing the Vulnerability of Mangroves and Fisherfolk to Climate Change. *Pan American Journal of Aquatic Sciences* 5(2): 205-223.
- Faveri C., Schmidt E. C., Simioni C., Martins C. D., Barufi J. B., Horta P. A., & Bouzon, Z. L. (2015). Effects of eutrophic seawater and temperature on the physiology and morphology of *Hypnea musciformis* JV Lamouroux (Gigartinales, Rhodophyta). *Ecotoxicology* 24(5): 1040-1052.
- Ferreira C., Horta P. A., Almeida G. M., Zitta C. S., Oliveira E. M., Gueye M. B. Y. B., & Rodrigues A. C. (2013). Anatomical and Ultrastructural Adaptations of Seagrass Leaves: an Evaluation of the Southern Atlantic Groups. *Protoplasma* 251:1615-6102-0.
- Figueiredo M. A. O., Eide I., Reynier M., Villas-Bôas A. B., Tãmega F. T. S., Ferreira C. G., Nilssen I., Coutinho R., & Johnsen S. (2015). The effect of sediment mimicking drill cuttings on deep water rhodoliths in a flow-through system: Experimental working and modelling. *Marine Pollution Bulletin* 95(1): 81-88.
- Foster M.S. (2001). Mini-review: Rhodoliths, between rocks and soft places. *Journal of Phycology* 37: 659-657.
- Freitas L. M. (2012). Resposta da calcificação do coral *Montastraea cavernosa* (Linnaeus, 1767) à heterotrofia durante evento de branqueamento. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, 37p.
- Garcia A. M., & Vieira, J. P. (2001). O Aumento da Diversidade de Peixes no Estuário da Lagoa dos Patos durante o Episódio El Nino 1997-1998. *Atlântica* 23: 133-152.
- Garcia A. M., Vieira J. P., Winemiller K., & Grimm A.M. (2004). Comparison of the 1982-1983 and 1997-1998 El Nino Effects on the Shallow-Water Fish Assemblage of the Patos Lagoon Estuary, Brazil. *Estuaries* 27(6): 905-914.
- Garcia A.M., Vieira J.P., & Winemiller, K. (2003). Effects of 1997-1998 El Niño on the Dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon Estuary, Brazil. *Estuarine, Coastal and shelf Science* 57(3): 489-500.
- Garcia C. A. E., & Nobre C. A. (2010). Foreword. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5(2): IX-XI.
- Gherardi D. F. M., Paes E. T., Soares H. C., Pezzi L. P., & Kayano M. T. (2010). Differences between spatial patterns of climate variability and large marine ecosystems in the western South Atlantic. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5(2): 310-319.

- Giannini M. F. C., Garcia C. A. E., Garcia, V. M. T., & Ciotti, A. M. (2013). Effects of low-salinity and high-turbidity water on water empirical algorithms: An example of Southwestern Atlantic waters. *Continental Shelf Research* 59: 84-96.
- Giannini M. F. C., & Ciotti A. M. (2016). Parametrization of natural phytoplankton photo-physiology: Effects of cell size and nutrient concentration. *Limnology and Oceanography* 61(4): 1495-1512.
- Giri C., Ochieng E., Tieszen L. L., Zhu Z., Singh A., Loveland T. R., Masek J., & Duke N. (2011). Status and distribution of Mangrove Forests of the World using Earth Observation Satellite Data. *Global Ecology and Biogeography* 20(1): 154-159.
- Ge M., Friedrich J., & Damassa T. (2016). 46 Graphs Explain the World's Top 10 Emitters. *World Resource Institute*.
- Godoy M. D. P., & Lacerda L. D. (2015). Mangroves Response to Climate Change: A review of Recent Findings on Mangrove Extension and Distribution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 87(2): 651-667.
- Gonzales, M.; Nicolodi, J. L.; Gutiérrez, O. Q. ; Losada, V. C. ; HERmosa, A. E. . Brazilian Coastal Processes: Wind, Wave Climate and Sea Level. In: Short, A.D., Klein, A. H. F. (Org.). *Brazilian Beach Systems*. 1ed.Switzerland: Springer International Publishing, 2016, v. 17, p. 37-66.
- Grim A., Bastos V. R., & Doyle M. E. (2000.) Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. *Journal of Climate* 13: 35-58.
- Groot R., Brander L., van der Ploeg S., Costanza R., Bernard F., Braat L., Christie M., Crossman N., Ghermandi A., Hein L., Hussain S., Kumar P., McVittie A., Portela R., Rodriguez L. C., ten Brink P. & van Beukering P. (2012) Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services* 1: 50-61.
- Guenther M., Lima, I., Mugrabe, G., Tenenbaum D. R., Gonzalez-Rodriguez E., & Valentin J. L. (2012). Small time scale plankton structure variations at the entrance of a tropical eutrophic bay (Guanabra Bay, Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography* 60(4): 405-414.
- Haraguchi L., Carstensen J., Abreu P. C., & Odebrecht C. (2015). Long-term changes of the phytoplankton community and biomass in the subtropical shallow Patos Lagoon Estuary, Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Research* 162: 76-87
- Haylock M. R., Peterson T. C., Alves L. M., Ambrizzi T., Anunciação Y. M. T., Baez J., Barros V. R., Berlato M. A., Bidegain M., Coronel G., Corradi V., Garcia V. J., Grimm A. M., Karoly D., Marengo J. A., Marino M. B., Moncunill D. F., Nechet D., Quintana J., Rebello E., Rusticucci M., Santos J. L., Trebejo I., & Vincent L. A. (2006) Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960-2000 and Links with Sea Surface Temperature. *Journal of Climate* 19: 1490-1512.

Helmuth, B.; Mieszkowska, N.; Moore, P. J.; Hawkins, S. J. Living on the edge of two changing worlds: forecasting the responses of rocky intertidal ecosystems to climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, v. 37, n. 1, p. 373-404, 2006.

Hinkel J., Lincke D., Vafeidis A. T., Perrette M. Nicholls R. J., Tol R. S. J., Marzeion B., Fettweis X., Ionescu C., & Levermann A. (2014). Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea-level rise. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 3292–3297.

Hirata F. E., Möller O. O., & Magalhães M. M. (2010). Regime Shifts, Trends and Interannual Variations of water level in Mirim Lagoon, Southern Brazil. *Pan American Journal of Aquatic Sciences* 5: 254-266.

Horta P. A., Riul P., Filho G. M. A., Gurgel C. D.F., Berchez F., Nunes J. M. d. C., Scherner F., Pereira S., Lotufo T., Peres L., Sissini M., Bastos E. de O., Rosa J., Munoz P., Martins C., Gouvêa L., Carvalho V., Bergstrom E., Schubert N., Bahia R. G., Rodrigues A. C., Rörig L., Barufi J. B., & Figueiredo M. (2016). Rhodoliths in Brazil: Current Knowledge and Potential Impacts of Climate Change. *Brazilian Journal of Oceanography* 64: 117-135.

Huisman J., Sharples J., Stroom J. M., Visser P. M., Kardinaal W. E. A., Verspagen J. M. H., & Sommeijer B. (2004). Changes in turbulent mixing shift competition for light between phytoplankton species. *Ecology* 85(11): 2960-2970.

IAI (2011). Addendum to Human Dimension of south Atlantic Climate Change Project, CRN 2076, Inter-American Institute for Global Change, Technical Report. FURG-ICEAC-UPEC. mar. Rio Grande, RS.

IPCC (2013). The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Core Writing Team Tignor K., Allen M., Boschung S. K., Nauels J., Xia A., Bex Y., Bex, Midgley (eds)], 1535.

IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC (2014, 2013). Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

John J. G., Stock C. A., & Dunne J. P. (2015). A more productive, but different, ocean after mitigation. *Geophysical Research Letters* 42: 9836–9845.

Kerr R., Cunha L. C., Kikuchi R. K. P., Horta P. A., Ito R. G., Muller M. N., Orselli I. B. M., Lencina-Avila J. M., Orte M. R., Sordo L., Pinheiro B. R., Bonou F. K., Schubert N., Bergstrom E., & Copertino M. S. (2016). The Western South Atlantic Ocean in a High-CO₂ World: Current Measurement Capabilities and Perspectives. *Environmental Management* 57(3): 740-752.

Klein P., Lapeyre G., & Large W. G. (2004). Wind ringing of the ocean in presence of mesoscale eddies. *Geophysical Research Letters* 31(15): 306.

Koop R. E., Kemp A. C., Bitterman K., Horton B. P., Donnelly J. P., Gehrels R., Hay C. C., Mitrovica J. X., Morrow E. D., & Rahmstorf S. (2016). Temperature-driven global sea-level variability in the Common Era. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 11: 1434-1441.

Laffoley D., & Grimsditch G. (2009). The management of natural coastal carbon sink. Gland, Switzerland: IUCN.

Lanari M., & Copertino M. *in press*. Drift macroalgae blooms in the Patos Lagoon (southern Brazil): effects of climate, hydrology and wind action on the onset and magnitude of blooms. *Marine Biology Research*.

Leão Z. M. A. N., Kikuchi R. K. P., & Oliveira M. D. E. (2008). Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas nas águas superficiais do oceano. *Biota Neotropica* 8: 69-82.

Leão Z. A. M., Kikuchi R. P. K., Ferreira B. F. P., Neves E. G., Sovierzoski H. H., Oliveira M. M. D., Maida M., Correia M. D., & Johnsson R. (2016). Brazilian Coral Reefs in a Period of Global Change: A Synthesis. *Brazilian Journal of Oceanography* 64(sp2): 97-115.

Lemos A. T., & Ghisolfi R. D. (2010). Long Term Mean Sea level Measurements along the Brazilian Coast: A Preliminary Assessment. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2): 331-340.

Lu W., Chen L., Wang W., Tam N. F., & Lin G. (2013). Effects of sea level rise on mangrove *Avicennia* population growth, colonization and establishment: Evidence from a field survey and greenhouse manipulation experiment. *Acta Oecologica* 49: 83-91,

Machado A. A., Calliari L. J., Melo E., & Klein A. H. F. (2010). Historical assessment of extreme coastal state conditions in the southern Brazil and their relation to erosion episodes. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5(2): 277-286.

Mantua N. J., & Hare S. R. (2002). The Pacific decadal oscillation. *Journal of Oceanography* 58: 35-44.

- Marangoni J. C., & Costa C. S. B. (2009). Natural and anthropogenic effects on salt marsh over five decades in the Patos lagoon (Southern Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography* 57(4): 345-350.
- Marengo J. A. (2008). Water and Climate Change. *Estudos Avançados* 22: 83-96.
- Marengo, J. A., et al. (2009). Climate change and extreme events in Brazil. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável and Lloyds Brazil. Online at <http://www.lloyds.com/~media/2ce4a37d36fd4fceab4c3fc876f412f7.ashx>.
- Marques, M., M.F. da Costa, M.I. de O. Mayora, and P.R.C. Pinheiro. 2004. Water environments: Anthropogenic pressures and ecosystem changes in the Atlantic drainage basins of Brazil. *Ambio* 33(1-2):68-77.
- McLeod E., Chmura G. L., Bouillon S., Salm R., Björk M., Duarte C. M., Lovelock C. E., Schlesinger W. H., & Silliman B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9(10): 552-560.
- Menezes J. T. (2002). Caracterização morfológica e sedimentar do segmento praiado Navegantes/Gravatá e sua ação sobre os esforços de recomposição da praia. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 108p.
- Mesquita, A. R. de. (2003). Sea Level Variations along the Brazilian Coast: A Short Review. Edtrs Klein, A. H. F. et al. In *Proceedings of the Brazilian Symposium on Sandy Beaches*. SI, Vol (35):21-31.
- Möller O. O., Castaign P., Salomon J. C., & Lazure P. (2001). The Influence of Local and Non-Local Forcing Effects on the Subtidal Circulation of Patos Lagoon. *Estuaries* 24: 297-311.
- Möller O. O., Castello J. P., & Vaz A. C. (2009). The effect of river discharge and winds on the interannual variability of the pink shrimp (*Farfantepenaeus paulensis*) production in Patos lagoon. *Estuaries and Coasts* 32: 787-796.
- Möller O. O., & Fernandes E. L. (2010). Hidrologia e Hidrodinâmica. In U. Seeliger, C. Odebrecht. (Eds). *O estuário da Lagoa dos Patos. Um século de transformações*. FURG, Rio Grande.
- Möller O. O., Piola A., Freitas A. C., & Campos E. J. D. (2008). The Effects of River Discharge and Seasonal Winds on the Shelf off Southeastern South America. *Continental shelf research* 28:1607-1624.
- Moser G. A. O., Ciotti A. M., Gianini M. F. C., Tonini R. T., & Harari J. (2012). Changes in phytoplankton composition in response to tides, wind-induced mixing conditions, and freshwater outflows in an urbanised estuarine complex. *Brazilian Journal of Biology* 72: 97-111.

- Moser G. A. O., Takanohasi R. A., Braz M. C., Lima D. T., Kirsten F. V., Guerra J. V., Fernandes A. M., & Pollery, R. C. G. (2014). Phytoplankton spatial distribution on the continental shelf off Rio de Janeiro, from Paraíba do Sul River to Cabo Frio. *Hydrobiologia* 728(1): 1-21.
- Moser G. A. O., Castro N. O., Takanohashi R. A., Fernandes A. M., Pollery R. C. G., Tenenbaum D. R., Varela-Guerra J., Barrera-Alba J.J., & Ciotti A. M. (2016). The influence of surface low-salinity waters and cold subsurface water masses on picoplankton and ultraplankton distribution in the continental shelf off Rio de Janeiro, SE Brasil. *Continental Shelf Research* 120: 82-95.
- Muehe D. (2001). Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 2(1): 35-44.
- Muehe D. (2006). Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro. Ministério do Meio Ambiente e Programa de Geologia e Geofísica Marina, Brasília, 476.
- Muehe D. (2010). Brazilian Coastal Vulnerability to Climate Change. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2): 173-183.
- Munoz, P. et al. Ecophysiological responses of *Lithothamnion crispatum* and *Sonderophycus capensis* to alterations in temperature, pCO₂ and nutrients. Effects of Climate Change on the World's Ocean. *Anais... In: Third International Symposium on the Effects of Climate Change on the World's Ocean*. Santos: 2015. Disponível em: <https://www.pices.int/publications/presentations/2015-Climate-Change/W2-W6/1420_Hortab.pdf>
- Nagai R. H., Sousa S. H. M., & Mahiques M.M. (2014). The southern Brazilian shelf. *Geological Society, London, Memoirs* 41(1): 47-54.
- Nellemann C., Corcoran E., Duarte C. M., Valdés L. De Young C., Fonseca L., & Grimsditch G, (2009). Blue carbon. A rapid reponse assessment. GRID-Arendal: United Nations of Environment Programme.
- Neves C. F., & Muehe D. (1995). Potential Impacts of Sea-Level Rise on the Metropolitan Region of Recife, Brazil. *Journal of Coastal Research* 14: 116-131.
- Nicholls R. J., Wong P. P., Burkett V. R., Codignotto J. O., Hay J. E., McLean R. F., Ragoonaden S., & Woodroffe C. D. (2007). Coastal Systems and low Lying Areas. Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M.L., Parry O.F. Canziani J.P., Palutikof P.J., Van der Linden., Hanson C. E. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK 315-356.
- Nicolodi J. L., & Petermann R. M. (2010). Potential Vulnerability of the Brazilian Coastal Zone in its Environmental, Social, and Technological Aspects. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5(2): 184-204.

Odebrecht C., Abreu P. C., Bemvenuti C. E., Copertino M., Muelbert J. H., Vieira J. P., & Seeliger U. (2010). The Patos Lagoon Estuary, Southern Brazil: Biotic Responses to Natural and Anthropogenic Impacts in the Last Decades (1979-2008). In: Kennish MJ, Paerl HW (Eds), *Coastal Lagoons: Critical Habitats of Environmental Change*. CRC Press, Boca Raton, pp. 433–455.

Odebrecht C., Abreu P.C., & Carstensen J. (2015). Retention time generates short-term phytoplankton blooms in a shallow microtidal subtropical estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Research* 162: 35–44.

O’Gorman E. J., & Emmerson M. C. (2010). Manipulating interaction strengths and the consequences for trivariate patterns in a marine food web. *Advances in ecological research* 42: 301-419.

Pagliosa P. R., Rovai A. S., & Fonseca A. L. (2012). Carbon mismanagement in Brazil. *Nature Climate Change* 2: 764.

Pauchari R. K. (2015). Climate Change 2014: Synthesis Report: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.

PBMC (2013). Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil.

Pendleton L., Donato D. C., Murray B. C., Crooks S, Jenkins W. A., Sifleet S., Craft C., Fourqurean J. W., Kauffman J. B., Marbà N., Megonigal P., Pidgeon E., Herr D., Gordon D. & Baldera A. (2012). Estimating Global “Blue Carbon” Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. *PLoS ONE* 7(9): e43542.

Pendleton L. H., Thébaud O., Mongruel R. C., Levrel H. (2010). Has the value of global marine and coastal ecosystem services changed? *Marine Policy* 64: 156-158.

Piola A. R., Campos E. J., Palma E., Möller O. O., & Matano R. (2005). The Influence of the Prata River Discharge on the Western South Atlantic Shelf. *Geophysical Research Letters* 32(1).

Pirazzolli P. A. (1986). Secular trends of relative sea-level (RSL) changes indicated by tide-gauge records. CNRS-INTERGEO, 191 Rue Saint Jacques, 75005 Paris, France.

Poloczanska E. S., Babcock R. C., Butler A., Hobday A. J., Hoegh-Guldberg O., Kunz T. J., Matear R., Milton D., Okey T. A., & Richardson A. J. (2007) Climate Change And Australian Marine Life. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 45: 409-480.

Queirós A. M., Fernandes J. A., Faulwetter S., Nunes J., Rastrick S. P. S., Mieszkowska N., Artioli Y., Yool A., Calosi P., Arvanitidis C., Findlay H. S., Barange M., Cheung W. W. L., & Widdicombe S. (2015). Scaling up experimental ocean acidification and warming research: from individuals to the ecosystem. *Global Change Biology* 21(1): 130-143.

Ribeiro J.S. (2011). Evolução da vulnerabilidade à erosão da zona costeira de Massaguaçu (SP) ao longo de 40 anos. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de São Paulo.

Ribeiro J.S. (2014). Vulnerabilidade costeira em praias do norte do Espírito Santo e sul da Bahia. 2014. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 214p.

Ribeiro J. S., Sousa P. H. G. O., Vieira D. R., & Siegle E. (2013). Evolução da vulnerabilidade à erosão costeira na praia de Massaguaçu (SP) Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada* 13: 253-265.

Rio Grande Declaration. (2009). Brazilian Workshop on Climate Changes in Coastal Zones, Current Knowledge and Recommendations. *Pan American Journal of Aquatic Sciences* 5(2): xii-xv.

Rudorff C. A. G., Lorenzetti J. A., Gherardi D. F. M., & Lins-Oliveira J. E. (2009a). Modeling spiny lobster larval dispersion in the Tropical Atlantic. *Fisheries Research* 96: 206-215.

Rudorff C. A. G., Lorenzetti J. A., Gherardi D. F. M., & Lins-Oliveira J. E. (2009b). Application of remote sensing to the study of the pelagic spiny lobster larval transport in the Tropical Atlantic. *Brazilian Journal of Oceanography* 57: 7-16.

Schaeffer-Novelli Y., Soriano-Sierra E. J., Vale C. C., Bernini E., Rovai A. S., Pinheiro M. A. A. P., Schmidt A J., Almeida R., Coelho J. C., Menghini R. P., Martinez d. I., Abuchahla G. M. O, Cunha Lignon M., charlier-sarubo s., shirazawa-freitas J., & Cintrón Molero G. (2016). Climate Changes in Mangrove Swamps/Forests and salt Marshes. *Brazilian Journal of Oceanography* 64(sp2): 37-52.

Scherner F., Horta P. A., Oliveira E. C., Simonassi J. C., Hall-Spencer J. M., Chow F., Nunes J. M. C., & Pereira S. M. B. (2012). Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. *Marine Pollution Bulletin* 76(1): 106-115.

Scherner F., Pereira C. M., Duarte G., Horta P. A., Barreira e Castro C., Barufi J. B., & Pereira S. M. B. (2016). Effects of Ocean Acidification and Temperature Increases on the Photosynthesis of Tropical Reef Calcified Macroalgae. *PLoS ONE* 11(5): e0154844.

Schroeder F. A., & Castello J. P. (2010). An essay on the Potential Effects of Climate Change on Fisheries in Patos Lagoon, Brazil. *Pan American Journal of Aquatic Sciences* 5(2): 320-330.

Seeliger U., & Odebrecht C. (2010). *O estuário da Lagoas dos Patos: um século de transformações*. Editora da FURG, Rio Grande, Brasil.

Sherman K., Belkin I. M., Friedland K. D., O'Reilly J., & Hyde K. (2009). Accelerated Warming and Emergent trends in Fisheries Biomass Yields of the World's Large Marine Ecosystems. *Ambio Human Environment* 38: 215–224.

Short F. T., Koch E. W., Creed J. C., Magalhães K. M., Fernandez E., & Gaeckle J. L. (2006). SeagrassNet monitoring across the Americas: case studies of seagrass decline. *Marine Ecology* 27(4): 277-289.

Silva M. M. (2008). Avaliação do efeito do aumento da temperatura da água sobre a espécie endêmica de coral *Siderastrea stellata* Verrill, 1868 observado em aquário. Monografia de Graduação, Centro Universitário Jorge Amado.

Silva P. S. R., Neves L. P., & Bemvenuti C. E. V. (2008). Temporal variation of sandy beach macrofauna in Cassino Beach, extreme South Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* 56 (4): 257- 270. 2008.

Silva F. G., Sousa P. H. G. O., Siegle E. (2016). Longshore transport gradients and erosion processes along the Ilha Comprida (Brazil) beach system. *Ocean Dynamics* (Print) 66: 1-13.

Slangen A. B. A., Adloff F., Jevrejeva S., Leclercq P. W., Marzeion P., Wada Y., & Winkelmann R. (2016). A review of recent updates of sea-level projections at global and regional scales. *Surveys in Geophysics* 1-22.

Sordo L., Fournier J., Oliveira V. M., Gern F., Panizza A. C., & Lana P. C. (2011). Temporal variations in morphology and biomass of vulnerable *Halodule wrightii* meadows at their southernmost distribution limit in the southwestern Atlantic. *Botanica Marina* 54: 13–21.

Soares M. L. G., Estrada G. C. D., Fernandez V., & Tognella M. P. (2012). Southern limit of the Western Atlantic mangroves: Assessment of the potential effects of global warming from a biogeographical perspective. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 101: 44-53.

Soares H. C., Gherardi D. F. M., Pezzi L. P., Kayano M. T., & Paes E. T. (2014). Patterns of Interannual Climate Variability in Large Marine Ecosystems. *Journal of Marine Systems* 134: 57-68.

Sousa P. H. G. O., Siegle E., & Tessler M. G. (2011). Environmental and Anthropogenic Indicators of Coastal Risk Assessment at Massaguaçu Beach (SP) Brazil. *Journal of Coastal Research* 59: 280-290.

Sousa P. H. G. O. (2013). Vulnerabilidade à erosão costeira no litoral de São Paulo: interação entre processos costeiros e atividades antrópicas. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 171p.

- Sousa P. H. G. O., Siegle E., & Tessler M. G. (2013). Vulnerability assessment of Massaguaçu Beach (SE Brazil). *Ocean & Coastal Management* 77: 24-30.
- Spalding M., Kainuma M, & Collins L. (2010). *World Atlas of Mangroves*. London, UK: Earthscan.
- Stammer D., Cazenave A., Ponte R. M., & Tamisieia M. E. (2013). Causes for contemporary regional sea level changes. *Annual Review of Marine Science* 5: 21-46.
- Stewart R. I. A., Dossena M., Bohan D. A., Jeppesen E., Kordas R. L., Ledger M. E., Meerhoff M., Moss B., Mulder C., Shurin J. B., Suttle B., Thompson R., Trimmer M., & Woodward G. (2013). Mesocosm experiments as a tool for ecological climate-change research. In: Woddward G. & O’Gorman E. J. (Ed.), *Advances in Ecological Research*. Academic Press, London. 48: 72–181.
- TEEB Synthesis (2010). *Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach Conclusions and Recommendations of TEEB*. London, UK: Earthscan.
- Toldo Jr. E. E., Dillenburg S. R., Corrêa I. C. S., Almeida L. E. S. B., Weschenfelder J., & Gruber N. L. S. (2006). Sedimentação de Longo e Curto Período na Lagoa dos Patos, Sul do Brasil. *Pesquisas em Geociências* 33: 79-86.
- Trenberth K. E., Jones P. D., Ambenje P. G., Bojariu R., Easterling D. R., Tank A. M. G. K., Parker D. E., Renwick J. A., Rusticucci M., Sond B., & Zai P. (2007). Surface and atmospheric Climate Change. In: Solomon S. et al. *Climate Change, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge 235-336.
- Turra A., & Denadai M. R. (2016). Linking biodiversity and Global Environmental Changes in Brazilian coastal habitats. *Brazilian Journal of Oceanography* 64(sp2): 3-4.
- Turra A., Cróquer A., Carranza A., Mansilla A., Areces A. J., Werlinger C., Martínez-Bayón C., Nassar C. A. G., Plastino E., Scwindt E., Scarabino F., Chow F., Figueroa F. L., Berchez F, Hall-Spencer J., Soto L. A., Buckeridge M. S., Copertino M. S., Széchy M. T. M., Ghilardi-Lopes N. P., Horta P., Coutinho R., Frascchetti S., & Leão Z. M. A. N. (2013). Global environmental changes: setting priorities for Latin American coastal habitats. *Global Change Biology* 19(7): 1965–1969.
- Twomey M., Jacob U., & Emmerson M. C. (2012). Perturbing a Marine Food Web: Consequences for Food Web Structure and Trivariate Patterns. In: Woodward G., Jacob U. O’Gorman E. J. (Eds.). *Global Change in Multispecies Systems. Advances in Ecological Research*, Vol 47: p. 349–409.
- Vasconcellos V. (2011). Suscetibilidade do coral *Mussismilia harttii* (Verrill, 1868) ao aumento da temperatura da água do mar. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, 79p.

Vera C., Silvestri G., Liebmann B., & González P. (2006). Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. *Geophysical Research Letters* 33: LI13707.

Vieira J. P., Garcia A. M., & Grimm A. M. (2008). Evidences of El Niño Effects on the Mullet Fishery of the Patos Pagoon Estuary. *Brazilian archives of Biology and Technology: An International Journal* 51(2): 433- 440.

Villas-Bôas A. B., Tãmega F. T. S., Andrade M., Coutinho R., & Figueiredo M. A. O. (2014). Experimental effects of sediment burial and light attenuation on two coralline algae of a deep water rhodolith bed in Rio de Janeiro, Brazil. *Cryptogamie Algologie* 35: 67-76.

Walter B. B., Rönnbäck P., Kovacs J. M., Crona B., Hussain S. A., Badola R., Primavera J. H., Barbier E., & Dahdouh-Guebas F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests. *Aquatic Botany* 89(2): 220-236.

Winder M., & Schindler D. E. (2004). Climate Change Uncouples Trophic Interaction in an Aquatic System. *Ecology* 85(8): 2100-2106.

Amazônia e REDD

Ana Paula Aguiar¹

Gilberto Fisch²

Paulo Artaxo³

Paulo Moutinho⁴

Resumo

A Amazônia foi um importante foco de estudos no INCT para Mudanças Climáticas devido aos mecanismos de interação de suas florestas com o clima regional e global, mecanismos que por sua vez vêm sendo afetados por uma combinação entre mudança climática global e o desmatamento regional. Este capítulo apresenta uma proposta inovadora de olhar integrado sob diferentes perspectivas para a região, sintetizando os avanços do conhecimento em diversas áreas obtidos durante o projeto, incluindo novos conhecimentos das áreas de meteorologia, físico-química da atmosfera, interação biosfera-atmosfera, estoques de carbono, cenários de mudanças de uso da terra e de emissões, e interações entre políticas públicas e desmatamento – incluindo a promoção de um debate qualificado sobre o mecanismo REDD+ e a construção de cenários participativos. Este olhar integrado das ciências sociais e naturais provê um rico contexto para o entendimento da dinâmica atual e perspectivas futuras para a região.

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

2 Instituto de Aeronáutica e Espaço/DCTA

3 Universidade de São Paulo

4 Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

Introdução

Um dos objetivos principais do INCT para Mudanças Climáticas foi aumentar a compreensão do papel que a Amazônia desempenha no sistema climático regional e global. Ainda, a iniciativa se propôs a avaliar como o desmatamento pode afetar o equilíbrio de seus ecossistemas tropicais (Davidson et al., 2012) e como mecanismos inovadores financeiros, em especial REDD+, podem contribuir para a redução da destruição florestal na região.

A Amazônia é uma região muito especial, não somente do ponto de vista de sua biodiversidade e extensão geográfica, mas também pelos fortes mecanismos de interação de suas florestas com o clima regional e global. A vegetação florestal, por exemplo, controla uma série de processos físico-químicos que influenciam a taxa de formação de nuvens, a quantidade da concentração de vapor de água, o balanço de radiação de energia, a emissão de gases biogênicos e de efeito estufa, entre tantas outras propriedades. Todos esses importantes processos, contudo, vêm sendo afetados por uma combinação entre mudança climática global e desmatamento regional. Como resultado, já há alterações na precipitação total e na duração do comprimento da estação seca e modificações nos valores de biomassa de florestas e gramíneas. Estudos observacionais mostram que a duração da estação seca no sul da Amazônia tem aumentado em pelo menos um mês desde a década dos anos 1960. Algo que poderá trazer importantes impactos nos ecossistemas regionais.

Além de sua interação com a atmosfera, a Amazônia contém o maior reservatório de carbono entre os ecossistemas terrestres. Reservatório este que, se perturbado por desmatamento ou degradação, poderá impactar de maneira significativa o ciclo de carbono global. A região é, também, peça fundamental do mais intenso ciclo hidrológico de nosso planeta. Participa ativamente de um sofisticado processamento e reciclagem de vapor de água, que alimenta sua gigantesca bacia hidrológica. Esses dois aspectos, repertório de carbono e reciclador de água, fazem da região amazônica um laboratório natural para pesquisas sobre clima e mudanças globais.

Em que pese a importância da Amazônia para o equilíbrio do clima regional e planetário, suas florestas continuam sofrendo destruição. Durante as duas últimas décadas (1990-2010), uma média entre 18.165 e 19.289 km²/ano foram convertidos em pastagens e campos agrícolas. Como resultado, a emissão anual de gases de efeito estufa (GEE) no período foi de 1,3 Gt CO₂ (SEEG, 2015). Esse padrão histórico, contudo, se inverteu nos últimos

dez anos. A taxa de destruição da floresta foi reduzida em 70% entre 2005 (19.014 km²) e 2014 (5.012 km²), segundo os dados publicados pelo INPE (2015). Diferentes estratégias de controle do desmatamento têm sido elencadas para explicar tal queda. Entre elas, aquelas voltadas ao aumento da fiscalização e da restrição a créditos aos proprietários de terra envolvidos em desmatamento ilegal (Assunção et al., 2012, 2013 a, b) e o estabelecimento de novas áreas protegidas (Soares Filho et al., 2010). Contribuiu também um maior engajamento do mercado na exclusão do desmatamento de suas cadeias produtivas (moratória da soja, por exemplo).

No entanto, apesar de todos os esforços de redução do desmatamento, desde 2011 a taxa anual está estagnada em torno de 5.000 km². Algo ainda expressivo e totalmente desnecessário. Há na região um grande estoque de terras já desmatadas (6-15 milhões ha) que se encontra subutilizado ou abandonado, incluindo extensas áreas de florestas secundárias (Terra Class, 2010). Além disso, nas áreas de floresta primária, existe a ameaça do fogo e exploração seletiva da madeira. Dados de sistemas de sensoriamento remoto identificaram 103.000 km² de florestas degradadas devido à atividade madeireira e fogo entre 2007-2013 - enquanto o total de desmatamento por corte-raso no mesmo período foi de aproximadamente 56.000 km² (INPE, 2015). A redução do desmatamento e a proteção dos recursos naturais, portanto, parece não estar consolidada.

Há ainda demandas por novas aberturas que ameaçam as conquistas de conservação florestal obtidas nos últimos anos. Os vetores principais que pressionam por uma retomada do desmatamento são a crescente demanda mundial por *commodities* (grãos e carne) (Nepstad et al., 2014), as obras de infraestrutura (estradas e hidrelétricas) (Alencar et al., 2015) sem as devidas salvaguardas socioambientais, a fragilidade na legislação ambiental (Azevedo et al., 2015) e o lento avanço de uma reforma agrária com mais sustentabilidade social e ambiental. Continuar a redução do desmatamento na região parece, portanto, fundamental, e em especial devido ao papel que a floresta tem para a manutenção do clima regional e global. Nesse sentido, parece fundamental que se encontre mecanismos inovadores que promovam compensações financeiras para as ações que busquem pela redução de desmatamento ou promovam a conservação florestal (Moutinho et al., 2011 a, b; Nepstad et al., 2014), assim como a discussão de novos cenários para a região que conciliem as dimensões ambientais, sociais e econômicas da sustentabilidade.

Interação Biosfera-Atmosfera

O fato de estarem ocorrendo mudanças constantes no bioma Amazônia, amplificando a complexidade das interações da biosfera-atmosfera, torna-se mais um desafio para as ciências atmosféricas, uma vez que tais características de heterogeneidade ainda não são bem representadas em modelos atmosféricos regionais e globais de previsão de tempo e clima da região. As origens dessas mudanças incluem desde atividades antropogênicas até a reorganização natural do clima. No que diz respeito à parte antropogênica, a crescente presença de áreas desmatadas e pastagens em meio à floresta amazônica nas últimas décadas tem afetado as trocas entre a superfície e a atmosfera na região (Neves, 2015).

O processo de convecção atmosférica desempenha um papel de grande importância nos mecanismos que a atmosfera encontra para se manter em equilíbrio radiativo entre a quantidade de energia que recebe do Sol e aquela que devolve para a atmosfera e o espaço. É através de movimentos convectivos que o calor (na forma de sensível e latente) e outras propriedades, tais como *momentum* e concentração de uma espécie química, são transportadas verticalmente ao longo das camadas atmosféricas, principalmente dentro da Camada Limite Atmosférica (CLA). Nesse aspecto, a turbulência atmosférica possui uma forte participação e eficiência no processo de transporte dessas propriedades. Por exemplo, no sentido de manutenção do ciclo hidrológico e de dinâmica da atmosfera, a convecção tem impacto direto na redistribuição de energia, *momentum* e vapor de água e na ocorrência de precipitação em nível regional e global, impactando, não somente outras áreas do Brasil, como também do mundo.

Novos Cenários para a Região

Diversos estudos importantes na literatura discutem cenários futuros para o desmatamento na Amazônia (Laurance et al., 2001; Soares-Filho et al., 2006). No entanto, esses estudos, realizados no início dos anos 2000, não representam as mudanças ocorridas na última década, em especial a queda da taxa de desmatamento pós-2004 (Dalla-Nora et al., 2014). A importância dos processos subjacentes a essas mudanças, somadas às incertezas sobre o futuro, motivaram o desenvolvimento de novos cenários de uso da terra no

contexto do INCT para Mudanças Climáticas⁵, combinando aspectos qualitativos e quantitativos (Aguiar et al., 2016). Uma das premissas do processo de construção dos novos cenários foi o foco em uma discussão mais ampla sobre sustentabilidade, integrando aspectos sociais, econômicos e ambientais - para além da simples discussão sobre o desmatamento. Os cenários quantitativos e espacialmente explícitos gerados foram utilizados por análises de modelos do sistema terrestre⁶, para estimativas de emissões (considerando o desmatamento por corte-raso, dinâmica da vegetação secundária e degradação florestal), assim como para fomentar a discussão com a sociedade sobre o futuro da região, através de métodos participativos.

Compensando pela Redução do Desmatamento Amazônico

Um dos caminhos mais promissores para enfrentar o desmatamento amazônico e extingui-lo o quanto antes é aquele estabelecido no âmbito da Convenção-Quadro da ONU sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês). Trata-se do mecanismo batizado de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+). O “+” indica ações adicionais à redução do desmatamento e degradação, entre elas a proteção dos estoques florestais já existentes, o reflorestamento e o manejo sustentável da floresta. O mecanismo foi criado seguindo-se o princípio da “redução compensada do desmatamento” (Moutinho & Schwartzman, 2005; Moutinho et al., 2011 a, b; Santilli et al., 2005) e prevê, àqueles que evitam a destruição da floresta, auxiliam na sua proteção e/ou recuperação e usam seus recursos de maneira sustentável, algum tipo de compensação (financeira ou não) via mecanismos da Convenção de Clima da ONU (COP16 - FCCC/CP/2010/7/Add.1).

Para acessar os recursos de REDD+ no âmbito da Convenção de Clima, o governo brasileiro vem atendendo aos requisitos estabelecidos pela Convenção que visam preparar o país para receber compensações pela redução do desmatamento na Amazônia. O governo brasileiro já submeteu, por exemplo, o nível de referência de emissões florestais (FREL) para a região e

5 Em sinergia com outros projetos: AMAZALERT (*Raising the alert about critical feedbacks between climate and land use change in Amazonia, European Commission's 7th Framework Programme, Grant 282664*); Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas (Rede Clima); e Programa FAPESP Mudanças Climáticas.

6 Como reportado no Capítulo 12 - Modelagem do Sistema Terrestre.

estabeleceu recentemente sua Estratégia Nacional de REDD+ (ENREDD). Enviou também à Convenção as suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, na sigla em inglês), que reúnem um conjunto de ações e metas para reduzir as emissões nacionais de GEE, incluindo uma meta de redução a zero do desmatamento ilegal até 2030. É preciso avançar, contudo, no monitoramento das salvaguardas socioambientais associadas a REDD+, e a ENREDD precisará achar o caminho para aumentar substancialmente a participação de representantes da sociedade civil no processo de discussão da implementação da estratégia.

Considerando a importância da Amazônia para o equilíbrio climático regional e global e a necessidade de se encontrar meios para que o desmatamento seja definitivamente extinto, este texto discute os principais achados sobre os processos que fazem a intermediação biosfera-atmosfera na Amazônia, incluindo o papel dos aerossóis e novos cenários para a região, e explora o potencial do REDD+ como um mecanismo financeiro de incentivo positivo para aqueles que demonstrarem e comprovarem esforços de redução de desmatamento, colocando assim valor monetário na manutenção de floresta em pé.

Resultados Científicos e Estado da Arte

Interação Biosfera-Atmosfera

Os estudos sobre a interação floresta-atmosfera na região amazônica tiveram início na década de 70, com trabalhos pontuais realizados por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Museu Paraense Emilio Goeldi (MEPG) e da Universidade Federal do Pará (UFPA). A partir dos anos 80, esses estudos se intensificaram e aumentaram sua complexidade, com a realização dos experimentos de campo ARME (1983-1986), GTE ABLE (1985-1987) e ABRACOS (1989-1995). A criação do Programa LBA – Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, em meados dos anos 90, permitiu que as pesquisas se tornassem mais complexas e multidisciplinares, tentando responder, de forma integrada e sinergicamente, como a Amazônia funciona como uma entidade única. Para tanto, foram realizados novos (e mais completos) experimentos de campo (LBA TRMM, em 1999; LBA Racci, em 2002; e, mais recentemente, o SAMBBA, em 2012, e GoAmazon 2014/15). Nesse sentido, as atividades realizadas pelo

INCT para Mudanças Climáticas - no âmbito do subprojeto Amazônia, no segmento de meteorologia - utilizaram a capacidade técnica e infraestrutura do LBA para desenvolver pesquisas na região, aumentando o conhecimento da interação superfície-atmosfera, em particular da parte baixa da atmosfera (Camada Limite Planetária - CLP), visando ampliar o conhecimento sobre como ocorre o processo de convecção na região.

Além disso, como forma de inovação e avanço científico, buscou-se abordar temas/assuntos que ainda haviam sido muito pouco (ou nada) explorados pela comunidade científica, a saber: a análise de medidas realizadas por avião no topo da CLP e o uso de modelagem de alta resolução (modelos de simulação de grandes vórtices – LES). No que diz respeito a medidas realizadas por aeronaves na Amazônia (Figura 1) durante o experimento GoAmazon 2014/15 (Martin et al., 2016), Kaufmann (2016) desenvolveu um novo método para calcular os fluxos de calor sensível, latente e *momentum*. Os dados foram obtidos durante voos realizados em vários níveis e em diferentes condições da atmosfera. Ressalta-se que essas medidas são baseadas em medições de alta frequência (20 Hz) e são importantes para se fechar a conservação de massa e energia dentro da CLP, aumentando o conhecimento de como se comporta a convecção.



Figura 1 – Avião instrumentado G1 e as trajetórias de seus voos realizados durante o Experimento GoAmazon 2014/15.

Uma das questões da meteorologia da camada limite, ainda em aberto na comunidade técnico-científica, é a associação entre os valores de fluxos obtidos dentro da CLP e aqueles usualmente observados em superfície, por torres instrumentadas (tal como a do Projeto ATTO). Uma das contribuições científicas do INCT para Mudanças Climáticas foi determinar, pela primeira vez na Amazônia, essa razão entre esses fluxos. A síntese de todos os voos está apresentada na Figura 2. O valor usualmente aceito na literatura (de que essa razão seja invariável no tempo e possua um valor de 0,2), mostrou-se aceitável para a época seca, porém nem tanto para a estação chuvosa, quando se obteve um valor inferior (da ordem de -0,05 a -0,10).

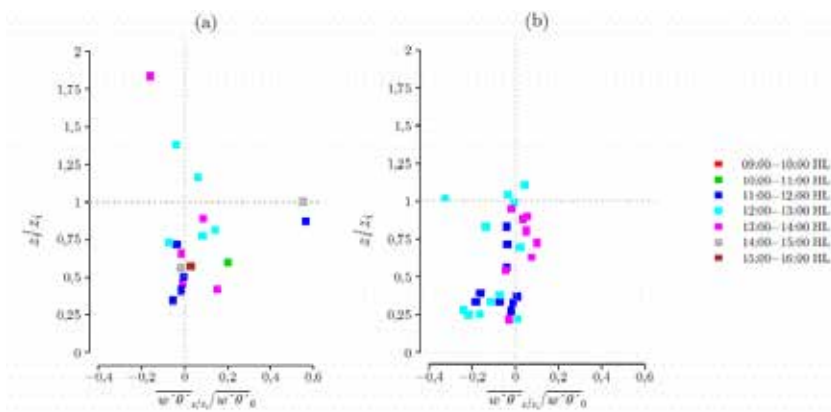


Figura 2 – Razão entre os fluxos de calor dentro da CLP e superfície para o experimento GoAmazon 2014/15.

O uso de modelos de simulação de vórtices de alta resolução (descritos em detalhes em Neves (2015) e Kaufmann (2016) para a Amazônia) é uma ferramenta poderosa para simular a turbulência na região e sua contribuição para os fluxos turbulentos e convecção (Figura 3). O aquecimento da superfície pelo Sol gera uma atmosfera instável do ponto de vista termodinâmico a partir de 3-4 horas após o nascer-do-sol e os movimentos verticais (vórtices e plumas) se formam, intensificando-se ao longo do dia. O topo desses movimentos verticais é, muitas vezes, identificado como sendo a profundidade da CLP, tendo sido observados valores entre 1000 a 2000 m na Amazônia (Kaufman, 2016).

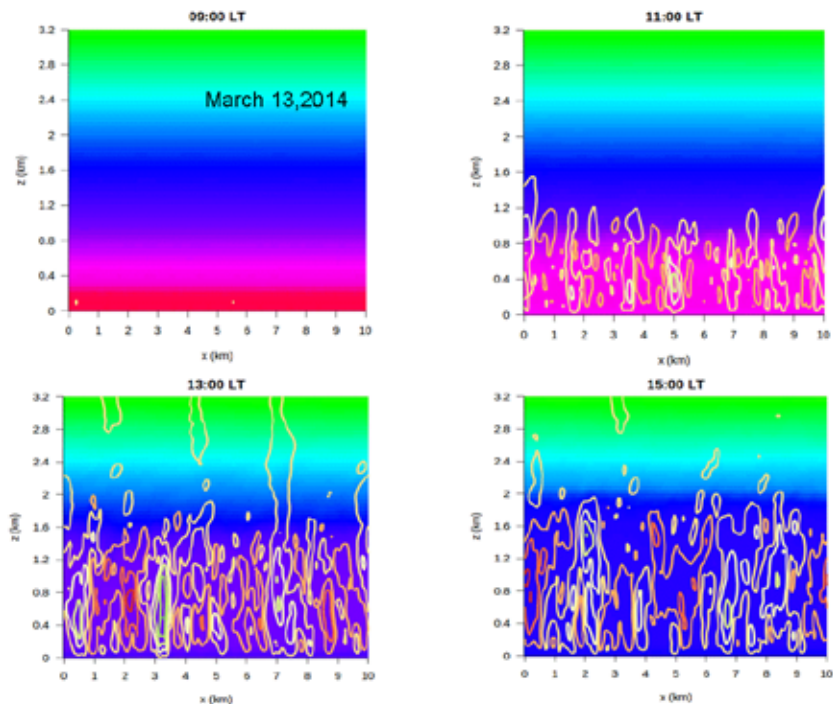


Figura 3 – Formação de vórtices (simulação LES) para a Amazônia Central.

A análise dos termos do Balanço de Energia Cinética Turbulenta é uma maneira de compreender e avaliar a importância relativa dos vários termos envolvidos na criação, transporte e dissipação de energia (Figura 4). No caso específico da CLP tropical, as contribuições térmicas (termo A) e mecânicas (termo B) são os principais termos, sendo que a contribuição térmica, devido ao aquecimento da superfície, é negativa na parte baixa (representando da superfície para a atmosfera) e positiva (da atmosfera livre para a CLP) na parte superior. O termo mecânico é muito pequeno, basicamente, pois o vento é fraco e não existe cisalhamento do vento com altura. A dissipação de energia (termo E), que é uma medida da criação ou dissipação pelos vórtices que estão presentes, é positiva (representando criação) e negativa (destruição) nas partes baixa e alta da CLP, respectivamente.

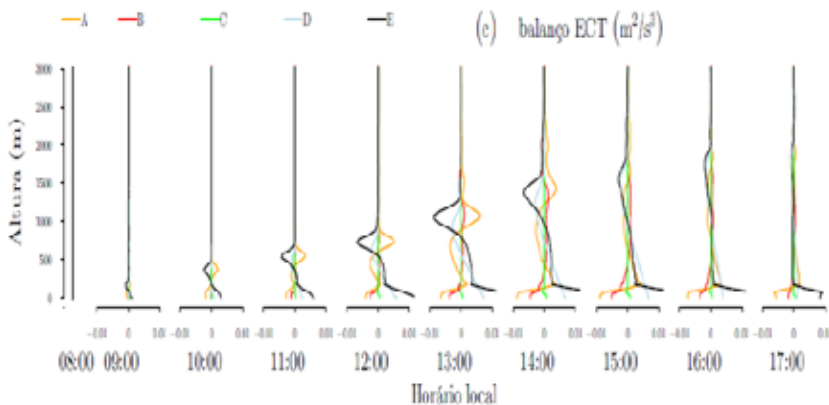


Figura 4 – Ciclo diário do Balanço de ECT na Amazônia.

Aerossóis Atmosféricos na Amazônia e seus Efeitos no Ecossistema

Como anteriormente mencionado, a Amazônia é uma região dominada pelos fortes mecanismos de interação entre a floresta e sua atmosfera e o clima regional e global (Artaxo et al., 2013). A biologia da floresta controla uma série de processos críticos para a precipitação regional, bem como a concentração de gases e partículas na atmosfera. A interação entre a floresta e a atmosfera é mediada por uma série de processos associados ao funcionamento biológico da floresta, como a respiração e fotossíntese (caso do CO_2), sinalização e resposta a stress ambiental (casos dos compostos orgânicos voláteis - COV) e a emissão de partículas de aerossóis biogênicas (Artaxo & Hansson, 1995; Davidson & Artaxo, 2004). As emissões de partículas biogênicas pela floresta que controlam a população de “*Cloud Condensation Nuclei*” (CCN) na atmosfera são um ingrediente essencial no ciclo hidrológico da região amazônica (Pöschl et al., 2010). A Figura 5 ilustra as complexas interações entre a floresta e a atmosfera, onde a floresta controla emissões de acordo com uma série de processos associados ao seu metabolismo. É impossível a separação entre a biologia, a química e a física dos processos associados. A transpiração da floresta domina o fluxo de vapor de água na atmosfera amazônica e a reciclagem de água ao longo do ecossistema (Andreae et al., 2002). Mas a vegetação faz outro papel fundamental, lançando na atmosfera COVs que se transformam em partículas de aerossóis que evoluem para CCN e afetam propriedades de nuvens.

Essas partículas atuam como CCN, nucleando gotas de nuvens e afetando a precipitação e o balanço radiativo atmosférico através da mudança na refletividade de nuvens (Artaxo et al., 1988; Martin et al., 2010). Essas fortes associações entre a floresta e a atmosfera fazem do ecossistema amazônico um ambiente único em nosso planeta. Uma abordagem científica integrada é fundamental no estudo do efeito dos ecossistemas no clima regional e global e vice-versa (Artaxo et al., 2012). Trabalhos recentes (Poehlker et al., 2012) apontam que partículas tão pequenas quanto 20 a 30 nanômetros possuem traços de sais emitidos pela vegetação, como o potássio, em sua constituição, mostrando que mesmo partículas nanométricas têm origem nas emissões diretas da vegetação. Essas partículas biogênicas também atuam como núcleos de condensação de gelo (IN) (do inglês, “Ice Nuclei”), que são responsáveis pela formação de nuvens convectivas que atingem até 15-17 km de altura na Amazônia e respondem pela maior parte da taxa de precipitação na região (Prenni et al., 2009).

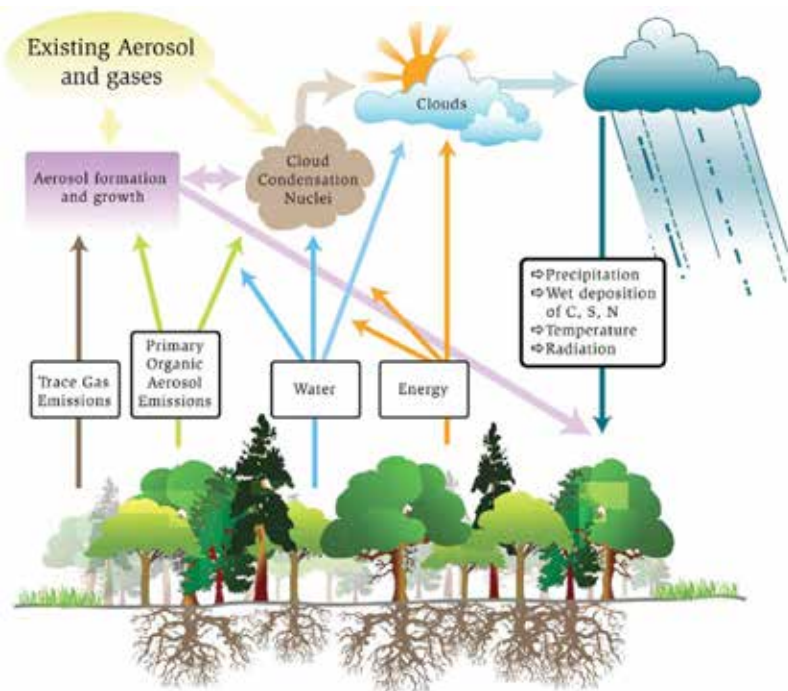


Figura 5 – Esquema dos principais mecanismos de interação entre a biosfera e atmosfera da Amazônia, onde o funcionamento biológico da floresta determina uma série de propriedades de aerossóis, gases traços e nuvens na atmosfera Amazônica.

A Figura 6 ilustra as interações entre mudanças globais, uso do solo, queimadas, hidrologia, ecologia e dimensões humanas na Amazônia. Nessa figura, as forçantes (ovais vermelhas) afetam os processos (quadros verdes) e as consequências (quadros azuis). Setas indicam os relacionamentos entre esses processos, que interagem fortemente entre si, com o clima da região. Por exemplo, secas fortes como as de 1997, 2005 e 2010 afetam, além dos processos fotossintéticos, também a emissão de COVs, aerossóis e vapor de água, o que por si só realimenta a redução na precipitação. Cheias como as de 2009 e 2012 associadas a fenômenos La Niña também afetam as emissões de metano e de vapor de água para a atmosfera regional e global, novamente realimentando o funcionamento do ecossistema (Marengo et al., 2008).

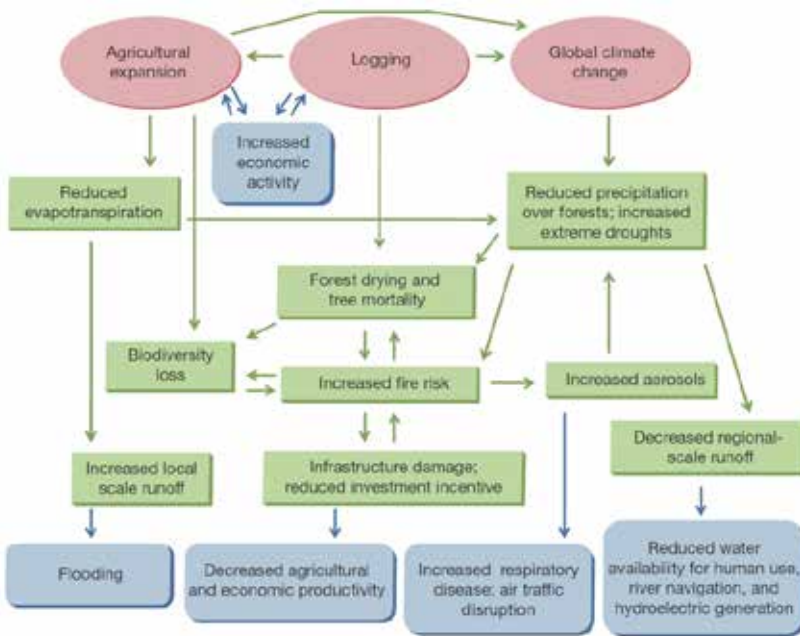


Figura 6 – Interações entre mudanças globais, uso do solo, queimadas, hidrologia, ecologia e dimensões humanas na Amazônia. As forçantes são indicadas por ovais vermelhas, que afetam os processos, (mostrados em quadros verdes) e as consequências, mostradas nos quadros azuis. Setas indicam os relacionamentos entre esses processos (Adaptado de Davidson et al., 2013).

Evidências recentes mostram que o ciclo hidrológico na Amazônia pode estar se intensificando nas últimas duas décadas (Gloor et al., 2013). Essa intensificação é concentrada na estação chuvosa, com aumento de amplitude entre as cheias e vazantes. Essas alterações podem estar associadas a uma maior temperatura da superfície do Oceano Atlântico Tropical, ou também à variabilidade decadal da circulação tropical no Atlântico. Observa-se que a vazão do rio Amazonas em Óbidos (PA) está em processo de forte aumento nos últimos 20 anos, como resultado da elevação da taxa de precipitação na bacia (Gloor et al., 2013). É fundamental que se tenha séries temporais de observações em longo prazo para uma correta atribuição das mudanças observadas no momento no ciclo hidrológico e vazão do Amazonas.

As partículas de aerossóis na troposfera influenciam significativamente o clima regional e global, alterando o equilíbrio de energia radiativo, bem como o ciclo hidrológico (Forster et al., 2007). As partículas de aerossóis podem espalhar e absorver radiação solar, afetando diretamente o balanço radiativo terrestre (Boucher et al., 2013). Esse efeito depende da concentração, composição, tamanho, propriedades óticas e das distribuições horizontal e vertical dos aerossóis na atmosfera (Huffman et al., 2012; Rizzo et al., 2013). O balanço radiativo terrestre pode ser perturbado através de: i) alterações na quantidade de radiação solar incidente (por exemplo, mudanças na órbita terrestre); ii) alterações na fração de radiação solar que é refletida de volta para o espaço (mudanças na cobertura de nuvens, quantidade de partículas atmosféricas ou na refletividade da superfície terrestre); e iii) alterações na quantidade de radiação de onda longa emitida pela Terra de volta para o espaço (por exemplo, variações na concentração de gases de efeito estufa). O clima, por sua vez, pode ser afetado diretamente por essas mudanças, bem como indiretamente, através de diversos mecanismos de retroalimentação (do inglês, *feedbacks*) (Boucher et al., 2013). Perturbações externas impostas no balanço de energia radiativa do sistema climático terrestre podem causar uma alteração no fluxo de radiação no topo da atmosfera, denominada forçante radiativa climática. Forçantes radiativas positivas indicam um efeito líquido de aquecimento do sistema terrestre-atmosfera e forçantes negativas indicam efeitos de resfriamento.

Sena et al. (2013) calcularam a forçante radiativa em toda a extensão espacial da Amazônia, levando em conta as emissões de aerossóis de queimadas, as alterações de albedo de superfície e também as alterações na coluna de vapor de água em áreas de florestas e de pastagens. Foram realizadas

medidas simultâneas dos sensores CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) e MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer), a bordo do satélite Terra, durante as estações secas de 2000 a 2009. A média diária da forçante radiativa direta no topo da atmosfera (TOA) para o período estudado variou entre $-8,2 \pm 2,1 \text{ W/m}^2$ e $-5,2 \pm 2,6 \text{ W/m}^2$, dependendo da metodologia utilizada. As distribuições espaciais da forçante radiativa direta de aerossóis sobre a região amazônica mostram que, para altas concentrações de aerossóis (Aerosol Optical Depth, AOD, maior que 1), a média diária da forçante radiativa no topo da atmosfera pode alcançar valores elevados de até -30 W/m^2 (consistindo em um resfriamento). Observou-se também que a refletância da superfície (o albedo terrestre) influencia fortemente o efeito radiativo direto de aerossóis. O impacto dos aerossóis sobre diferentes tipos de superfície foi analisado, indicando que a forçante radiativa é sistematicamente mais negativa sobre áreas de floresta do que sobre áreas de cerrado. A média anual da forçante radiativa de mudança de albedo de superfície devida ao desflorestamento em Rondônia foi determinada, a partir de duas diferentes metodologias, entre $-7,4 \pm 0,9 \text{ W/m}^2$ e $-8,1 \pm 1,0 \text{ W/m}^2$. As partículas de queimadas impactam o balanço radiativo por aproximadamente 2 a 3 meses por ano, enquanto o impacto do albedo de superfície pode ser observado ao longo de todo o ano. Essa diferença, devida à sazonalidade da estação de queimadas, indica que a média anual do impacto da mudança de albedo de superfície sobre o balanço radiativo amazônico é muito maior do que o impacto anual das partículas de aerossóis de queimadas. A influência do desmatamento na quantidade de vapor de água atmosférico e seu impacto no balanço radiativo foram analisados a partir de medidas de vapor de água integrado na coluna atmosférica, obtidas pelos radiômetros solares da AERONET. Essas medidas mostram que a quantidade de vapor de água integrado na coluna atmosférica é 0,35 cm (cerca de 10% do total) menor sobre áreas desmatadas do que sobre áreas de florestas preservadas. Esse decréscimo contribui para o aumento do impacto do desflorestamento no balanço radiativo de ondas curtas, que varia entre 0,4 e 1,2 W/m^2 . Os altos valores de forçante radiativa determinados indicam que o desflorestamento pode ter forte implicação para a convecção, desenvolvimento de nuvens e para a razão entre radiação direta e difusa, afetando o balanço de carbono na Amazônia.

A Figura 7 apresenta a distribuição espacial da forçante radiativa de aerossóis emitidos em queimadas, calculada para a estação seca de 2005 (Sena

et al., 2013). Valores são apresentados para o topo da atmosfera, na faixa de radiação de onda curta (SWARF), calculada para médias de 24 horas. A média da forçante radiativa de 24 horas ao longo do período de 2000-2009 foi de $-6,5 \text{ W/m}^2$ em áreas de floresta e $-3,3 \text{ W/m}^2$ em áreas de cerrado. Valores de até -30 W/m^2 foram observados localmente para a média diária da SWARF 24h. Ambos os valores são extremamente elevados e causam um resfriamento da superfície. Esses altos valores podem ser comparados com a forçante dos gases de efeito estufa que é de um aquecimento de $+2,6 \text{ W/m}^2$ (Forster et al., 2007).

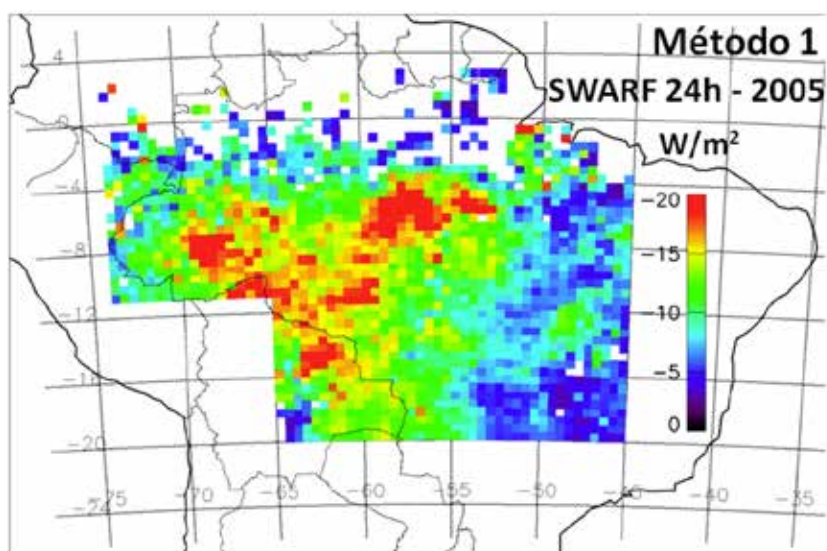


Figura 7 – Distribuição espacial da forçante radiativa de aerossóis emitidos em queimadas calculada para a estação seca de 2005. Valores para o topo da atmosfera, na faixa de radiação de onda curta (SWARF), calculada para médias de 24 horas (Sena et al., 2013).

As partículas de aerossóis, além de causarem um esfriamento na superfície, também têm outro efeito importante no ecossistema, que é aumentar a taxa de radiação difusa comparada com a radiação direta. Vários trabalhos realizados na Amazônia analisaram esse efeito de alteração no balanço de radiação. Por exemplo, Cirino et al. (2014) estudou os efeitos das alterações no balanço radiativo devido a aerossóis e nuvens, sobre a fixação líquida de carbono (Net Ecosystem Exchange - NEE), por ecossistemas de floresta primária de Rondônia e da Amazônia central, próximo a Manaus (AM). Avaliou também o impacto dos aerossóis sobre alguns dos principais fatores

ambientais que afetam diretamente a atividade fotossintética dos vegetais, como a temperatura do ar e a umidade relativa. Um modelo de irradiância de céu-claro foi desenvolvido e utilizado para determinar a irradiância relativa (f), utilizada para quantificar a radiação solar extinta (absorvida e espalhada) devido à presença de aerossóis e nuvens na atmosfera. As medidas de espessura óptica de aerossóis foram realizadas com o sensor MODIS, validadas previamente com medidas de fotômetros solar da rede NASA/AERONET (Aerosol Robotic Network). Os fluxos de carbono foram medidos por meio de técnicas de vórtices turbulentos (*eddy-correlation*) nas torres do experimento LBA. Dois ecossistemas de floresta constituíram os locais estudados, a Reserva Biológica do Jarú (localizada na região do Arco do Desflorestamento) e a Reserva Biológica do Cuieiras (localizada na Amazônia central). Na Reserva Biológica do Jarú foi observado um aumento de 29% na fixação de carbono (NEE) quando o AOT variou de 0,1 para 1,5. Já na Amazônia central, esse efeito foi da ordem de 26% quando o AOT variou de 0,10 para 0,50. O aumento de 29% e 26% do NEE, em ambos os sítios, é atribuído ao aumento de até 50% da fração difusa da radiação solar em relação à fração direta desta radiação. Para reduções ainda maiores da radiação solar incidente, associada a altas concentrações de aerossóis na atmosfera e/ou devido à alta cobertura de nuvens, o NEE passa a sofrer reduções significativas, até atingir valores próximos de zero, devido à ausência de luminosidade em quantidades suficientes, requerida pelo processo de fotossíntese. Alterações importantes na temperatura e na umidade relativa do ar pela interação da radiação solar com a alta carga de aerossóis emitidos em queimadas também foram estudadas em ambos os sítios. Tendo em vista o transporte de aerossol em larga escala durante as queimadas, alterações no fluxo de carbono podem estar ocorrendo em amplas áreas na Amazônia, com importantes mudanças no potencial para os ecossistemas florestais absorverem quantidades significativas de CO_2 atmosférico.

Cenários Futuros do Uso da Terra e Emissões Associadas para a Amazônia

O processo de geração de novos cenários de uso da terra para a Amazônia realizado no contexto do INCT para Mudanças Climáticas, como descrito em Aguiar et al. (2016), foi construído empregando-se uma abordagem participativa que envolveu representantes da sociedade civil,

do setor produtivo e governo, num esforço combinado para a aplicação de métodos qualitativos e quantitativos. Como mencionado anteriormente, uma das premissas do processo de construção dos novos cenários foi considerar uma discussão mais ampla sobre sustentabilidade, integrando aspectos sociais, econômicos e ambientais, para além da simples discussão sobre o desmatamento. Assim, os cenários gerados variam, de Baixo a Alto Desenvolvimento Social num eixo, e de Baixo a Alto Desenvolvimento Ambiental num outro, estando também alinhados com as novas SSP (Shared Socioeconomic Pathways) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) AR5 (O'Neill et al., 2014), o que facilita sua utilização/comparação em estudos globais, como ilustra a Figura 8. O método participativo combina uma abordagem exploratória e normativa para construção de cenários (Folhes et al., 2015).

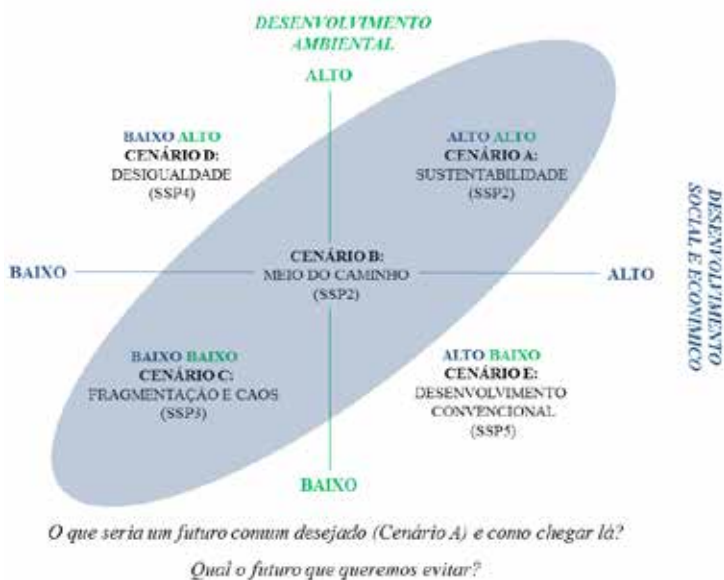


Figura 8 – Representação esquemática dos cenários A, B e C nos eixos de Desenvolvimento Social e Ambiental, alinhados às SSPs (Shared Socioeconomic Pathways) do IPCC AR5 (Aguiar et al., 2016)

Com base nos cenários qualitativos, projeções espacialmente explícitas de desmatamento e vegetação secundária de 2015 a 2050 foram produzidas, utilizando os arcabouços de modelagem de uso da terra e emissões LuccME

(lucme.ccst.inpe.br)/INPE-EM (inpe-em.csst.inpe.br). Os mapas anuais de uso da terra resultantes foram utilizados para explorar as interações do desmatamento com a dinâmica da vegetação, hidrologia e clima, usando vários modelos do sistema terrestre. O desenvolvimento do arcabouço de modelagem LuccME/INPE-EM está descrito no Capítulo 12 deste livro (Modelagem do Sistema Terrestre), que sintetiza os avanços alcançados no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas na representação computacional e integração dos diferentes componentes do sistema terrestre. Através do modelo INPE-EM (Aguiar et al., 2012), foi possível, pela primeira vez, apresentar um balanço regional de emissões derivadas do desmatamento, combinando processos de corte-raso, degradação florestal e vegetação secundária. Os resultados específicos sobre emissões são apresentados no Capítulo 8 – Emissão de Gases de Efeito Estufa. Cenários climáticos na Amazônia para vários cenários de emissão RCP 4.5 e 8.5 podem ser encontrados no Capítulo 13 - Estudos de Impactos-Vulnerabilidade-Adaptação (IVA).

Síntese dos cenários

O cenário mais otimista (**Cenário A - Sustentabilidade**) representa um futuro com avanços significativos nas dimensões socioeconômica e ambiental. Nesse cenário, as medidas de Restauração e Conservação previstas no Código Florestal são não apenas cumpridas, mas superadas. A região se tornaria um sumidouro de carbono após 2020, devido ao fim do desmatamento por corte-raso e do processo de degradação florestal, aliado a um aumento da área de vegetação secundária (e do seu tempo de permanência). Algo que levaria a um processo de Transição Florestal. O cenário oposto, bastante pessimista (**Cenário C - Fragmentação**), parte da premissa de um retrocesso nos avanços ambientais e sociais da última década, com uma volta a maiores taxas de desmatamento e desrespeito ao Código Florestal, altas taxas de degradação florestal, aliadas a um processo de urbanização caótico e acirramento dos problemas sociais. Finalmente, um cenário intermediário (**Cenário B, Meio do Caminho**), combina premissas dos dois cenários mais extremos. Esse cenário também considera o cumprimento do Código Florestal, com taxas de desmatamento legais em torno de 4.000 km²/ano após 2020. As reservas legais são regularizadas principalmente através do mecanismo de compensação no mesmo bioma e a vegetação secundária mantém a mesma dinâmica atual, de abandono e corte cíclico nas

áreas menos consolidadas. Nesse cenário, talvez o mais plausível, a região continua sendo emissora de CO₂. A Figura 9 ilustra os resultados espacialmente explícitos e quantitativos dos cenários.

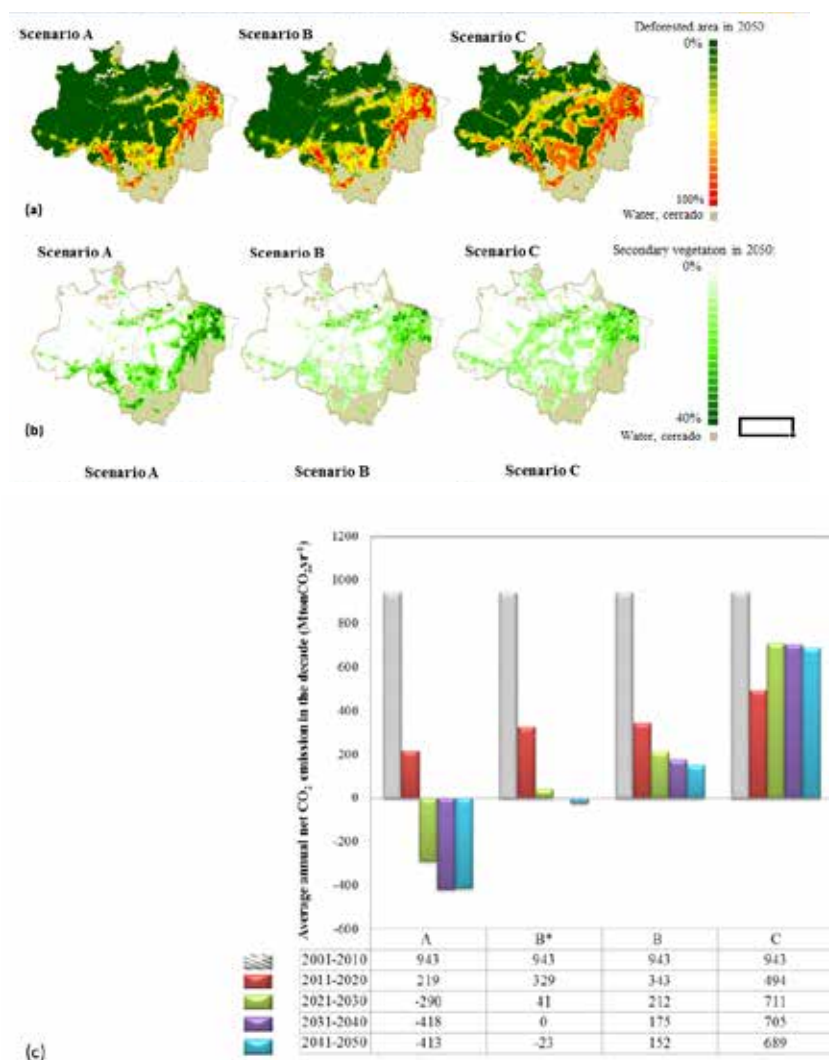


Figura 9 – (a) Desflorestamento total em 2050 nos cenários A, B e C; (b) Área de vegetação secundária em 2050 nos cenários A, B e C; (c) Estimativas de emissões líquidas por década, considerando os três processos (corte-raso, vegetação secundária e degradação florestal), nos cenários A, B e C. Simulação B* representa as premissas do Cenário B, sem corte cíclico da vegetação secundária.

As grandes diferenças entre os cenários A, B e C desenvolvidos refletem o atual nível de incerteza sobre o futuro da região. A diferença de emissão de CO₂ entre os cenários A e C, por exemplo, seria de aproximadamente 9 PgC entre 2015-2050 - da mesma ordem que a emissão anual global estimado de CO₂ a partir de combustíveis fósseis (Le Quéré et al., 2015). As diferenças se devem tanto às premissas relativas ao desmatamento por corte-raso, quanto à dinâmica da vegetação secundária e os impactos da degradação florestal. Ambos os processos (vegetação secundária e degradação florestal) precisam ser melhor compreendidos, pois eles potencialmente irão desempenhar um papel decisivo no futuro balanço regional de carbono, assim como nos demais serviços ecossistêmicos da região.

Apesar de discrepantes, todos os cenários são considerados plausíveis. Cenários não são previsões. Cenários são histórias internamente consistentes sobre como o futuro pode se desenvolver. Técnicas de cenários são aplicadas justamente quando as incertezas sobre o futuro são muito grandes (Raskin et al., 2005). Por outro lado, o futuro depende das nossas ações hoje. Se ele será mais próximo do cenário A ou C irá depender da organização da sociedade em uma direção ou outra. O Quadro 1 sintetiza um dos resultados mais importantes do processo - a *discussão de ações para alcançar o futuro sustentável*, integrando elementos das dimensões sociais, ambientais e econômicas. Entre as ações, encontra-se o mecanismo de REDD+ discutido na seção seguinte.

Quadro 1: Síntese de ações para alcançar o futuro desejado/sustentável.

- A. **SISTEMAS DE MONITORAMENTO:** continuação e melhoria dos sistemas de monitoramento por satélite iniciados no PPCDAM, considerados como o aspecto-chave para controlar o desmatamento. Isso inclui o desenvolvimento de novos sistemas (com base em novos sensores, por exemplo) e a expansão do monitoramento para outros biomas, para evitar deslocamentos das frentes de expansão (vazamentos).
- B. **PLANEJAMENTO TERRITORIAL INTEGRADO:** consolidação e aprimoramento de múltiplos instrumentos para o planejamento territorial e uso da terra, a fim de regular concomitantemente a pressão por terras, criar alternativas econômicas sustentáveis e integrar os programas sociais em uma base territorial. Isso inclui terras privadas e públicas (tais como unidades de conservação, terras indígenas, assentamentos), áreas rurais e urbanas. Inclui pagamentos por serviços ambientais (PSE), incluindo mecanismo de REDD, dentro de uma estratégia territorial integrada.
- C. **REESTRUTURAÇÃO DE CIDADES:** Fortalecimento das cidades, visando criar uma rede interligada de cidades de médio porte, com infraestrutura, rede adequada de serviços e educação, para atender às demandas da sustentabilidade.
- D. **PLANEJAMENTO DE GRANDES INVESTIMENTOS:** planejamento para a implementação de grandes projetos (incluindo infraestrutura e mineração), combinado com o planejamento territorial integrado (ponto B), evitando as economias de expansão e recessão (“*boom-bust*”) das cidades. No caso da infraestrutura, planejamento voltado tanto às necessidades da população local (de transporte fluvial, por exemplo), bem como demandas de mercado (fluxo de *commodities* através de hidrovias).
- E. **PROTEÇÃO DO ARCABOUÇO LEGAL:** cumprimento e reforço da legislação que rege o acesso aos recursos naturais e do uso do solo, criando mecanismos para equilibrar a influência dos interesses macroeconômicos em modificar marcos legais em detrimento dos aspectos regionais, sociais e ambientais (por exemplo, pressão para flexibilizar licenciamento ambiental).

Mecanismos REDD+: compensando pela redução do desmatamento

É inegável que a redução do desmatamento amazônico conferiu ao Brasil uma posição de liderança mundial nos esforços de mitigação das mudanças climáticas. E já há inúmeras experiências de REDD+ em curso no Brasil, em especial na Amazônia. A mais conhecida delas é o Bolsa Floresta, um programa do governo voltado para famílias engajadas na proteção florestal. Projetos de REDD+ também estão sendo implementados na região. Os projetos “Cotriguaçu Sempre Verde” e “Jari-Amapá” são dois bons exemplos (Duchelle et al., 2014.), mas há muitos outros (Cenamo et al., 2012), não somente na Amazônia, mas no mundo tropical (GCP, 2008). Há ainda inúmeros outros voltados para povos indígenas (Nery et al., 2013). Entre estes, o mais avançado é aquele desenvolvido pelo povo Suruí, em Rondônia (Vitel et al., 2013), e no Xingu, no Mato Grosso (Gebara, 2014). Há ainda experiências de REDD+ entre assentados da reforma agrária (Stella et al., 2013; Cromberg et al., 2014). REDD+ também se desenvolveu no nível jurisdicional com expressivo avanço no estado do Acre, com progressos relativos também no Mato Grosso e no Pará. Os estudos do INCT para Mudanças Climáticas também auxiliaram o debate (Cenamo et al., 2014) entre os estados amazônicos sobre REDD+ e sobre uma estratégia nacional sobre o tema.

Para todas essas iniciativas, o apoio do INCT para Mudanças Climáticas pode ser considerado relevante, uma vez que contribuiu para a construção de um debate qualificado sobre REDD+ no país. Entre os estados amazônicos, por exemplo, foi possível contribuir com a implementação do Sistema de Incentivos aos Serviços Ambientais (SISA) do Acre. O SISA pode ser considerado o primeiro caso de uso de uma abordagem jurisdicional (estadual) para REDD+ que virou política pública. O apoio do INCT para Mudanças Climáticas, entre outros apoios complementares, auxiliou o desenvolvimento de um sistema de distribuição de benefícios do SISA, o qual já vem sendo adotado pelo estado (Moutinho et al., 2016). Trata-se do conceito batizado de “estoque-fluxo”, que resultou em duas publicações importantes (Moutinho et al., 2011a,b; 2016). Tal conceito considera ofertar as compensações de REDD+ não somente para as ações de redução de emissões por desmatamento (redução de fluxo), mas também aquelas que mantêm florestas (estoque). A aplicação desse conceito permite, por

exemplo, que estados que conservaram grandes estoques de floresta (por exemplo, Amazonas) também recebam compensação, não ficando esta, assim, restrita àqueles que desmataram muito no passado e passaram a desmatar menos (Moutinho et al., 2011a,b). O conceito de estoque-fluxo foi também adotado como princípio de distribuição de benefícios por inúmeras outras iniciativas inovadoras (Tabela 1). Contribuiu, por exemplo, para um debate profícuo quanto à estrutura operacional da ENREDD, que vem sendo implementada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) (Brasil/MMA, 2011). Ainda, o apoio do INCT para Mudanças Climáticas possibilitou inúmeros estudos sobre modelos de estrutura operacional que poderiam ser adotados pela ENREDD. Os resultados desses estudos estão publicados em Moutinho et al. (2011a,b).

Além dos debates junto ao MMA, as ações sobre REDD+ apoiadas pelo INCT para Mudanças Climáticas possibilitaram uma capacitação maior da FUNAI sobre o assunto, o que ajudou a qualificar uma publicação da Fundação (FUNAI-GIZ, 2010). A FUNAI teve, e ainda tem, o desafio de orientar e regular as atividades de REDD+ em terras indígenas. Debates promovidos junto ao órgão deram suporte, com apoio adicional de outras instituições de fomento, a estudos que exploraram a visão indígena do papel de REDD+. Os resultados dessas análises estão publicados em Nery et al. (2013). O debate em torno dos critérios a serem utilizados para a aplicação ou não de projetos de REDD+ em territórios indígenas se mostrou polêmico, uma vez que não há, ainda, clareza sobre como a ENREDD irá tratar o assunto.

Ainda, os debates gerados com o apoio do INCT para Mudanças Climáticas foram importantes para o desenvolvimento de iniciativas piloto de REDD+ entre assentados da reforma agrária na Amazônia. Pela primeira vez, 350 famílias de agricultores familiares amazônicos em assentamentos do INCRA na Transamazônica receberam uma compensação pela redução do desmatamento em suas terras (Azevedo et al., 2015). Essa experiência contribuiu direta e indiretamente para a construção do Programa do INCRA conhecido como “Assentamentos Verdes”. Essa iniciativa ajudou também na implementação do Código Florestal entre os assentados, já que a compensação a ser recebida estava vinculada ao cumprimento da lei florestal em vigor (manutenção de reserva legal e área de preservação permanente).

Finalmente, o INCT para Mudanças Climáticas produziu diferentes condições para debate entre organizações da sociedade civil. A iniciativa mais expressiva foi o Observatório do REDD (<http://www.>

observatoriodoredd.org.br), que reuniu dezenas de instituições nacionais para o debate sobre REDD+ e, num segundo momento, sobre ENREDD. O observatório foi criado no âmbito do Grupo de Trabalho Amazônico (GTA) e buscou fazer o acompanhamento das políticas, programas, projetos, ações e atividades do REDD na Amazônia. Sua principal missão foi verificar e monitorar o atendimento de programas e projetos de REDD estaduais, além de pesquisar, organizar e disseminar em formato simples e de fácil compreensão as informações de tais projetos. Nesse contexto de controle social sobre REDD+, em diferentes momentos as publicações geradas no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas sobre o tema foram utilizadas como roteiro de debates. Finalmente, outra rede de instituições brasileiras, o Observatório do Clima, se beneficiou sobremaneira da produção literária sobre REDD+ apoiada pelo INCT para Mudanças Climáticas, em especial aquela publicada por Moutinho et al. (2011a,b).

As inúmeras iniciativas de debates sobre REDD+ no país, substanciadas por informações geradas no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas, ajudaram a colocar o país na vanguarda dos processos de implementação, no nível jurisdicional, de uma estratégia nacional REDD+. Tal fato, por si só, abre uma possibilidade de o país, finalmente, receber compensações pelos esforços de redução de emissões por desmatamento amazônico. Os desafios, contudo, continuam no sentido de se atingir o fim do desmatamento o quanto antes e evitar as graves consequências para o clima regional (Duffy et al., 2015), que provocam secas severas e podem levar Amazônia a um processo de “empobrecimento florestal” (Cox et al., 2004; Brando et al., 2014; Alencar et al., 2015; Silvério et al., 2013, 2015) e de alteração drástica do clima como evidenciado neste artigo.

Considerações finais

Em síntese, o INCT para Mudanças Climáticas permitiu avançar no conhecimento de diversas áreas da interação floresta-clima, incluindo novos conhecimentos das áreas de meteorologia, físico-química da atmosfera, interação biosfera-atmosfera, estoques de carbono, inventários e cenários de emissões, e interações entre políticas públicas e desmatamento. E mais, promoveu um debate qualificado sobre REDD+, em particular, contribuindo para o amadurecimento da Estratégia Nacional de REDD+, atualmente sendo implementada pelo governo federal (Ministério do Meio Ambiente).

Em suma, REDD+ poderá representar uma estratégia de combate ao desmatamento amazônico baseada na lógica do incentivo e não somente na de fiscalização ou punição (multas).

Na questão da interação biosfera-atmosfera, os novos conhecimentos adquiridos permitiram entender melhor o papel dos aerossóis (seja como uma forçante radiativa, seja para inicialização da formação de nuvens), bem como quantificar o forte acoplamento da interação floresta-atmosfera na questão de fluxos de energia, principalmente em regiões que possuem um desmatamento acentuado. O uso de novas técnicas de medição e de modelagem numérica se apresenta como uma vanguarda tecnológica e também precisa ser mais difundido para a comunidade científica da região. Os cenários espacialmente explícitos de uso da terra para a Amazônia gerados no contexto do INCT para Mudanças Climáticas foram utilizados por modelos do sistema terrestre para avaliar os impactos combinados de mudanças climáticas e de uso da terra na floresta.

Além disso, os novos cenários combinaram elementos qualitativos e quantitativos, seguindo a tendência global de utilização de métodos participativos e técnicas de visão/*backcasting* na construção de cenários. O aprimoramento de sistemas de monitoramento, planejamento territorial integrado, melhor planejamento de obras de infraestrutura, reestruturação das cidades e o fortalecimento do arcabouço institucional foram identificados como essenciais para construir uma trajetória sustentável para a região, incluindo as dimensões social, econômica e ambiental.

Os resultados apresentados neste capítulo indicam também que é urgente que reduções adicionais do desmatamento na Amazônia sejam alcançadas rapidamente, de preferência antes de 2030, prazo estabelecido pelo Brasil em sua NDC submetida à Convenção do Clima da ONU. Também, tais resultados mostram que há lacunas importantes de conhecimento científico que precisam ainda ser atendidas, incluindo o papel do processo de degradação florestal e da dinâmica da vegetação secundária nas emissões de gases de efeito estufa.

Nesse sentido, o novo projeto do INCT para Mudanças Climáticas, recém aprovado pelo CNPq, deverá permitir a consolidação de resultados até agora obtidos e avançar sobre novas fronteiras do conhecimento amazônico.

Referências

- Aguiar, A. P. D., Ometto, J. P., Nobre, C., Lapola, D. M., Almeida, C., Vieira, I. C., Castilla-Rubio, J. C. (2012). Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: the INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, 18(11), 3346–3366 (DOI 10.1111/j.1365-2486.2012.02782.x)
- Aguiar, A. P. D., Vieira, I. C. G., Assis, T. O., Dalla-Nora, E. L., Toledo, P. M., Oliveira Santos-Junior, R. A., Ometto, J. P. H. (2016). Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, 22(5), 1821–40 (DOI 10.1111/gcb.13134).
- Alencar A, Pereira C, Castro I, Cardoso A, Souza L, Costa R, Bentes AJ, Novaes R, Stella O, Azevedo AA, Gomes J. (2015). *Desmatamento nos Assentamentos da Amazônia: Histórico, Tendências e Oportunidades*. IPAM, Brasília, DF, 93p.
- Andreae, M. O., P. Artaxo, C. Brandao, F. E. Carswell, P. Ciccioli, A. L. da Costa, A. D. Culf, J. L. Esteves, J. H. C. Gash, J. Grace, P. Kabat, J. Lelieveld, Y. Malhi, A. O. Manzi, F. X. Meixner, A. D. Nobre, C. Nobre, M. d. L. P. Ruivo, M. A. Silva-Dias, P. Stefani, R. Valentini, J. von Jouanne and M. J. Waterloo (2002): Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH experiments. *Journal of Geophysical Research* 107, D20, 10.1029/2001JD000524.
- Artaxo, P., H-C Hansson (1995). Size distribution of biogenic aerosol particles from the Amazon basin. *Atmospheric Environment*, 29, 3, 393-402.
- Artaxo, P., E. T. Fernandes, J. V. Martins, M. A. Yamasoe, P. V. Hobbs, W. Maenhaut, K. M. Longo, A. Castanho. (1988). Large Scale Aerosol Source Apportionment in Amazonia. *Journal of Geophysical Research*, 103, D24, 31837-31848. doi: 10.1029/98JD02346.
- Artaxo, P., Break down boundaries in climate research. World View Section, *Nature* 481, 239, 2012.
- Artaxo, P., L. V. Rizzo, J. F. Brito, H. M. J. Barbosa, A. Arana, E. T. Sena, G. G. Cirino, W. Bastos, S. T. Martin, M. O. Andreae (2013). Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions. *Faraday Discussions*, DOI:10.1039/C3FD00052D.
- Assunção J, Gandour C, and Rocha R. 2012. Deforestation Slowdown in the Legal Amazon: Prices or Policies? CPI Rio Working Paper 1.
- Assunção J, Gandour C, Rocha R. 2013a. DETERring deforestation in the Brazilian Amazon: environmental monitoring and law enforcement. *Climate Policy Initiative*, Pontifícia Universidade Católica (PUC-RJ).

Assunção J, Gandour C, Rocha R. 2013b. Does Credit Affect Deforestation? Evidence from a Rural Credit Policy in the Brazilian Amazon. Working Paper 2.

Azevedo, A. A; Campanili, M.; Pereira, C. (2015). Caminhos para uma Agricultura Familiar sob bases Ecológicas: produzindo com Baixa Emissão de Carbono. IPAM, Brasília, 224 p.

BRASIL/MMA (2011). REDD+: Documento-síntese com subsídios de múltiplos atores para a preparação de uma Estratégia Nacional (2011). Secretaria de Mudanças Climática e Qualidade Ambiental, Ministério do Meio Ambiente.

Boucher, O., D. Randall, P. Artaxo, C. Bretherton, G. Feingold, P. Forster, V.-M. Kerminen, Y. Kondo, H. Liao, U. Lohmann, P. Rasch, S. K. Satheesh, S. Sherwood, B. Stevens and X. Y. Zhang, 2013: Clouds and Aerosols. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Pg. 571- Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Brando PM, Balch JK, Nepstad DC, Morton DC, Putz FE, Coe MT, Silvério D, Macedo MN, Davidson EA, Nóbrega CC, Alencar A, Soares-filho BS, Monteiro P, Silverio DV, Nobrega C. (2014). Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 111, 6347–6352. doi:10.1073/pnas.1305499111.

Cenamo, M.C. & M. Pavan. (2012). REDD+ nos estados da Amazônia: Mapeamento de iniciativas e desafios para integração com a estratégia brasileira http://www.idesam.org.br/wpcontent/uploads/2013/04/rel_idesam_mma_rio20_novembro.pdf

Cenamo M., P. G. Soares, J. Karst. (2014). GCF - Força Tarefa de Governadores para o Clima e Florestas Proposta de alocação das reduções de emissões “U-REDD” nos estados brasileiros membros do GCF. 2ª Edição - Revista e Atualizada. IDESAM, Manaus. <http://www.idesam.org.br/publicacao/contribuicoes-para-estrategia-nacional-redd-2-edicao.pdf>.

Cirino, G. G., R. A. F. Souza, D. K. Adams, and P. Artaxo (2014). The effect of atmospheric aerosol particles and clouds on net ecosystem exchange in the Amazon. *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 6523 – 6543, doi:10.5194/acp-14-6523-2014, www.atmos-chem-phys.net/14/6523/2014.

Cox PM, Betts RA, Collins M, Harris PP, Huntingford C, Jones CD. (2004). Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theor. Appl. Climatol.* 78, 157–175.

Cromberg, M., Duchelle, A. E., & Oliveira Rocha, I. (2014). *Local participation in REDD+*: Lessons from the Eastern Brazilian Amazon. *Forests*, 5,579-598.

Dalla-Nora EL, de Aguiar APD, Lapola DM, Woltjer G. (2014). Why have land use change models for the Amazon failed to capture the amount of deforestation over the last decade? *Land use policy*, 39:403-11.

Duffy, P.B., P. Brando, G.P. Asner, and C.B. Field. (2015). Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. doi:10.1073/pnas.1421010112

Davidson, E. A., and P. Artaxo (2004). Globally significant changes in biological processes of the Amazon Basin: results of the Large-scale Biosphere-Atmosphere Experiment, *Global Change Biology*, 10, 519-529.

Davidson, E. A., A. C. de Araújo, P. Artaxo, J. K. Balch, I. F. Brown, M. M. da C. Bustamante, M. T. Coe, R. S. DeFries, M. Keller, M. Longo, J. W. Munger, W. Schroeder, B. S. Soares-Filho, C. M. Souza Jr., S. C. Wofsy. (2012). The Amazon Basin in Transition. *Nature*, 481, 321-328, doi:10.1038/nature10717, Jan 19, 2012.

Duchelle, A.E, M. Greenleaf, D. Mello, M. F. Gebara and T. Melo (2014). Acre's State System of Incentives for Environmental Services (SISA), Brazil. In Sills EO, Atmadja SS, de Sassi C, Duchelle AE, Kweka DL, Resosudarmo IAP and Sunderlin WD, (eds). *REDD+ on the ground: A case book of subnational initiatives across the globe*. Bogor, Indonesia: CIFOR.

Folhes RT, Aguiar APD, Stoll E, Dalla-Nora EL, Araújo R, Coelho A, (2015). Multi-scale participatory scenario methods and territorial planning in the Brazilian Amazon. *Futures*. 73:86-99.

Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland (2007): Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. ISSN 978-0-521-88009-1, 2007.

FUNAI-GIZ 2010. *Diálogos interculturais – Povos indígenas, mudanças climáticas e REDD*. Brasília, 28p.

GCP 2008. *The Little REDD Book: A guide to governmental and non-governmental proposals for reducing emissions from deforestation and degradation*

Gebara, M. F., Fatorelli, L., May, P., & Zhang, S. (2014). *REDD policy networks in Brazil: constraints and opportunities for successful policy making*. *Ecology and Society*, 19(3): 53. (disponível em <http://www.ecologyandsociety.org/vol19/iss3/art53/>)

Gloor, M. R. J. W. Brienen, D. Galbraith, T. R. Feldpausch, J. Schöngart, J.-L. Guyot, J. C. Espinoza, J. Lloyd, O. L. Phillips (2013). Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. *Geophysical Research Letters*, v. 40, 1–5 DOI 10.1002/grl.50377, 2013

Huffman, J. A., B. Sinha, R.M. Garland, A. Snee-Pollmann, S.S. Gunthe, P. Artaxo, S.T. Martin, M.O. Andreae, and U. Pöschl (2012). Size distributions and temporal variations of biological aerosol particles in the Amazon rainforest characterized by microscopy and real-time UV-APS fluorescence techniques during AMAZE-08. *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 11997–12019, www.atmos-chem-phys.net/12/11997/2012/ doi:10.5194/acp-12-11997-2012

INPE 2015. Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite – projeto PRODES. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São Paulo, Brasil. Available from <http://www.obt.inpe.br/prodes>

IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

Laurance W, Cochrane M, Bergen S, Fearnside P, Delamonica P, Barber C, et al. The future of the Brazilian Amazon. *Science* (80-). 2001;291:438–9.

Kaufmann. T.S. (2016). Estudo dos fluxos de entranhamento e seus impactos no crescimento da Camada Limite Convectiva sobre heterogeneidade superficial na Amazônia. Tese de Doutorado, INPE (junho 2016), 110 p.

Le Quéré, C., Moriarty, R., Andrew, R. M., Peters, G. P., Ciais, P., Friedlingstein, P., Zeng, N. (2015). Global carbon budget 2014. *Earth System Science Data*, 7(1), 47–85 (DOI 10.5194/essd-7-47-2015).

Marengo, J. A., C. A. Nobre, J. Tomasella, M. F. Cardoso, and M. D. Oyama (2008), Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005, *Philos. Trans. R. Soc.*, B2008, 363 ,1773 – 1778, doi:10.1098/rstb.2007.0015

Martin, S.T., M. O. Andreae, D. Althausen, P. Artaxo, H. Baars, S. Borrmann, Q. Chen, D. K. Farmer, A. Guenther, S. S. Gunthe, J. L. Jimenez, T. Karl, K. Longo, A. Manzi, T. Pauliquevis, M. D. Petters, A. J. Prenni, U. Pöschl, L. V. Rizzo, J. Schneider, J. N. Smith, E. Swietlicki, J. Tota, J. Wang, A. Wiedensohler, and S. R. Zorn (2010). An overview of the Amazonian Aerosol Characterization Experiment 2008 (AMAZE-08). *Atmospheric Chemistry and Physics - ACP*, Vol. 10, pp. 18139-18195, www.atmos-chem-phys.net/10/11415/2010/, doi:10.5194/acp-10-11415-2010.

Martin, S.T., P. Artaxo, L. A. T. Machado, A. O. Manzi, R. A. F. Souza, C. Schumacher, J. Wang, M. O. Andreae, H. M. J. Barbosa, J. Fan, G. Fisch, A. H. Goldstein, A. Guenther, J. L. Jimenez, U. Pöschl, M. A. Silva Dias, J. N. Smith, and M. Wendisch (2016). Introduction: Observations and Modeling of the Green Ocean Amazon (GoAmazon2014/5). *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 4785-4797 (DOI 10.5194/acp-16-4785-2016).

Moutinho, P. and Schwartzman S. 2005. *Tropical Deforestation and Climate Change*. Amazon Environmental Research Institute, Belem, Brazil. IPAM.

Moutinho P, Stella O, Lima A, Christovam M, Alencar A, Castro I, Nepstad D. 2011a. *REDD no Brasil: um enfoque amazônico: fundamentos, critérios e estruturas institucionais para um regime nacional de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação*. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazonia - IPAM, Brasília. <http://ipam.org.br/bibliotecas/redd-no-brasil-um-enfoque-amazonico/>

Moutinho P., O.S. Martins, M. Christovam, A. Lima, D. Nepstad, and A. C. Crisostomo. 2011b. The emerging REDD+ regime of Brazil. *Carbon Management* 2 (5): 587-602

Moutinho P, Stella O, Lima A, Christovam M, Alencar A, Castro I, Nepstad, D. 2012. *REDD no Brasil: um enfoque amazônico: fundamentos, critérios e estruturas institucionais para um regime nacional de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal – REDD (3ª Ed.)*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília, DF, Brasil.

Moutinho, P., R. Guerra, C. Azevedo-Ramos (2016) Achieving zero deforestation in the Brazilian Amazon: what is missing? *Elementa* (no prelo).

Nepstad D, McGrath D, Stickler C, Alencar A, Azevedo A, Swette B, Bezerra T, DiGiano M, Shimada J, Seroa da Motta R, Armijo E, Castello L, Brando PM. (2014). Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. *Science*, 344(6188), 1118–1123. doi:10.1126/science.1248525

Nery D., M. Christovam, I. Mesquita, J. Splendore, O. Stella, P. Moutinho (2013). *Povos Indígenas e o mecanismo de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+) na Amazônia Brasileira – Subsídios à discussão de repartição de benefícios – 1ª edição – Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia.*

Neves, T.T. de A. T. (2015). *Análise de turbulência e convecção na Amazônia utilizando o modelo palm-les*. Tese de Doutorado, INPE (INPE-17627-TDI/2391), 157 p.

O'Neill, B., Krieglner, E., Riahi, K., Ebi, K., Hallegatte, S., Carter, T., van Vuuren, D. (2014). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122(3), 387–400 (DOI 10.1007/s10584-013-0905-2).

Poehlker, C., K. T. Wiedemann, B. Sinha, M. Shiraiwa, S. S. Gunthe, M. Smith, H. Su, P. Artaxo, Q. Chen, Y. Cheng, W. Elbert, M. K. Gilles, A. L. D. Kilcoyne, R. C. Moffet, M. Weigand, S. T. Martin, U. Poschl, M. O. Andreae (2012). Biogenic potassium salt particles as seeds for secondary organic aerosol in the Amazon. *Science*, Vol. 337, pg. 1075-1078, doi: 10.1126/science.1223264.

Pöschl, U., S. T. Martin, B. Sinha, Q. Chen, S. S. Gunthe, J. A. Huffman, S. Borrmann, D. K. Farmer, R. M. Garland, G. Helas, J. L. Jimenez, S. M. King, A. Manzi, E. Mikhailov, T. Pauliquevis, M. D. Petters, A. J. Prenni, P. Roldin, D. Rose, J. Schneider, H. Su, S. R. Zorn, P. Artaxo, M. O. Andreae (2010). Rainforest aerosols as biogenic nuclei of clouds and precipitation in the Amazon. *Science*, 2010, 329, 1513-1516.

Prenni, A. J., M. D. Petters, S. M. Kreidenweis, C. L. Heald, S. T. Martin, P. Artaxo, R. M. Garland, A. G. Wollny, U. Poeschl (2009). Relative roles of biogenic emissions and Saharan dust as ice nuclei in the Amazon basin, *Nature Geosciences*, 2, 402-405.

Raskin Monks, F., Ribeiro, T., van Vuuren, D., Zurek, M., P. D. (2005). Global Scenarios in Historical Perspectives. In P. L. P. S. R. Carpenter E. M. Bennett, and M. B. Zurek (Ed.), *Ecosystems and human well-being: scenarios. Volume 2: findings of the scenarios working group of the Millennium Ecosystem Assessment* (pp. 35–44). Washington, D.C., USA. : Island Press.

Rizzo, L. V., Artaxo, P., Müller, T., Wiedensohler, A., Paixão, M., Cirino, G. G., Arana, A., Swietlicki, E., Roldin, P., Fors, E. O., Wiedemann, K. T., Leal, L. S. M., and Kulmala, M.: Long term measurements of aerosol optical properties at a primary forest site in Amazonia (2013). *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 2391-2413, www.atmos-chem-phys.net/13/2391/2013/, doi:10.5194/acp-13-2391-2013.

Santilli M., P. Moutinho, S. Schwartzaman, D.C. Nepstad, L. Curran, C. Nobre. (2005). Tropical Deforestation and the Kyoto Protocol: an editorial essay. *Climatic Change*, v. 71, p. 267-276.

SEEG 2015. Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa. <http://seeg.eco.br/>

Sena, E. T., P. Artaxo, and A. L. Correia (2013). Spatial variability of the direct radiative forcing of biomass burning aerosols and the effects of land use change in Amazonia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 1261–1275.

Silvério D, Brando P, Balch J, Putz F, Nepstad D, Oliveira-Santos C, Bustamante M.(2013). Testing the Amazon savannization hypothesis: fire effects on invasion of a neotropical forest by native cerrado and exotic pasture grasses. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1619).

Silvério DV, Brando PM, Macedo MN, Beck PSA, Bustamante M, Coe MT. (2015). Agricultural expansion dominates climate changes in southeastern Amazonia: the overlooked non-GHG forcing. *Environ. Res. Lett.* 10: 1-8. 4.

Soares-Filho B, Nepstad D, Curran L, Cerqueira G, Garcia R, Ramos CA, et al. (2006). Modeling conservation in the Amazon basin. *Nature*; 440:520–3

Soares-Filho B, Moutinho P, Nepstad D, Anderson A, Rodrigues H, Garcia R, et al. (2010). Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. *PNAS*, 107(24):10821–10826.

Stella O, Moutinho P, Pinto EPP, Rettmann R, Mazer S, Souza L, Alencar A, & Castro I, Xavier G. (2012). Avoided Deforestation on Smallholder Farms in the Brazilian Amazon. In: Wollenberg, E. et. Al. (eds). *Climate Change Mitigation and Agriculture*, pp.181-192.

TerraClass 2010. Projeto TerraClass. (Amazon land use and land cover information Project). http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2010.php.

Vitel C. S. M. N., G. C. Carrero, M. C. Cenamo, M. Leroy, P. M. L. A. Graça, P. M. Fearnside (2013). Land-use Change Modeling in a Brazilian Indigenous Reserve: Construction of a Reference Scenario for the Suruí REDD Project. *Human Ecology* 41(6): 807-826.

Tabela 1 – Propostas do uso de abordagem de estoque-fluxo para a distribuição de benefícios de sistemas de REDD+ (Reproduzido com permissão de Moutinho et al. 2016).			
Propostas	Região	Descrição	Referência
ICMS Verde	Estado do Pará	Desde 2013, o Estado do Pará está se valendo da metodologia de estoque e fluxo para a distribuição aos seus municípios de parte dos recursos recolhidos via Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Trata-se do ICMS Verde. O Estado definiu em lei que o percentual do ICMS recolhido será distribuído aos municípios que tenham no mínimo 20% de cobertura florestal original. O valor é maior quanto maior for a área de floresta do município ou quanto mais ele contribuiu para a redução do desmatamento. O uso dos recursos é definido pelos próprios municípios, mas têm sido destinados ao fortalecimento de políticas e ações ambientais municipais.	http://www.ipam.org.br/ipam/decreto-771---icms-verde
Força Tarefa sobre REDD e Mudanças Climáticas	Amazônia brasileira	Outra proposta que se utiliza de uma abordagem EF foi apresentada pelo conjunto de Estados amazônicos no âmbito da Força Tarefa sobre REDD e Mudanças Climáticas, que gerou insumos para a Estratégia Nacional de REDD+. Neste caso incorporou-se a abordagem sugerida por Moutinho et al. 2011 (Anexo I).	Relatório I da Força Tarefa sobre REDD e Mudanças Climáticas (versão 7.0 de 28/10/2009)
SISA	Amazônia/Estado do Acre	O Estado do Acre refere-se, na lei que estabelece seu Sistema de Incentivos a Serviços Ambientais (SISA) em 2010, a abordagem de EF (artigo 23, incisos IX e X). Detalhes sobre essa experiência são fornecidas nas seções seguintes deste relatório.	http://www.ac.gov.br/wps/wcm/connect/fc02fb0047d011498a7bd b9c939a56dd/publica%C3%A7%C3%A3o_lei_2308_ling_PT.pdf?MOD=AJPERES%20(pg.24).

Propostas	Região	Descrição	Referência
SimREDD+	Amazônia/ Estado do Amazonas	<p>Nesta proposta, a abordagem de estoque e fluxo conta com um diferencial: a inclusão de um componente de risco de desmatamento no futuro. Tal componente considera a projeção de áreas sob risco de serem desmatadas até 2020. A quantidade de carbono florestal presente nessas áreas não poderá ser “comercializada” até que se verifique que não houve emissões acima do que foi estabelecido pelo nível de referência estabelecido para um determinado ente jurisdicional (Estado) para um dado período. Seria uma espécie de seguro contra emissões acima do esperado. A aplicação desta abordagem estoque-fluxo -risco no Estado do Amazonas alocaria, dos recursos recebidos via um sistema nacional de REDD+, 29% para a proteção das Unidades de Conservação (UCs) e o restante seria repartido entre os assentamentos rurais (15%), as terras indígenas (16%) e os municípios (10%). Os 30% das U-REDD+ restantes serão destinados para o desenvolvimento de editais voltados à realização de projetos independentes.</p>	Cenamo et al. 2013
Estratégia Nacional de REDD+	Brasil	<p><u>Estratégia Nacional de REDD+ (ENREDD)</u>. Ao longo dos últimos três anos, o governo brasileiro (sob coordenação do MMA) iniciou esforços para a construção do que se conhece hoje como a “Estratégia Nacional de REDD+ do Brasil”, culminando com a recente submissão à UNFCCC de sua linha de base para o desmatamento que, se tecnicamente aceita, permitirá que o país faça o registro de suas emissões reduzidas no bioma e passe a ficar elegível a receber compensações internacionais por tal esforço. A distribuição dos recursos obtidos via ENREDD incluem uma abordagem de EF. Nesse caso, os Estados receberiam recursos do Tesouro em função da comprovação de seus desempenhos quanto à conservação de estoques florestais e à redução de fluxo de emissões associadas ao desmatamento.</p>	http://www.conservation.org.br/arquivos/redd+_relatorio_de_painel_tecnico_do_mma_sobre_financiamento_beneficios_e_cobeneficios.pdf (pg 33).

Propostas	Região	Descrição	Referência
Mercado Brasileiro de Carbono	Brasil	<p>Mercado Brasileiro de Carbono e REDD+. Um sistema de EF também é pensado por alguns pesquisadores ligados ao IPAM e ao Global Canopy Programme (GCP) como um mecanismo de distribuição de benefícios de programas de REDD+ que estejam ligados ao Mercado Brasileiro de Carbono (MBC). A ligação entre REDD+ e os outros setores da economia se daria da seguinte forma: os setores regulados pelos planos setoriais (energia, transporte e indústria) representariam a demanda por reduções certificadas de emissões florestais (REC). Já a oferta seria oriunda das reduções de emissões de desmatamento, certificadas pela Agência Nacional de REDD+ (ANR) ou a entidade designada para esse fim pelo governo federal, como previsto no Acordo de Varsóvia (COP19). Assim, para cumprir as metas setoriais, as empresas poderiam, além de reduzir pelos seus próprios métodos suas emissões, ter acesso pela alocação por parte da ANR a uma cota de REC. Nesta alocação voluntária, as RECs continuavam sendo da ANR, mas podem ser transferidas para empresas por meio de leilões anuais. Um sistema de EF seria utilizado justamente nesse processo de alocação de REC entre os Estados amazônicos.</p>	<p>http://www.ipam.org.br/biblioteca/livro/Stimulating-Interim-Demand-for-REDD-Emission-Reductions-The-Need-for-a-Strategic-Intervention-from-2015-to-2020/737.</p>
Outras iniciativas nacionais	Bacia Amazônica	<p>Ainda na Amazônia, iniciativas subnacionais de REDD+ são desenvolvidas em países como Equador, Colômbia, Bolívia, Suriname, Guiana, Venezuela e Peru. No entanto, tais iniciativas são ainda bastante incipientes e carentes de definições básicas sobre como vão operar, refletindo na falta de definição dos sistemas de repartição de benefícios que adotarão. Com exceção dos Estados da Amazônia brasileira, sistemas de EF ou estão ainda longe de serem implementados ou estão, como no Equador e na Colômbia, ainda em fase de preparação e contam com apoio do Programas REM. Mesmo assim, a abordagem de EF (ou a consideração do estoque como fator de distribuição) é considerada tecnicamente adequada por pesquisadores para mediar a distribuição de benefícios de projetos ou programas de REDD+.</p>	<p>(Cenamo et al. 2011, Fearnside 1997, Mollicone et al. 2007, Strassburg et al. 2009, 2008, Cattaneo 2010, Cenamo et al. 2011, Moutinho et al. 2011).</p>

Modelagem do Sistema Terrestre

Paulo Nobre¹

Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti¹

Manoel Cardoso¹

Ana Paula Dutra Aguiar¹

Sin Chan Chou¹

Resumo

Os desenvolvimentos da modelagem do sistema terrestre apoiados pelo INCT para Mudanças Climáticas fizeram parte de um esforço nacional de capacitação do Brasil, tanto para a geração de cenários de mudanças climáticas globais quanto de cenários regionais de alta resolução espacial sobre a América do Sul. Liderado pelo INPE através das coordenadorias do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e do Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), mas com a participação de universidades brasileiras e institutos de pesquisa no exterior, tal esforço culminou com a criação do Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (BESM) – pioneiro na América Latina para estudos globais do clima –, assim como a evolução do modelo atmosférico global do CPTEC/INPE e o desenvolvimento do novo modelo atmosférico global do CPTEC (BAM). Outro desenvolvimento pioneiro no mister da modelagem do sistema terrestre foram as subcomponentes de fogo florestal e de uso e ocupação do solo pelo CCST/INPE. O apoio do INCT para Mudanças Climáticas aos desenvolvimentos do modelo regional Eta do CPTEC/INPE permitiu a aplicação deste em cenários globais de mudanças climáticas gerados tanto pelo BESM quanto por outros modelos do clima global, gerando assim cenários de alta resolução espacial para a América do Sul. Os cenários de mudanças climáticas

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

globais produzidos com o modelo BESM permitiram ao Brasil ingressar no seleto clube de países contribuintes para o projeto CMIP5 de cenários globais de mudanças climáticas, disponibilizados mundialmente através do sistema ESGF/INPE instalado no sistema de supercomputação do INPE. Os cenários de mudanças climáticas gerados pelo BESM e pelo Eta foram utilizados para a geração da Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas. Por fim, os desenvolvimentos de modelagem do sistema terrestre apoiados pelo INCT para Mudanças Climáticas contribuíram de forma indelével na formação de mestres e doutores pelo programa de pós-graduação do INPE, assim como com expressiva publicação de artigos científicos em revistas especializadas internacionais com corpo editorial.

Introdução

O INCT para Mudanças Climáticas teve como um dos seus objetivos centrais fomentar o desenvolvimento nacional de modelos que representem diferentes componentes do sistema terrestre. Além de visar ao domínio tecnológico e avanço científico nacional nessa área, entende-se que tais desenvolvimentos sejam estratégicos para gerar cenários globais e regionais voltados para a formulação de políticas públicas para o país - em amparo às ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa e de adaptação às mudanças climáticas no Brasil.

Earth system models (ESMs – Modelos do Sistema Terrestre) representam as interações entre atmosfera, oceano, superfície terrestre, gelo e biosfera, com o objetivo de estimar o estado do clima global e regional, sob uma ampla gama de condicionantes (Heavens et al., 2013). Os ESMs evoluíram a partir de modelos climáticos, incluindo a representação de novos mecanismos que permitissem entender como processos biológicos e climáticos estão relacionados. Deste modo, os ESMs permitem simular a interação entre o clima, a biosfera e os constituintes químicos da atmosfera e do oceano, assim como impactos de *feedbacks* entre os componentes. Por exemplo, tais modelos podem simular secas, bem como as alterações na vegetação devido à seca, o que pode, por sua vez, contribuir para que haja mais ou menos seca. Idealmente, ESMs podem incluir também o impacto das decisões humanas. Modelos do sistema terrestre estão em constante aprimoramento em diversos centros de pesquisa do mundo como, por exemplo, no

National Center for Atmospheric Research (NCAR), nos EUA, Met Office Hadley Center (UKMO), no Reino Unido, Institute Pierre Simon Laplace (IPSL), na França, e Instituto Max Planck, na Alemanha.

Este documento apresenta uma visão consolidada dos componentes de modelagem do sistema terrestre desenvolvidos no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas, incluindo o desenvolvimento: i) do BESM; ii) do Modelo de Circulação Global Atmosférico CPTEC/INPE; iii) do modelo de interação biosfera continental-atmosfera (INLAND); do arcabouço de modelagem de mudanças de uso e cobertura da terra (LuccME); e por fim, (v) do esforço de *downscaling* dinâmico (Eta-BESM).

Resultados Científicos e Estado da Arte

Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre - BESM

Um dos objetivos centrais do INCT para Mudanças Climáticas foi aprimorar o Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre – BESM para a simulação do clima pretérito e geração de cenários de mudanças climáticas para o futuro. Para tanto, tomou-se como base o modelo acoplado oceano-atmosfera do CPTEC/INPE (descrito em detalhes em Nobre et al., 2009, 2012), o qual utiliza o acoplador de fluxos FMS (Flexible Modular System da NOAA/GFDL) para conectar os diferentes modelos componentes, quais sejam: (i) modelo de circulação global atmosférico do CPTEC/INPE (MCGA CPTEC/INPE), o qual contém subcomponentes de superfície SSIB e IBIS; (ii) modelo oceânico global MOM da NOAA/GFDL, versão MOM4p1, o qual contém subcomponentes de gelo marinho e de biogeoquímica marinha. Além desses, encontra-se em desenvolvimento o acoplamento dos modelos de superfície (INPE/CCST/INLAND e NOAA/GFDL/LM2) e aerossóis/química atmosférica (NCAR MAM/MOZART). A Figura 1 ilustra a estrutura de modelos componentes e acoplador do BESM.

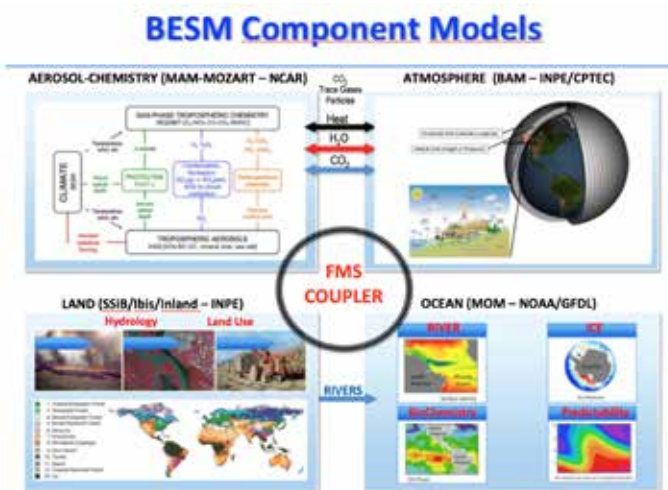


Figura 1 – Representação esquemática ideal do alvo de desenvolvimento dos modelos componentes e acoplador de fluxos FMS do Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre – BESM, em desenvolvimento. Cortesia: Paulo Nobre, CPTEC/INPE.

No desenvolvimento do projeto, que contou com investimentos da FINEP, do INPE, do CNPq, da Rede Clima e do Programa FAPESP Mudanças Climáticas, além do próprio INCT para Mudanças Climáticas, foram incluídas modificações nos esquemas de parametrizações físicas do modelo atmosférico, como o esquema de cobertura de nuvens, descrito em Bottino & Nobre (2017) e de nova camada limite planetária atmosférica (Jiménez et al., 2012) descrito em Capistrano et al. (2017); além de aprimoramentos nos processos de acoplamento oceano-atmosfera. Nestes foram realizados testes de utilização de esquemas de troca turbulenta e considerando diferentes níveis das variáveis de acoplamento, de modo a configurar a versão do BESM que melhor represente o clima presente. O BESM-OA2.3.1 representou a distribuição espacial e temporal da precipitação sobre a Amazônia numa integração acoplada de longo período (i.e. 300 anos), como também a migração latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), características não bem representadas na maioria dos modelos acoplados oceano-atmosfera mundialmente (Bottino & Nobre, 2017).

Em sua versão 2.5, que acopla a nova versão do MCGA CPTEC/INPE ao modelo oceânico MOM4p1 (Capistrano et al., 2017), foi obtida significativa redução dos erros sistemáticos dos campos de balanço radiativo no topo da atmosfera e da temperatura da superfície do mar (TSM). O BESM2.5 também

representou o fenômeno El Niño-Oscilação Sul e o padrão de dipolo de TSM e de ventos na bacia do Atlântico Tropical, numa integração com concentração histórica de CO₂ atmosférico para os anos 1850-2100 (Veiga et al., 2017; em preparação). Além desses, foram computados os cenários de mudanças climáticas para o período 2010-2100 seguindo o protocolo do projeto Coupled Model Intercomparison Project 5 (CMIP5) para as concentrações de CO₂ atmosférico: pré-industrial, histórica, abrupt4xCO₂, RCP 4.5 e RCP 8.5 (Representative Concentration Pathways, IPCC). A Figura 2 mostra as séries temporais da anomalia média global de temperatura do ar próximo à superfície relativa à climatologia para o período de 1850-1879 para os experimentos: histórico (observado e simulado), RCP 4.5 e RCP 8.5 para o período 1850-2100.

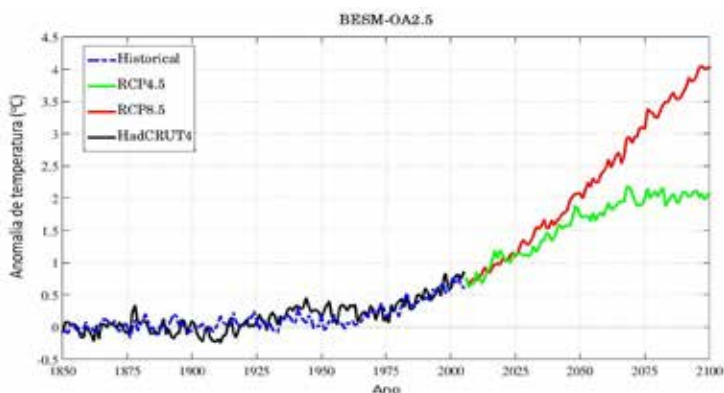


Figura 2 – Série temporal da anomalia média da temperatura do ar próximo à superfície para os experimentos com o modelo BESM2.5: Historical (linha Azul pontilhada); RCP 4.5 (linha verde); RCP 8.5 (linha vermelha). A linha preta refere-se às observações utilizando dados do HadCRUT4 (Veiga et al., 2017). As anomalias são em relação ao período de 1850 até 1879. A unidade é °C.

Contribuições para o avanço do estado da arte nas áreas de pesquisa do INCT para Mudanças Climáticas

As principais contribuições desta parte do trabalho estão associadas à disponibilização de um modelo global acoplado oceano-atmosfera capaz de representar tanto o clima pretérito quanto gerar cenários globais de mudanças climáticas para o futuro. Durante o desenvolvimento do projeto, as principais implementações foram: introdução de um novo esquema de cobertura de nuvens, baseado no modelo CAM5 do NCAR; substituição das

equações de similaridade para cálculo das variáveis de acoplamento atmosférico na camada limite planetária (campos de vento, umidade e temperatura a 10 m do solo), baseada no trabalho de Jimenez et al. (2014). Na componente oceânica do MOM5 estão sendo introduzidos aprimoramentos, em curso, na representação da mistura turbulenta vertical pela implementação do esquema de mistura da NASA/GISS; na introdução do efeito da rugosidade da superfície do mar no cômputo dos transportes de quantidade de movimento e calor entre a atmosfera e o oceano; na introdução do efeito de marés na circulação oceânica; no cálculo dos diferentes componentes do ciclo do carbono oceânico, através da habilitação e testes/*spinup* do modelo de biogeoquímica TOPAZ; e finalmente na consideração do efeito das descargas fluviais sobre a circulação e a biogeoquímica marinha. O subprojeto do BESM também contou com o desenvolvimento do modelo de superfície INLAND-THMB, o qual foi baseado no modelo IBIS utilizado anteriormente pelo NCAR e aprimorado pela equipe de desenvolvimento do BESM. Este se encontra em fase de acoplamento ao BESM via FMS.

A Figura 3 mostra a comparação entre os resultados do aquecimento global na temperatura do ar próximo ao solo entre os modelos BESM2.5, CCSM4, GFDL CM2.1-ES e HadGEM2.

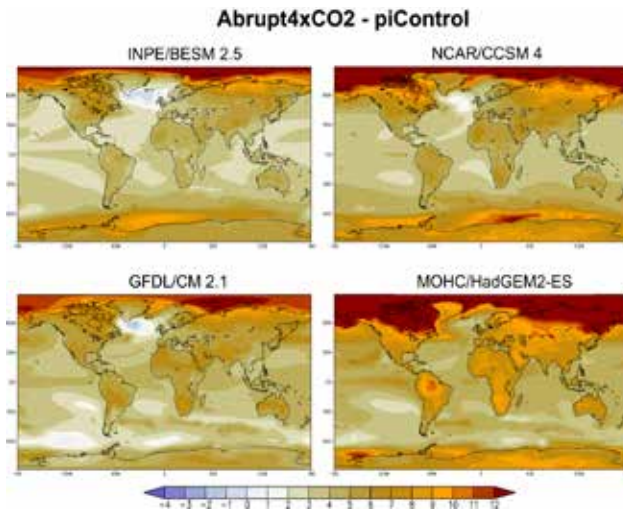


Figura 3 – Comparação entre os campos de temperatura do ar próximo à superfície, diferença entre os experimentos 4xCO₂ menos piControl (após estabilização) gerados pelos modelos BESM2.5, CCSM4, GFDL CM2.1-ES; e HadGEM2-ES (Cortesia: Capistrano, 2016). A unidade é °C.

Instrumentos adotados para acompanhar a atuação global no cumprimento das metas do INCT para Mudanças Climáticas

Além de gerar os cenários globais de mudanças climáticas, o subprojeto de construção do BESM também os disponibilizou em duas plataformas digitais de livre acesso. Assim, a plataforma web disponível na página do BESM na Internet (<http://besm.ccst.inpe.br/produtos/>) permite a qualquer usuário obter informações instantâneas quanto às tendências de temperatura e precipitação pluviométrica de longo período para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 para sua região e sobre toda a América do Sul (Figura 4). O conjunto completo de variáveis atmosféricas, oceânicas e de superfície continental geradas pelo BESM para os vários cenários descritos acima se encontram disponíveis também na Internet através da ferramenta Earth System Grid Federation (ESGF), no endereço: <https://dm2.cptec.inpe.br/projects/esgf-inpe/>. A Figura 5 apresenta captura de tela da página do BESM a partir do endereço indicado acima, a partir da qual os cenários de mudanças climáticas podem ser pesquisados e transferidos.

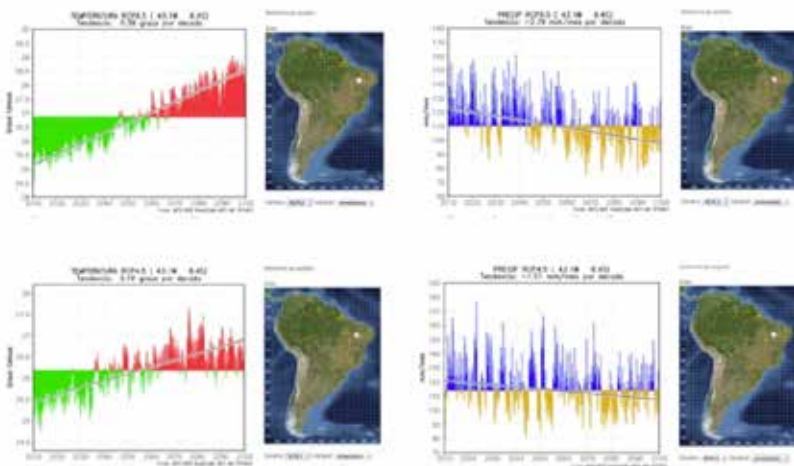


Figura 4 – Portal BESM na web com aplicativo para consulta instantânea de tendências de temperatura e precipitação para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 para o período 2010-2100 (CPTEC/INPE).

Cenários Mudanças Climáticas

BESM no ESGF

<https://dm2.cptec.inpe.br/projects/esgf-inpe>



Figura 5 – Captura de tela da página web do portal Earth System Grid Federation – ESGF, de distribuição de campos dos cenários de mudanças climáticas gerados pelo BESM (CPTEC/INPE).

Impactos e resultados nos objetivos e metas do INCT para Mudanças Climáticas

Os principais resultados das simulações climáticas geradas pelo BESM em suas versões 2.3 e 2.5, utilizando as implementações acima, estão descritos nos artigos Nobre et al. (2013), Chou et al. (2014a), Giarolla et al. (2015) e Casagrande et al. (2016), além dos artigos submetidos: Bottino & Nobre (2017), Capistrano et al. (2017), Veiga et. al. (2017), Costa et al. (2017), e de outros artigos em preparação. Também foram concluídas as teses de doutoramento de Marcus J. Bottino (2013), André Lanfer Marques (2016), Fernanda Casagrande (2016) e Mabel Calim Costa (2017) sob orientação do coordenador do subprojeto Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre do INCT para Mudanças Climáticas, Paulo Nobre.

O subprojeto se beneficiou dos desenvolvimentos da componente atmosférica do modelo global do CPTEC, outro subprojeto deste INCT para Mudanças Climáticas, o qual recebeu vários aprimoramentos pelo trabalho

de equipe de pesquisadores e tecnologistas financiados pelo projeto de desenvolvimento do BESM. O projeto adquiriu projeção nacional e internacional sem precedentes no Brasil, sendo que seu desenvolvimento futuro depende da sua estruturação como programa transversal no INPE e fonte de financiamento estável. No período de 2010 a 2015, trabalharam no projeto de desenvolvimento do BESM mais de 70 pesquisadores, programadores e tecnologistas do INPE, de universidades parceiras e terceirizados. No mais, o projeto do BESM também representa um ponto de cooperação internacional na área de modelagem e estudos das mudanças climáticas globais, tendo este pavimentado cooperações com o NCAR, GFDL e NASA nos EUA, IITM e IISc na Índia e o CSIR e University of Cape Town na África do Sul.

Modelo de Circulação Global Atmosférico CPTEC/INPE

Durante o período do projeto foram realizados vários aprimoramentos e desenvolvimentos no MCGA CPTEC/INPE. Essa versão aprimorada está sendo usada na previsão sazonal, a qual fornece informações a vários setores, como recursos hídricos, agricultura e sociedade em geral.

Buscou-se, no contexto do INCT para Mudanças Climáticas, aprimorar a representação das condições climáticas observadas na atmosfera, bem como sua variabilidade, incluindo as teleconexões. Para isso, foram introduzidas modificações nos esquemas de parametrizações físicas, como convecção profunda, camada limite, processos de superfície e microfísica de nuvens. Durante o período do projeto, foram realizados muitos experimentos com mudanças em parâmetros de parametrizações e com implementações de novos esquemas. Avaliações contínuas dos resultados direcionaram o desenvolvimento para a obtenção das metas propostas. Houve uma melhoria na simulação de precipitação global, com redução dos erros, assim como uma melhor representação da circulação atmosférica, em comparação com a versão anterior descrita em Cavalcanti et al. (2002).

A versão climática com resolução ~200 km foi capaz de reproduzir as principais teleconexões atmosféricas, como El Niño-Oscilação Sul (ENOS) o padrão *Pacific South America* (PSA) e o modo anular sul (SAM). Eventos extremos de chuva na América do Sul, em especial no Brasil, são associados a essas teleconexões, as quais foram obtidas nos resultados de simulações climáticas. O ciclo anual da precipitação também foi bem simulado em algumas regiões, enquanto que em outras ainda há deficiências. Por exemplo,

aspectos da Monção da América do Sul são bem reproduzidos pelo modelo. Entretanto, o modelo subestima a precipitação sobre a Amazônia, o que acontece também com a maioria dos modelos globais. Nas regiões Norte e Nordeste há uma boa simulação de anomalias de precipitação durante o ano todo, assim como no Sul, com exceção do inverno. Na região Sudeste não há boa representação das anomalias de precipitação, quando comparadas com a observação, porém não se notam mais as correlações negativas entre as anomalias observadas e as simuladas, existentes na versão anterior, apresentadas em Marengo et al. (2003). A representação dos principais modos de variabilidade, ENOS, SAM e PSA é importante para que o MCGA possa ser usado como a componente atmosférica de um modelo climático de mudanças climáticas, o qual necessita ter habilidade em simular a variabilidade climática e os mecanismos responsáveis por anomalias climáticas.

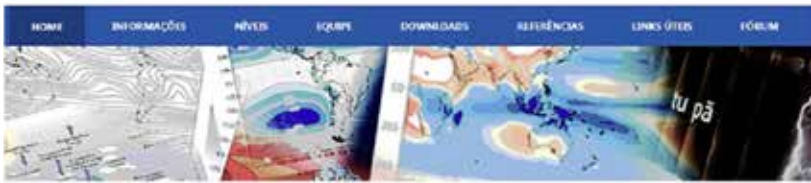
Durante os anos 2013-2016 foi desenvolvido um novo modelo atmosférico global: Brazilian Atmospheric Model (BAM), cujos detalhes são apresentados em Figueroa et al. (2016) e que está sendo usado na previsão de tempo operacional no CPTEC. Esse novo modelo será também usado em breve para a previsão sazonal elaborada mensalmente pelo CPTEC/INPE.

Contribuição à formação e capacitação de recursos humanos

A necessidade de haver mais pesquisadores envolvidos no desenvolvimento do modelo motivou a criação de um laboratório de modelagem atmosférica para estimular alunos e pesquisadores a se interessarem pelo tema. Assim, foi elaborado um site com um laboratório virtual para iniciação à modelagem atmosférica e realização de experimentos com diversos graus de aprendizagem, dirigido a estudantes e pesquisadores. O objetivo dessa iniciativa foi aumentar o interesse de estudantes e pesquisadores na área de modelagem atmosférica. O site está na página do CPTEC/INPE - projetos especiais-LMA (Laboratório de Modelagem Atmosférica), conforme ilustra a Figura 6. A divulgação está sendo feita em cursos, workshops e universidades. Foi também elaborado um vídeo de divulgação científica sobre o Modelo de Circulação Global Atmosférico CPTEC/INPE, como um produto do INCT para Mudanças Climáticas.



LABORATÓRIO DE MODELAGEM ATMOSFÉRICA



LMA

Este laboratório virtual visa uma iniciação à Modelagem Atmosférica.

Foi desenvolvido no CPTEC/INPE, Divisão de Modelagem e Desenvolvimento (DMO), no subprojeto do INCT de mudanças climáticas: "Modelo de Circulação Global Atmosférico do CPTEC".

O objetivo é oferecer algumas noções básicas sobre modelagem atmosférica e um treinamento inicial para estudantes e pesquisadores. Diferentes níveis de informações possibilitam uma evolução gradual no conhecimento através de módulos de interação. São apresentados alguns modelos atmosféricos simples, e o Modelo de Circulação Global Atmosférico MCGA CPTEC/INPE poderá ser usado para realização de experimentos.



[Acesse ao vídeo sobre o Modelo de Circulação Global Atmosférico CPTEC/INPE](#)

Figura 6 – Site do Laboratório virtual de Modelagem Atmosférica (<http://lma.cptec.inpe.br>).

Os principais resultados da simulação climática efetuada com a última versão que contém as implementações já mencionadas estão sendo compilados no artigo *Global and South America mean climate and variability simulated by CPTEC/INPE AGCM*. Várias teses de doutorado foram realizadas com análise do MCGA CPTEC/INPE, como: “Fontes de Ondas de Rossby: Aspectos Observacionais, Simulações numéricas e Projeções futuras”- Marília H. Shimizu (2012); “A Oscilação Antártica – Mecanismos físicos e a relação com características atmosféricas sobre a América do Sul e oceanos adjacentes”- Fernanda C. Vasconcellos (2012); “As influências de tipos diferentes de ENOS na precipitação e nos seus eventos extremos sobre a América do Sul- Observações, simulações e projeções”- Renata Tedeschi (2013). Outra tese de doutorado utilizando resultados do MCGA CPTEC/INPE foi: “O papel das teleconexões e de fatores regionais na ocorrência de precipitação extrema associada a sistemas frontais sobre o Sudeste do Brasil” - Kelen M. Andrade (2017). Simulações climáticas com o modelo global também foram utilizadas para analisar as influências da umidade do solo na atmosfera, em trabalho de pós-doutorado de Virginia P. Silveira.

Interações Biosfera-Atmosfera – Modelo de superfície (INLAND)

O subprojeto Interações Biosfera-Atmosfera do INCT para Mudanças Climáticas foi norteado pelo interesse em se produzir análises ambientais que pudessem levar em conta as influências bidirecionais entre a biosfera e a atmosfera, com foco no Brasil e América do Sul. Com esse fim, as atividades de pesquisa se concentraram no desenvolvimento e uso de modelos computacionais para simular a dinâmica dos ecossistemas terrestres, supondo diferentes cenários climáticos e de usos do solo na região.

Progressos importantes foram obtidos com a estruturação de ferramentas para pesquisa, interfaces com outros projetos e entre pesquisadores, e na formação e capacitação de recursos humanos. Destacam-se, além das contribuições para o desenvolvimento da componente de superfície continental do BESM, as relações com a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima) e o Programa FAPESP Mudanças Climáticas.

Entre os intercâmbios facilitados pelo INCT para Mudanças Climáticas destacam-se as atividades junto à Universidade Federal de Viçosa, (UFV) e em projetos como AMAZALERT (Raising the alert about critical feedbacks between climate and land use change in Amazonia, European Commission's 7th Framework Programme, Grant 282664) e COMBINE (Comprehensive Modelling of the Earth System for Better Climate Prediction and Projection, European Commission's 7th Framework Programme, Grant 226520).

Um dos resultados importantes do subprojeto foi o desenvolvimento do Modelo Integrado de Processos Superficiais (Integrated Model of Land Surface Processes, INLAND), com base no Integrated Biosphere Simulator (IBIS, Foley et al., 1996 e Kucharik et al., 2000). O INLAND simula diversas características da superfície continental (como tipo de vegetação, quantidade de biomassa e evapotranspiração) em função das características ambientais dominantes como precipitação, temperatura e tipo de solo. A Figura 7 ilustra a estrutura do modelo incluindo implementações já realizadas e outras ainda em desenvolvimento.

Alguns dos tópicos de aprimoramento do INLAND desenvolvidos durante o INCT para Mudanças Climáticas incluem a representação de culturas agrícolas, com datas de plantio, senescência e colheita, e a capacidade de considerar distúrbios como o fogo e o desmatamento. O fogo é estimado pelas condições de umidade e biomassa vegetal, e as informações sobre desmatamento são prescritas e externas ao modelo. Esses distúrbios afetam

variáveis como produtividade primária líquida (NPP) e índice de área foliar (LAI), e modificam a dinâmica da vegetação.

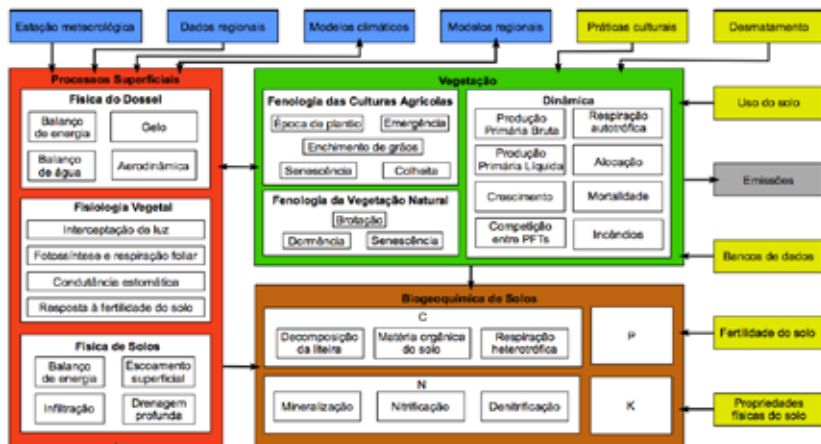


Figura 7 – Estrutura idealizada do modelo INLAND. O diagrama inclui implementações já realizadas e outras ainda em desenvolvimento. (MArcos Costa (UFV) e Gilvan Sampaio (INPE)).

Uma das características importantes do modelo INLAND é sua capacidade em considerar cenários de desmatamento. Essa melhoria foi também desenvolvida sob a estrutura do INCT para Mudanças Climáticas, em conjunto com o subprojeto Mudanças no Uso da Terra. Nesse subprojeto houve a construção de cenários espacialmente explícitos de desmatamento para a Amazônia brasileira até 2100, gerados pelo LuccME (ver próxima seção 2.4), e que foram utilizados para as análises dos impactos combinados das mudanças climáticas e de uso da terra através do modelo INLAND.

Arcabouço de modelagem e mudança de uso e cobertura da terra (LuccME-INLAND)

Existem diversos tipos de modelo de uso da terra empregados para diferentes finalidades, como, por exemplo, os modelos baseados em agente, modelos econométricos, modelos de alocação, entre outros. Em modelos de alocação, três componentes principais podem ser identificados: o cálculo da quantidade de mudança para um determinado uso a cada ano (“demanda”), o potencial de transição de cada célula (geralmente baseado em métodos de análise multivariada) e o procedimento de alocação propriamente

dito, que aloca a demanda no espaço, de acordo com o potencial de transição, como ilustra a Figura 8.

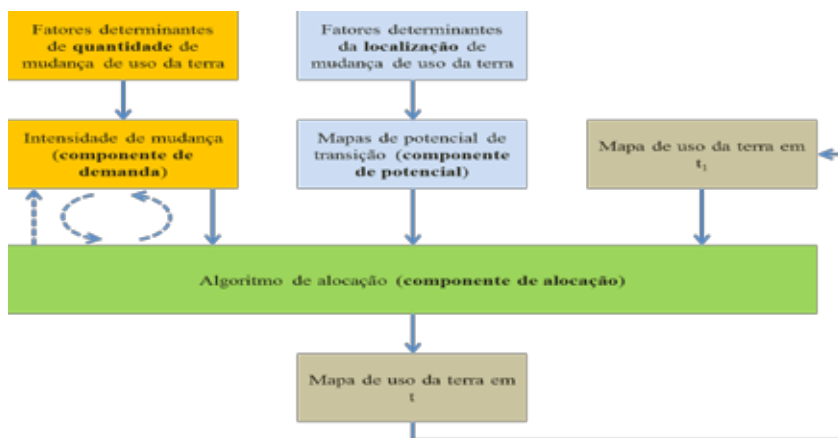


Figura 8 – Estrutura comum a modelos espacialmente explícitos de mudança de uso da terra (modelos de alocação) (Baseado em Verburg et al.,2006).

Muitos modelos conhecidos da literatura seguem essa estrutura (Verburg et al., 2006). No entanto, cada um desses modelos emprega diferentes técnicas e abordagens na construção desses três componentes. Além disso, normalmente estão implementados em diferentes plataformas computacionais e, de maneira geral, seus códigos não são abertos, não podendo ser facilmente combinados ou modificados.

O LuccME (Aguiar et al., 2012a, 2016) é um arcabouço para modelagem de uso da terra espacialmente explícita, de código aberto, desenvolvido pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre do INPE (<http://lucme.ccst.inpe.br>). A proposta do LuccME partiu da ideia de construir um arcabouço no qual diferentes mecanismos de cálculo de potencial, alocação e demanda pudessem ser combinados e intercambiados. Esse arcabouço permite construir facilmente modelos de desmatamento, expansão da agricultura, desertificação, degradação florestal, crescimento urbano e outros processos de mudanças de uso e cobertura da terra *em diferentes escalas e áreas de estudo*, combinando os componentes disponíveis ou criando novos componentes, caso se julgue necessário. Assim, o LuccME disponibiliza diversos componentes baseados em ideias dos principais modelos encontrados na literatura. Sendo de código aberto, novos componentes podem ser facilmente adicionados e combinados.

No contexto do INCT para Mudanças Climáticas, o desenvolvimento do arcabouço LuccME esteve inserido no subprojeto de Mudanças no Uso da Terra. De modo mais amplo, o projeto buscou entender as causas e construir cenários de mudanças de uso da terra no Brasil, com foco na Amazônia, integrando metodologias de modelagem, sensoriamento remoto e análise de padrões de uso da terra. A atividade de aprimoramento do arcabouço LuccME foi realizada em sinergia com outros projetos em andamento no período², e permitiu a construção de cenários quantitativos de uso da terra para a Amazônia brasileira até 2100. Esses cenários foram utilizados pelo projeto Interações Biosfera-Atmosfera do INCT para Mudanças Climáticas, para análise dos impactos combinados das mudanças climáticas e de uso da terra através do modelo de vegetação dinâmica INLAND (ver seção anterior). O Capítulo 11 - Amazônia e REDD deste livro reporta o processo de construção dos cenários de uso da terra. A Figura 9 exemplifica as análises dos efeitos combinados de projeções de uso da terra e climáticas na vegetação, realizadas através do modelo INLAND.

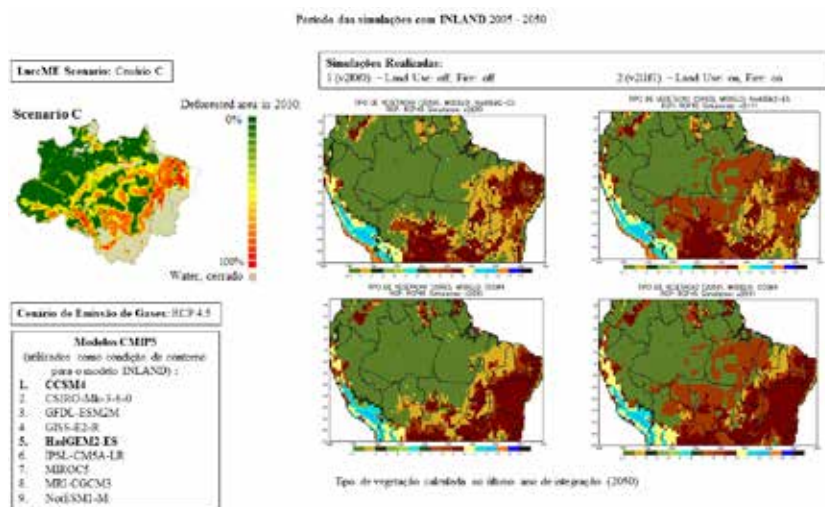


Figura 9 – Exemplo dos resultados da análise no INLAND de cenários de uso da terra (gerados pelo LuccME) e cenários climáticos na Amazônia brasileira.

2 Em especial: AMAZALERT (*Raising the alert about critical feedbacks between climate and land use change in Amazonia, European Commission's 7th Framework Programme, Grant 282664*). Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima) e o Programa FAPESP Mudanças Climáticas.

As projeções espacialmente explícitas geradas pelo LuccME foram também utilizadas para estimativas de emissões de gases de efeito estufa através do arcabouço de modelagem INPE-EM (<http://inpe-em.ccst.inpe.br>). O INPE-EM representa processos de desmatamento por corte-raso, dinâmica da vegetação secundária e degradação florestal (Aguiar et al., 2012b, 2016), e é também um subproduto do subprojeto Mudanças no Uso da Terra (descrito no Capítulo 8 - Emissão de Gases de Efeito Estufa. Tanto o LuccME quanto o INPE-EM são desenvolvidos em ambiente TerraME/TerraLib (www.terrame.org e www.terralib.org), produtos tecnológicos do INPE e instituições parceiras. Durante o INCT para Mudanças Climáticas, diversas melhorias foram realizadas no LuccME, visando melhor adequá-lo à construção de cenários no contexto brasileiro.

Uma característica importante do LuccME é sua flexibilidade quanto à escala espacial empregada. Além do modelo para a Amazônia brasileira, desenvolvido no decorrer do INCT para Mudanças Climáticas, existem diversos outros modelos em desenvolvimento ou já operacionais para a Amazônia boliviana, biomas Caatinga e Cerrado brasileiros, assim como outros mais localizados. Esses modelos estão sendo desenvolvidos com resoluções variadas, de acordo com a necessidade da aplicação, de 25 x 25 km² até 250 x 250 m². As variáveis de uso em um determinado modelo podem ser categóricas (apenas uma classe por célula, adequadas para modelos com menos de 1 km² de resolução), ou contínuas (representadas por porcentagem de diversas classes dentro de uma célula). O arcabouço possui interface gráfica para a criação/modificação de modelos e acesso direto a bancos de dados espaciais, através da biblioteca TerraLib, onde os dados são organizados, evitando a manipulação de múltiplos arquivos.

***Downscaling* dinâmico do BESM com o modelo Eta (Eta-BESM)**

Para representar os processos climáticos em todo o globo e na escala temporal de centenas de anos, a escala espacial adotada pelo modelo BESM é da ordem de poucas centenas de quilômetros, cerca de 200 a 300 km. Por outro lado, os problemas socioeconômicos abordados nos estudos de impacto, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas são de escala regional a local, de poucas dezenas de quilômetros, conforme detalhado no Capítulo 13 - Cenários Climáticos para estudos de Impactos-Vulnerabilidade-Adaptação (IVA). Portanto, é adequado aplicar uma

redução de escala (*downscaling*) nos resultados do BESM. Essa redução de escala é produzida a partir do *downscaling* dinâmico utilizando o modelo Eta, em sua versão desenvolvida pelo INPE para estudos de mudanças climáticas (Pesquero et al., 2009; Chou et al., 2012; Marengo et al., 2012). O modelo **Eta** tem sido utilizado pelo INPE para produzir previsões em alta resolução, para previsões de tempo (Chou, 1996; Seluchi et al., 2003; Cataldi et al., 2007; Bustamante & Chou, 2009; Seluchi & Chou, 2009; Vieira et al., 2015; Siqueira et al., 2016), clima sazonal (Chou et al., 2005; Pilotto et al., 2012; Resende & Chou, 2015) e clima subsazonal (Chou et al., 2005; Chou et al., 2015). As simulações do modelo Eta foram utilizadas na Segunda Comunicação Nacional à UNFCCC (MCT, 2010) na resolução de 40 km e, recentemente, na Terceira Comunicação Nacional (MCTI, 2016) e no estudo Brasil 2040 da Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE, 2015), na resolução de 20 km, para estudos de mudanças climáticas sobre a América do Sul. O modelo foi utilizado para produzir *downscaling* das simulações de diferentes modelos globais: HadGEM2-ES, MIROC5 e BESM para América do Sul e América Central (Chou et al., 2014a; 2014b). Para a Terceira Comunicação Nacional, o modelo **Eta** recebeu atualizações em relação à versão anterior (Mesinger et al., 2012).

O *downscaling* das simulações do BESM foi produzido a partir do Modelo Eta. Essas simulações foram avaliadas em Chou et al. (2014a) e mostraram ser capazes de reproduzir satisfatoriamente os padrões climáticos de precipitação e temperatura sobre o continente. O *downscaling* do **BESM** pelo modelo Eta subestima as chuvas sobre a região Norte do país. Esse é um erro comum dos modelos numéricos e são necessários maiores esforços na pesquisa em melhoramento na representação dessas chuvas. As temperaturas simuladas pelo BESM são geralmente mais baixas que a observação. Esse viés frio é substancialmente reduzido em todas as regiões a partir do *downscaling*, o que mostra a vantagem do *downscaling* para refinar as simulações climáticas do modelo global (Chou et al., 2014a). As distribuições de frequência da chuva e da temperatura nas regiões Norte, Nordeste e Sul-Sudeste se aproximam mais da curva de distribuição observada após o *downscaling* pelo modelo Eta.

O *downscaling* das simulações realizadas com o modelo HadGEM2-ES foi produzido pelo modelo Eta na versão não-hidrostática, para uma resolução de 5 km, especificamente para estudos de impactos climáticos na região Sudeste do Brasil, com ênfase em três regiões metropolitanas:

Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Região Metropolitana de São Paulo e o Município de Santos (Lyra et al., 2016). As distribuições de frequência da chuva e da temperatura foram melhor reproduzidas nesta altíssima resolução.

Os desenvolvimentos do modelo Eta em categoria de sistema terrestre inclui a substituição do esquema radiação pelo esquema RRTMG, que permite tratamento de aerossóis e componentes dos gases de efeito estufa (Campos et al., 2017), acoplamento a modelo de vegetação dinâmica (Lyra, 2015). Simulações do modelo Eta com a versão acoplada ao modelo de vegetação dinâmica INLAND, na América do Sul, mostraram redução da floresta tropical e substituição por vegetação de gramínea até o final do século XXI (Lyra et al., 2016; Lyra et al., 2017)

O *downscaling* das simulações do BESM para uma altíssima resolução, com dinâmica da vegetação e outros desenvolvimentos incluídos no modelo Eta fazem parte dos planos futuros.

Considerações finais: contribuições para geração de políticas públicas e perspectivas futuras

O INCT para Mudanças Climáticas contribuiu de maneira ampla para o avanço no desenvolvimento de modelos representando componentes do sistema terrestre, possibilitando tanto a geração de análises e produtos específicos (por exemplo, previsões de tempo e cenários de uso da terra), quanto a evolução na direção de construção de um modelo completo do sistema terrestre.

Com integrações acopladas oceano-atmosfera-biosfera cobrindo o período de 1850 a 2100, o subprojeto de construção e aprimoramentos do BESM contribuiu de forma efetiva para o sucesso dos objetivos do INCT para Mudanças Climáticas, gerando simulações e cenários climáticos globais sem precedentes no Brasil, com um modelo desenvolvido no país. Assim, o Brasil passou a participar do seletivo grupo de nações com contribuições nacionais de cenários globais de mudanças climáticas para o projeto CMIP5, o qual constituiu a base para a geração do Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC AR5). Também agrega pesquisadores do Brasil e do exterior para a geração e testes do modelo BESM, dando a este um caráter comunitário.

Os cenários globais de simulação do clima presente e futuro, gerados pelo BESM, foram empregados como condições de contorno para gerar cenários regionalizados sobre o Brasil com o modelo Eta (CPTEC), sendo estes utilizados para a elaboração da Terceira Comunicação Nacional para a Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas Globais. Além desses, o modelo BESM é utilizado operacionalmente para gerar previsões estendidas de tempo (i.e. até 30 dias) e climáticas sazonais (até 90 dias) pelo CPTEC/INPE. Essas previsões são utilizadas semanalmente pelo CPTEC/INPE e pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) para fornecer informações climáticas para: (i) órgãos da Defesa Civil, na previsão da ocorrência de eventos extremos, como a seca no Nordeste ou mesmo a interrupção da longa estiagem que atingiu a região Sudeste em 2014-2015; (ii) o Ministério de Minas e Energia para o setor elétrico no planejamento da geração e distribuição de energia durante a grave crise hídrica pela qual passaram as regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, durante 2014 e 2015.

O aprimoramento do modelo BAM (CPTEC/INPE), por sua vez, contribuiu para aumentar a confiabilidade na representação das características climatológicas observadas, da variabilidade climática e dos padrões atmosféricos associados a eventos extremos de precipitação. Anos muito chuvosos ou muito secos em regiões específicas do país têm impacto na economia e na sociedade. É de extrema importância que se conheça a habilidade do modelo em representar esses eventos. Órgãos como a Defesa Civil, o CEMADEN e o CPTEC/INPE, como setores de alerta e previsão de eventos extremos, necessitam obter as melhores informações extraídas de modelos. Ações de adaptação a mudanças climáticas pelos órgãos públicos também necessitam ter informações sobre a capacidade dos modelos de realizarem uma boa simulação do presente para poderem efetuar uma boa projeção para o futuro.

A integração entre o INLAND e LuccME contribuiu para que tomadores de decisão possam avaliar quais regiões podem ser mais impactadas com mudanças do clima e do uso da terra. Os cenários de uso da terra para a Amazônia, por exemplo, gerados ao longo do INCT para Mudanças Climáticas, foram construídos de modo participativo, e seus resultados discutidos com diferentes setores da sociedade (setor produtivo, governo e sociedade civil). O aprimoramento do LuccME e a sua integração com o INLAND são contribuições significativas do INCT para Mudanças

Climáticas para a evolução da representação dos processos de superfície em modelos do sistema terrestre, considerando também aspectos socioeconômicos, como ilustrado na Figura 10.



Figura 10 – Representação esquemática da evolução da integração dos modelos.

Perspectivas futuras

A maior integração entre os diferentes componentes do sistema terrestre, durante a nova fase do INCT para Mudanças Climáticas, possibilitará avançar o conhecimento das interações entre clima, oceanos, gelo marinho e continental, vegetação, hidrologia e os processos socioeconômicos subjacentes às mudanças no uso da terra. Além dessa perspectiva, um dos grandes desafios científicos da atualidade é a representação do sistema terrestre, abrangendo não somente suas dimensões físicas e biológicas, mas também as dimensões humanas. Trata-se de uma linha de ação/pesquisa que se encontra em estado embrionário, mesmo em países industrializados. Esperamos igualmente contribuir para a formação e capacitação de uma nova geração de cientistas e gestores competentes no desenvolvimento e utilização dos cenários de mudanças climáticas para a geração de políticas públicas no Brasil, voltadas às mudanças ambientais globais. O objetivo é o aprimoramento contínuo da capacidade de modelagem do sistema terrestre para apoiar a tomada de decisão em diferentes níveis.

Referências

Aguiar, A. P., Carneiro, T., Andrade, P., & Assis, T. (2012a). LuccME-TerraME: an open-source framework for spatially explicit land use change modelling . *GLP News*, 8, 21.

Aguiar, A. P., Ometto, J. P., Nobre, C., Lapola, D. M., Almeida, C., Vieira, I. C., & Castilla-Rubio, J. C. (2012b). Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: the INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, 18(11), pp. 3346-3366. doi:10.1111/j/1365-2486.2012.02782.x

Aguiar, A. P., Vieira, I. C., Assis, T. O., Dalla-Nora, E. L., Toledo, P. M., Oliveira Santos-Junior, R. A., & Ometto, J. P. (2016). Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, pp. 1821-40. doi:10.1111/gcb.13134

Bottino, M. J. & Nobre, P., 2017: Impacts of cloud cover schemes on the Atlantic climate in the Brazilian Earth System Model – BESM-OA2.3. *Clim. Dyn.*, To be submitted.

Bustamante, J. F. & Chou, S. C. Impact of including moisture perturbations on short-range ensemble forecasts. *Journal of Geophysical Research*. v.114, p.D20112, 2009.

Campos, D., Chou, S. C., Spyrou, C., Chagas, J. C. S., Bottino, M. J. Eta model simulations using two radiation schemes in clear-sky conditions. *Meteorol Atmos Phys* (2017). doi:10.1007/s00703-017-0500-6

Capistrano, V., R. Tedeschi, J. Silva, P. Nobre, O. Neto, F. Rodrigues, F. Casagrande, M. Baptista, S. Figueroa, M. Cardoso, and C. A. Nobre, 2017: Climate sensitivity of the Brazilian Earth System Model, version 2.5. *J. Clim.*, Submitted.

Casagrande, F., Nobre, P., de Souza, R. B., Marquez, A. L., Tourigny, E., Capistrano, V., & Mello, R. L. (2016). Arctic Sea Ice: Decadal Simulations and Futures Scenarios Using BESM-OA. *Atmospheric Clim. Sci.*, 06, pp. 351-366. doi:10.4236/acs.2016.62029

Cataldi, M., Osorio, C., Guilhon, L. G., Chou, S. C., Gomes, J. L., Bustamante, J., 2017. Análise das previsões de precipitação obtidas com a utilização do modelo Eta como insumo para modelos de previsão semanal de vazão natural. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*.

Cavalcanti, I. F., Marengo, J. A., Satyamurty, P., Nobre, C. A., Trosnikov, I., Bonatti, J. P., Camargo, H. (2002). Global climatological features in a simulation using CPTEC/COLA AGCM. *Journal of Climate*, 15, pp. 2965-2988.

Chou, S. C., 1996. Modelo Regional Eta. *Climanálise*. Edição Comemorativa Especial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos.

Chou, S. C., Marengo, J. A., Lyra, A., Sueiro, G., Pesquero, J., Alves, L. M., Kay, G., Betts, R., Chagas, D., Gomes, J. L., Bustamante, J., Tavares, P., 2012. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. *Climate Dynamics*. Vol. 38 n. 3-4, 635-653. DOI 10.1007/s00382-011-1002-8

Chou, S. C., Lyra, A., Mourão, C., Dereczynski, C., Pilotto, I., Gomes, J., Bustamante, J., Tavares, P., Silva, A., Rodrigues, D., Campos, D., Chagas, D., Sueiro, G., Siqueira, G., Nobre, P. and Marengo, J. (2014a) Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. *American Journal of Climate Change*, 3, 438-454. doi:10.4236/ajcc.2014.35039. http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=52887#.VakHg_IViko

Chou, S. C., Lyra, A., Mourão, C., Dereczynski, C., Pilotto, I., Gomes, J., Bustamante, J., Tavares, P., Silva, A., Rodrigues, D., Campos, D., Chagas, D., Sueiro, G., Siqueira, G. and Marengo, J. (2014b) Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change*, 3, 512-527. doi: 10.4236/ajcc.2014.35043. http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=52877#.VakIh_IVikp

Figueroa S. N., Kubota P. Y., Grell G., Morrison H., Bonatti J. P., Barros S., Fernandez J. P., Ramirez E., Nobre P., Siqueira L., Satyamurti P., Luzia G.; Silva J., Silva J. R., Pendharkar J., Capistrano V., Alvin D., Enore D., Denis F., Rozante J. R., Cavalcanti I. F. A., Barbosa H., Mendes C. L., Paneta J. (2016). The Brazilian Global Atmospheric Model (BAM). Part I: Performance for Tropical Rainfall forecasting and sensitivity to convective schemes and horizontal resolutions. *Weather and Forecasting* 31, 1547-1572.

Foley, J. A., I. C. Prentice, N. Ramankutty, S. Levis, D. Pollard, S. Sitch, and A. Haxeltine (1996). An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance, and vegetation dynamics. *Global Biogeochemical Cycles* 10(4), 603-628.

Heavens, N. G., Ward, D. S., & Natalie, M. M. (2013). Studying and Projecting Climate Change with Earth System Models. *Nature Education Knowledge*, 4(5), p. 4.

Jiménez, P. A., Dudhia, J., González-Rouco, J. F., Navarro, J., Montávez, J. P., & García-Bustamante, E. (2012). A Revised Scheme for the WRF Surface Layer Formulation. *Mon. Weather Rev.*, 140, pp. 898-918. doi:10.1175/MWR-D-11-00056.1

Kucharik, C. J., J. A. Foley, C. Delire, V. A. Fisher, M. T. Coe, J. Lenters, C. Young-Molling, N. Ramankutty, J. M. Norman, and S. T. Gower (2000). Testing the performance of a dynamic global ecosystem model: Water balance, carbon balance and vegetation structure. *Global Biogeochemical Cycles* 14(3), 795-825.

Lyra, A., Imbach, P., Rodriguez, D. A., Chou, S. C., Georgiou, S., Garofolo, L. Projections of climate change impacts on central America tropical rainforest. *Climatic Change*, v.141, p.93 - 105, 2017. [doi:10.1007/s10584-016-1790-2]

Lyra, A., Tavares, P., Chou, S.C., Sueiro, G., Dereczynski, C.P., Sondermann, M., Silva, A., Marengo, J., Giarolla, A. 2017. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution *Theor Appl Climatol*. doi:10.1007/s00704-017-2067-z.

Lyra, A. A.; Chou, S. C., Sampaio, G.O. Sensitivity of the Amazon biome to high resolution climate change projections. *Acta Amaz.* [online]. 2016, vol.46, n.2, pp.175-188. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672016000200175&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0044-5967. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201502225>. Lyra, A.A., 2015: Estudo de vulnerabilidade do Bioma Amazônia aos cenários de mudanças climáticas. Tese de doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. pp 202.

Marengo, J. A., Cavalcanti, I. F., Satyamurty, P., Troniskov, I., Nobre, C. A., Bonatti, J. P., . . . Candido, L. (2003). Assessment of regional seasonal rainfall predictability using the CPTEC/COLA atmospheric GCM. *Climate Dynamics*, 21, pp. 459-475.

Marengo, J. A.; Chou, S. C; Kay G.; Alves, L.; Pesquero, J. F Soares, W.R; Santos, D.C.; Lyra, A. A.; Suevo, G.; Betts, R.; Chagas, D. J.; Gomes, J. L.; Bustamante, J. F; Tavares, P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins. *Climate Dynamics*. Vol 38, n 9-10, 1829-1848. 2012. DOI 10.1007/s00382-011-1155-5

MCT, 2010: Segunda Comunicação Nacional. Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF., 2010.

MCTI, 2016: Terceira Comunicação Nacional. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Brasília, DF. 2016.

Mesinger, F., Chou, S. C., Gomes, J. L., Jovic, D., Bastos, P., Bustamante, J. F., Lalic, L., Lyra, A. A., Morelli, S., Ristic, I., Veljovic, K. (2012) An upgraded version of the Eta model. *Meteorology and Atmospheric Physics*. Vol 116 (3), 63-79. DOI: 10.1007/s00703-012-0182-z

Nobre, P., Almeida, R. A., Malagutti, M., & Giarolla, E. (2012). Coupled ocean-atmosphere variations over the South Atlantic ocean. *J Clim.*, 25, pp. 6349-6358. doi:doi:10.1175/JCLI11-00444.1

Nobre, P., Malagutti, M., Urbano, D. F., Almeida, R. A., & Giarolla, E. (2009). Amazon deforestation and climate change in a coupled model simulation. *J Clim.*, 22, pp. 5686-5697.

Nobre, P., E. Giarolla, V. B. Capistrano, A. Lanfer, S. N. Figueroa, M. C. Costa, P. Y. Kubota, P. Reynes, S. Veiga, J. P. Bonatti, H. C. Soares, F. Casagrande, and C. A. Nobre, 2017: Transient responses to abrupt atmospheric CO₂ increase in BESM-OA2.5 coupled climate model. *In preparation*.

Pilotto I.D., Chou S. C., Nobre P. Seasonal climate hindcasts with Eta model nested in CPTEC coupled ocean-atmosphere general circulation model. *Theoretical and Applied Climatology*. Vol.110, no. 3, pp. 437-456. 2012. DOI:10.1007/s00704-012-0633-y

Resende, N., Chou, S. C. Influência das condições do solo na climatologia da previsão sazonal do modelo Eta. *Revista Brasileira de Climatologia*. v.15, p.64 - 79, 2015.

SAE, 2015. Projeto Brasil 2040. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência. Brasília, DF. 2015

Seluchi, M. E., Norte, F., Satyamurty, P., Chou, S. C., 2003. Analysis of three situations of foehn effect over the Andes. *Weather and Forecasting*. v. 18, p. 481-501, 2003

Seluchi, M. E., Chou, S. C. 2009: Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*. Volume 98, Issue 1-2, pp 67-77 . DOI 10.1007/s00704-008-0101-x

Siqueira, V. A., Collischonn, W., Fan, F. M., Chou, S. C., 2016. Ensemble flood forecasting based on operational forecasts of the regional Eta EPS in the Taquari-Antas basin . *RBRH 21* (3), 587-602. DOI: 10.1590/2318-0331.011616004

Veiga, S., P. Nobre, V. Capistrano, E. Giarolla, and C. A. Nobre, 2017: The Brazilian Earth System Model version 2.5: Evaluation of historical simulation. *TBS Geoscientific Model Development*.

Vieira RMG; Dereczynski CP, Chou S. C.; Gomes JL, Paiva Neto AC, 2015: Avaliação das Previsões de Precipitação do Modelo Eta para Bacia do Rio São Francisco em Minas Gerais, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 38 - 2 / 2015 p. 15-23.

Cenários Futuros de Clima para Estudos de Impactos-Vulnerabilidade-Adaptação (IVA)

José A. Marengo¹
Sin C. Chou²

Resumo

A modelagem climática usando modelos regionais de clima permite a geração de projeções de clima futuro com uma alta resolução espacial e temporal, necessária para desenvolver estudos de Impactos-Vulnerabilidade-Adaptação às mudanças climáticas. Os trabalhos no INCT para Mudanças Climáticas liderados pelo INPE e CEMADEN permitiram o uso do modelo climático regional Eta do INPE, que foi aninhado em duas versões do modelo global do UK Met Office (HadCM3, HadGEM2 ES) e no modelo global de consórcio japonês, MIROC5, gerando projeções de clima até 2100, para cenários de altas e baixas emissões de gases de efeito estufa. Com resolução espacial variando de 50 até 20 km latitude-longitude, esses cenários regionalizados de clima futuro foram e vêm sendo usados em dezenas de artigos científicos nacionais e internacionais. Esses cenários foram utilizados também por outros subprojetos do INCT para Mudanças Climáticas, outros INCTs, pela Rede Clima, por projetos do Programa FAPESP Mudanças Climáticas e em estudos nacionais do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (Terceira Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC), Ministério do Meio Ambiente (Plano Nacional de Adaptação à

1 Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

2 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Mudança do Clima), Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (Brasil 2040), assim como na produção de relatórios do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas e nos relatórios AR4, SREX e AR5 do IPCC, publicados entre 2012 a 2014.

Introdução

Este documento tem por objetivo apresentar os resultados para os “Cenários climáticos para estudos de Impactos-Vulnerabilidade-Adaptação” (Tema Integrador do INCT para Mudanças Climáticas), gerados pelo modelo climático regional Eta do INPE, que foi aninhado em versões recentes do modelo global do UK Met Office (HadCM3, HadGEM2 ES) e no modelo global de consórcio japonês, MIROC5, com uma resolução espacial variando de 50 a 20 km latitude-longitude, cobrindo uma área sobre toda a América do Sul, América Central e oceanos adjacentes. Estes cenários têm sido usados em estudos de impactos, vulnerabilidade e adaptação relevantes a outros subprojetos do INCT para Mudanças Climáticas, à Rede Clima, a projetos do Programa FAPESP Mudanças Climáticas (PFPMCG), ao FAPESP Belmont Forum, ao Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) e a documentos nacionais do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE). Os cenários de clima futuros e os estudos de impactos e vulnerabilidade regional e setorial também foram úteis na elaboração do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) (MMA, 2016).

As projeções de mudanças no sistema climático são produzidas usando uma hierarquia de modelos climáticos que vão desde modelos climáticos simples, passando por modelos de média complexidade, até modelos de categoria Sistema Terrestre (Earth System Models – ESM). Esses modelos simulam mudanças com base em um conjunto de cenários de forçantes antrópicas. Os cenários, chamados SRES (Special Report Emission Scenarios), que foram considerados para gerar as projeções de clima no Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) TAR e AR4 em 2007 e 2011, respectivamente, foram utilizados pelos modelos climáticos globais no âmbito do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados - Fase 3 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 3 – CMIP3) do World Climate Research Programme (WCRP). Um novo conjunto de cenários,

os chamados Trajetórias de Concentração Representativa (Representative Concentration Pathways - RCP), foi utilizado pelos modelos climáticos globais, no âmbito do CMIP5. Essas projeções e simulações subsidiaram o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC AR5 (Fifth Assessment Reports) apresentados nos relatórios dos Grupos de Trabalho 1 (IPCC, 2013) e 2 (IPCC, 2014).

Esses modelos apresentam em média aquecimento em toda a América do Sul, com maiores valores no sul da Amazônia, redução das chuvas no leste da Amazônia e aumento das chuvas totais e extremas na região da bacia do Prata, incluindo o Sul do Brasil, assim como aumento das temperaturas de até 6°C na Amazônia.

Os modelos globais acoplados utilizam resolução espacial de cerca de 200 a 100 km, que é considerada baixa para estudos de impacto e vulnerabilidade em escala regional a local. A técnica mais aceita para transformar a relativamente baixa resolução espacial dos modelos climáticos globais em escalas mais refinadas é a regionalização (“*downscaling*”) dinâmica das projeções, usando modelos climáticos regionais. Esse refinamento de grade é gerado a partir do modelo regional em mais alta resolução espacial, que utiliza nas fronteiras laterais da área de interesse as simulações do modelo climático global.

A técnica de regionalização tem sido usada intensivamente para previsões sazonais sobre a América do Sul desde meados de 2000 (Chou et al., 2005). Uma revisão sobre resultados de projeções dos modelos regionais empregados na América do Sul pode ser encontrada no Capítulo 8 do Primeiro Relatório de Avaliação Nacional (RAN1), produzido pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014), e no Capítulo 27 do Relatório do Grupo de Trabalho 2 do IPCC AR5 (Magrin et al., 2014).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) estuda as mudanças do clima e coordena a modelagem regional do clima e as projeções futuras de mudanças climáticas. Ademais, o INPE e o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) coordenam a relação entre esses resultados e as pesquisas e estudos de impactos, vulnerabilidade e adaptação relativos a setores estratégicos identificados como vulneráveis aos impactos associados a desastres naturais e ao maior risco de extremos climáticos, consequência da mudança do clima no Brasil.

Os modelos climáticos globais acoplados oceano-atmosfera e do sistema terrestre do IPCC AR5 apresentam, em geral, melhor desempenho na

simulação das chuvas nas regiões tropicais, inclusive na América do Sul, quando comparados com os modelos acoplados do Quarto Relatório do IPCC AR4. Houve também ganho no desempenho das simulações das temperaturas à superfície (Flato et al., 2013) no AR5 em relação ao AR4. Essa melhoria dos modelos globais sugere maior confiança em suas projeções o que, por sua vez, se transfere para as simulações regionalizadas.

Os modelos globais usados pelo INCT para Mudanças Climáticas são os mesmos utilizados no IPCC AR4 e AR5. Essas simulações e projeções foram geradas no período do INCT para Mudanças Climáticas, de 2009 a 2015, e foram elaboradas para subsidiar os estudos de impactos das mudanças climáticas no Brasil, e avaliar a vulnerabilidade em escala regional para propor medidas de adaptação às mudanças climáticas. O modelo regional Eta foi configurado inicialmente na resolução que varia de 40 km na horizontal e 38 níveis verticais, sobre uma área que cobre toda América do Sul, quando forçado com quatro membros do conjunto de integrações do modelo HadCM3 e um cenário de emissão A1B adotado no IPCC AR4. Em seguida, após receber algumas atualizações (Mesinger et al., 2012), o modelo Eta foi configurado na resolução de 20 km, cobrindo toda América do Sul, América Central e oceanos adjacentes, e foi forçado pelos modelos globais HadGEM2-ES e MIROC5, nos cenários de emissão RCP 4.5 e RCP 8.5, adotados pelo IPCC AR5. Esses resultados constituem a segunda e a terceira geração de cenários de clima futuros gerados usando versões aprimoradas do modelo regional Eta. Os cenários de mudanças climáticas foram escolhidos para dois níveis de emissão: RCP 4.5 (pressupõe um sistema em que medidas para redução de emissões são adotadas, assumindo-se a premissa de que o Brasil tomaria parte no esforço global de mitigação compatível com uma forçante radiativa de 4,5 W/m² em 2100) e RCP 8.5 (pressupõe um sistema em que não há preocupação explícita com mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), o que levaria o mundo a uma forçante radiativa de 8,5 W/m² em 2100). As projeções de extremos climáticos (por exemplo, secas, chuvas intensas, ondas de calor e de frio) também foram geradas para os períodos do presente e futuro, supondo o cenário A1B para emissão de gases de efeito estufa (nível intermediário) do modelo global HadCM3 e supondo os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 dos modelos globais HadGEM2-ES e MIROC5.

A primeira geração dos cenários de mudanças de clima foi produzida em 2007 no Brasil dentro do projeto PROBIO, usando o modelo global

atmosférico inglês HadAM3P do IPCC TAR e os modelos regionais Eta, PRECIS e RegCM3 (Marengo et al., 2009), para os cenários de emissão A2 e B2. As simulações do período de 1960 a 2005 e projeções até 2100 empregaram concentrações de CO₂ equivalente do clima atual e até 2100 no caso dos cenários SRES. Anos depois, uma segunda geração de cenários climáticos foi derivada, usando o modelo HadCM3 no cenário A1B com uma versão aprimorada do modelo Eta para a Segunda Comunicação Nacional do Brasil à UNFCC (MCTI, 2010). A terceira geração de cenários climáticos foi produzida em 2016 com o modelo regional Eta e os modelos do IPCC AR5 HadGEM2 ES e MIROC5 para os RCP 4.5 e 8.5, e serviram como base científica para os estudos do PNA, Brasil 2040 e as avaliações de impacto e vulnerabilidade da Terceira Comunicação Nacional do Brasil à UNFCC (MCTI, 2016). O estudo Brasil 2040, produzido pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE) teve como objetivo a geração de cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima no Brasil. Uma breve descrição dos modelos e dos cenários utilizados e da evolução das simulações e projeções de clima para América do Sul desde 2007 até o presente pode ser encontrada em Marengo et al. (2009, 2012), Chou et al. (2012; 2014a,b), SAE (2015) e MCTI (2016).

O foco do tema integrador é a geração de cenários detalhados em alta resolução de futuras mudanças climáticas na América do Sul, necessários para os estudos e análises de vulnerabilidade com estudos de impacto usados para definir políticas de adaptação. As projeções de extremos climáticos e as suas consequências (por exemplo, secas, chuvas intensas, enxurradas, deslizamentos de terra, ondas de calor e de frio). Essas projeções foram geradas para o período futuro de 2010-2100.

A estratégia do *downscaling* aparece na Figura 1. Também considera o desenvolvimento dos cenários futuros de clima desde os cenários usando o modelo HadCM3 do IPCC AR4 até os cenários derivados do *downscaling* do modelo Eta aninhado nos modelos HadGEM2-ES e MIROC5 do IPCC AR5, e no Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global (BESM) sendo desenvolvido pelo INPE em conjunto com centros de pesquisa do Brasil e do Hemisfério Sul. Porém, os resultados apresentados serão somente do modelo Eta aninhado nos modelos HadCM3, HadGEM2-ES e MIROC5.

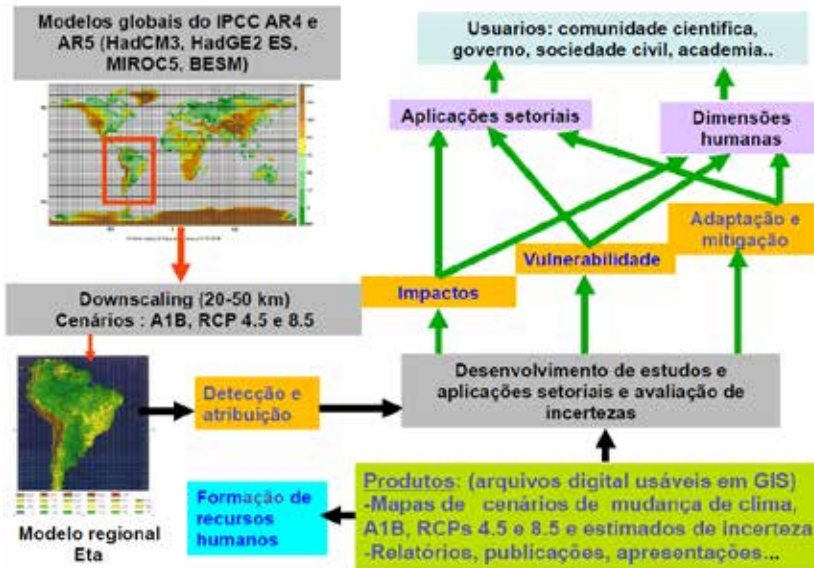


Figura 1 – Estratégia de *downscaling* dinâmico na geração de cenários futuros de clima do Tema Integrador Cenários climáticos para estudos de Impactos-Vulnerabilidade-Adaptação.

Modelagem Climática e *Downscaling* Dinâmico

O modelo regional Eta foi desenvolvido na Universidade de Belgrado (Mesinger et al., 1988), empregado operacionalmente pelo NCEP e, atualmente, é também usado operacionalmente pelo INPE para gerar previsões de tempo e clima. O modelo foi inicialmente modificado para realizar simulações em escala estendida (Chou et al., 2000) e, mais tarde, para previsão climática sazonal (Chou et al., 2005). As previsões climáticas sazonais do modelo regional Eta apresentam ganho de desempenho sobre o modelo global do CPTEC utilizado como condição de contorno lateral. Detalhes e outras características e atualizações podem ser encontradas em (Chou et al., 2005, 2012, 2014a; Mesinger et al., 2012).

O modelo Eta foi adaptado para realizar integrações de escala de décadas para estudos de cenários de mudanças climáticas (Pesquero et al., 2009). A avaliação das simulações do modelo Eta, na resolução de 40 km, aninhado ao modelo inglês HadCM3 sobre a América do Sul, mostrou boa capacidade do modelo em reproduzir o clima presente, no período de 1961-1990 (Chou et al., 2012). Os modelos globais HadGEM2-ES, MIROC5 e

HadCM3 são apresentados e discutidos em Chou et al. (2012, 2014a,b) e Lyra et al. (2017).

Essas projeções são usadas para avaliar impactos como consequência das mudanças climáticas usando metodologias e modelos de impactos, onde as variáveis de entrada são os cenários de clima para presente e futuro derivados dos modelos Eta-HadGEM2 ES e Eta-MIROC5. Em sua maioria, os estudos de impactos futuros, como aqueles analisados na Terceira Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC (MCTI, 2016) e Brasil 2040 (SAE, 2015), fazem uso de modelos de impactos que, tipicamente, produzem simulações matemático-computacionais de sistemas do mundo real, calibradas e validadas a partir de informações obtidas das observações. Entre as recentes aplicações dos cenários de clima futuro derivados do Eta-HadGEM2 ES e Eta-MIROC5, temos os estudos de impactos e vulnerabilidade das mudanças climáticas nos desastres naturais como secas, enchentes e deslizamentos de terra (Debortoli et al., 2017, Camarinha et al., 2017). Esses modelos de impacto utilizam, como dados de entrada, as projeções de modelos climáticos regionais.

A modelagem climática global é um campo de desenvolvimento complexo, caracterizado tanto pelo elevado número de variáveis naturais em processo de co-interação, quanto pela incerteza sobre o comportamento futuro de variáveis antrópicas, sendo a mais importante delas os níveis de gases de efeito estufa na atmosfera. A modelagem regional e de impactos padece das mesmas restrições. Nesse sentido, é importante expressar de forma clara e compreensível a incerteza associada à modelagem utilizada nesta descrição do Tema Integrador, a fim de que os resultados das simulações sejam vistos, compreendidos e utilizados na exata dimensão de sua capacidade preditiva. Em cada estudo temático são apresentados a metodologia, os resultados e as incertezas presentes nas simulações, comuns a pesquisas em áreas que se situam na fronteira do conhecimento.

Principais Atividades Desenvolvidas pelo Tema Integrador do INCT para Mudanças Climáticas desde o início do Projeto

Entre as atividades desenvolvidas no INCT para Mudanças Climáticas pelo subprojeto responsável pela geração de cenários de clima futuro, podemos mencionar:

- A. Análise de cenários globais climáticos dos modelos globais do IPCC AR4 e AR5 para a América do Sul e Brasil;
- B. Geração de projeções regionais de clima futuro derivadas do projeto da Segunda Comunicação do Brasil à UNFCCC, usando modelo regional Eta, cenário de emissão A1B, para 2010-2100, 40 km de resolução, aninhado a quatro membros de perturbação do modelo global HadCM3 do IPCC AR4 em 2011;
- C. Geração de projeções regionais de clima futuro derivadas do projeto da Terceira Comunicação do Brasil à UNFCCC, usando modelo regional Eta, cenários de emissão RCP 4.5 e RCP 8.5, para 2010-2100, 20 km de resolução, aninhado aos modelos globais HadGEM2-ES e MIROC5 do IPCC AR5 em 2014;
- D. Estudos das mudanças climáticas e os seus impactos na agricultura, geração de energia, saúde e migração, cidades e zonas costeiras e economia, que foram desenvolvidos em parceria com a EMBRAPA, UNICAMP, COPPE-UFRJ, FBDS, FIOCRUZ, CEDEPLAR-MG, USP, IG, ANA, SABESP, SAE, IPEA, P&D ANEEL-AES e outros, usando em alguns deles os cenários de clima futuro derivados do *downscaling* climático dos modelos do IPCC AR4 e AR5 gerados pelo INPE;
- E. Estudos dos impactos econômicos da mudança climática no Brasil e na América do Sul, realizados em conjunto com várias instituições do Brasil (projeto ECCB, com apoio do governo inglês e do Banco Mundial) e da América Latina (projeto RECCS, com apoio do governo inglês e do CEPAL);
- F. Estudos de extremos climáticos observados e projetados, com ênfase nas megacidades de São Paulo e Rio de Janeiro, com ênfase na possibilidade de ocorrência de desastres naturais de origem hidrometeorológica, que constituem quase 70% dos desastres naturais que causam mais vítimas no Brasil;
- G. Estudos de vulnerabilidade do Brasil aos desastres naturais de origem hidrometeorológica (secas, enchentes, deslizamentos de

terra) desenvolvidos no contexto do PNA e em colaboração com INPE, CEMADEN, WWF, e UFSC; e

- H. Estudos sobre redução e avaliação de riscos dos impactos das mudanças climáticas perigosas (aquecimento maior que 4°C) nos ecossistemas, agricultura, energia e saúde no Brasil.

As Figuras 2 e 3 mostram as projeções de clima para o Brasil derivadas da segunda geração de cenários (Marengo et al., 2012). Considerando as grandes bacias (Amazônia, São Francisco e Paraná), as projeções do Eta-HadCM3 mostram reduções da precipitação na Amazônia de até 19% e na bacia do rio São Francisco de até 35% em 2080, com um aquecimento regional maior de 2°C a partir de meados do século XXI (Figura 2). Também, as projeções mostram reduções de chuva na Amazônia e Nordeste e aumentos de chuva no Sul do Brasil até 2100, com aumentos nos períodos secos e seca no Nordeste e Amazônia, e chuvas intensas mais frequentes no Sudeste e Sul do Brasil. O futuro também aponta para climas mais quentes, com aquecimento de até 3°C no Sudeste, Nordeste e Sul e de até 6°C na Amazônia e Centro-Oeste (Figura 3).

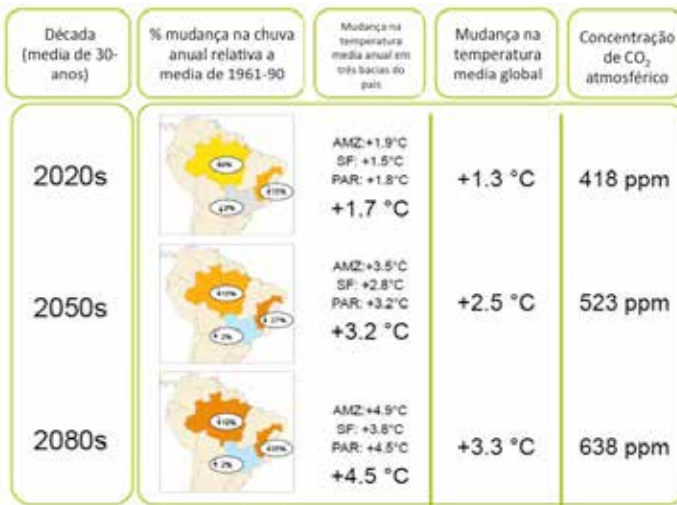


Figura 2 – Projeções de mudanças nos regimes de chuva e temperatura nas bacias do Rio Amazonas, São Francisco e Paraná para os períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 relativos a 1961-1990, associados com vários níveis de aquecimento e de conteúdo de CO₂ na atmosfera. O sentido das mudanças aparece com setas. Cenários foram gerados pelo modelo Eta-HadCM3 para o cenário de emissão A1B (Modificado de Marengo et al., 2012).

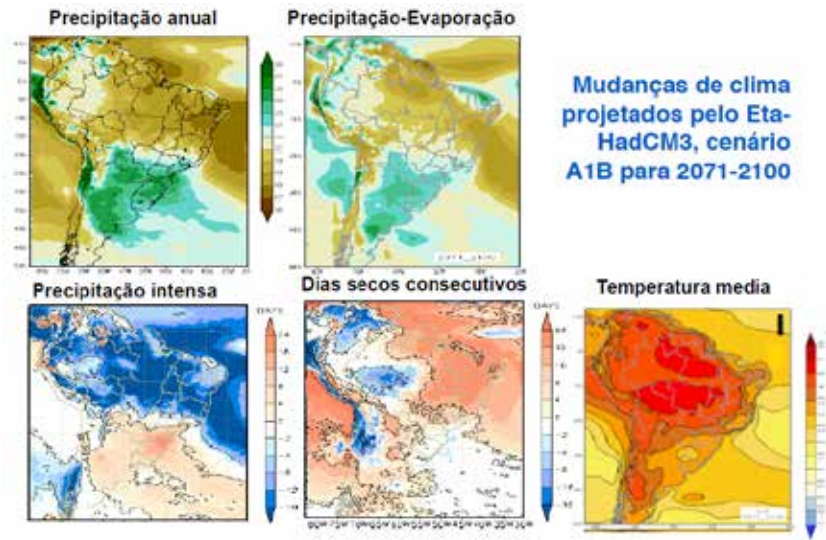


Figura 3 – Projeções de mudanças de chuva, precipitação- evaporação na escala anual, e dos índices de extremos chuva intensa e dias secos consecutivos para América do Sul, período 2071-2100 relativo a 1961-90. Cenários foram gerados pelo modelo Eta-HadCM3 para o cenário A1B (Modificado de Marengo et al., 2012).

As projeções mais recentes (Chou et al., 2014b), que utilizam cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 a partir da regionalização (*downscaling*) de dois modelos globais climáticos (HadGEM2-ES e MIROC5), apresentam concordância com as projeções regionalizadas anteriores, que utilizaram o cenário A1B. Por exemplo, o aquecimento em todo o continente, com máximo sobre Amazônia e Centro-Oeste. Por outro lado, esse máximo de aquecimento pode se estender ao Sudeste e alcançar até 8°C no final do século XXI (Figura 4a).

O uso de dois níveis de emissão, RCP 4.5 e RCP 8.5, e os dois modelos globais, resultam em quatro simulações que correspondem a quatro possibilidades de projeções de clima futuro. Para Segunda Comunicação Nacional, foram empregados quatro membros de perturbação do modelo HadCM3 com mesmo cenário de emissão, A1B. Essas simulações apresentaram pouco espalhamento. A estratégia de utilizar dois diferentes níveis de emissão e dois diferentes modelos climáticos globais capturou mais as incertezas das projeções e resultou em maior espalhamento. Esse espalhamento pode ser identificado tomando como exemplo o Distrito Federal. No período de 2011-2040, as projeções regionalizadas indicam aquecimento

desde 1°C até cerca de 3,5°C. Esse intervalo em que podem ocorrer as mudanças é ampliado nessa terceira geração de cenários climáticos regionalizados. Por outro lado, regiões com menor espalhamento e concordância dos resultados das quatro possibilidades indicam maior confiança no resultado. As projeções das chuvas (Figura 5) para o país, nos cenários de emissão RCPs, mostram concordância entre as realizações na tendência de aumento das chuvas na região Sul, de redução das chuvas no sul e leste da Amazônia, no Centro-Oeste e no Sudeste, no verão. Nessas projeções recentes, utilizando cenários RCPs e modelos globais e regional aprimorados, as regiões com tendência de reduzir as chuvas se estenderam sobre o Centro-Oeste e o Sudeste. Essas mudanças nas chuvas podem causar impactos econômicos importantes por ocorrer em região de geração de hidroenergia e de produção agrícola.

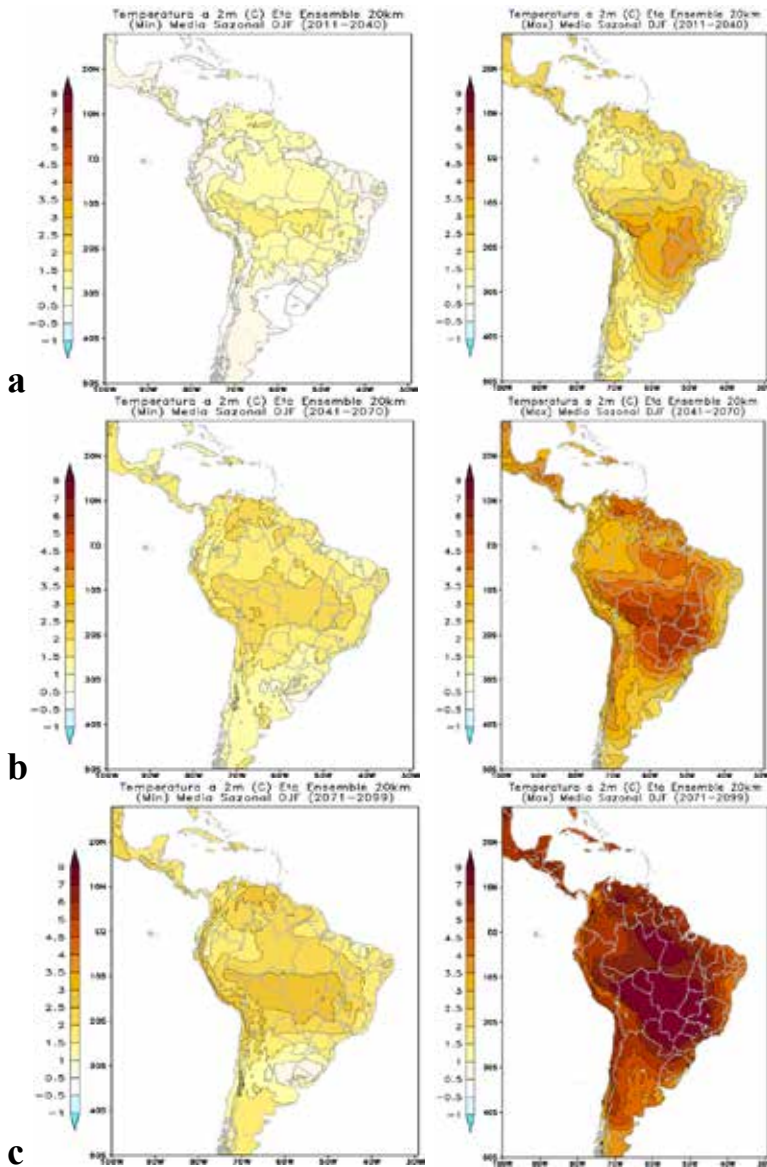


Figura 4 – Projeções regionalizadas de mudanças de temperatura a 2 metros (°C) entre os períodos futuros a) 2011-2040, b) 2041-2070, c) 2071-2100 e o período de referência 1961-1990. A coluna da esquerda se refere ao limite inferior das mudanças e a coluna da direita ao limite superior das mudanças de temperatura entre as quatro possibilidades derivadas da combinação de dois modelos globais, HadGEM2-ES e MIROC5, e dois níveis de emissão, RCP4.5 e RCP8.5. As projeções de mudanças na temperatura são médias para os meses de verão (Modificado de Chou et al., 2014b).

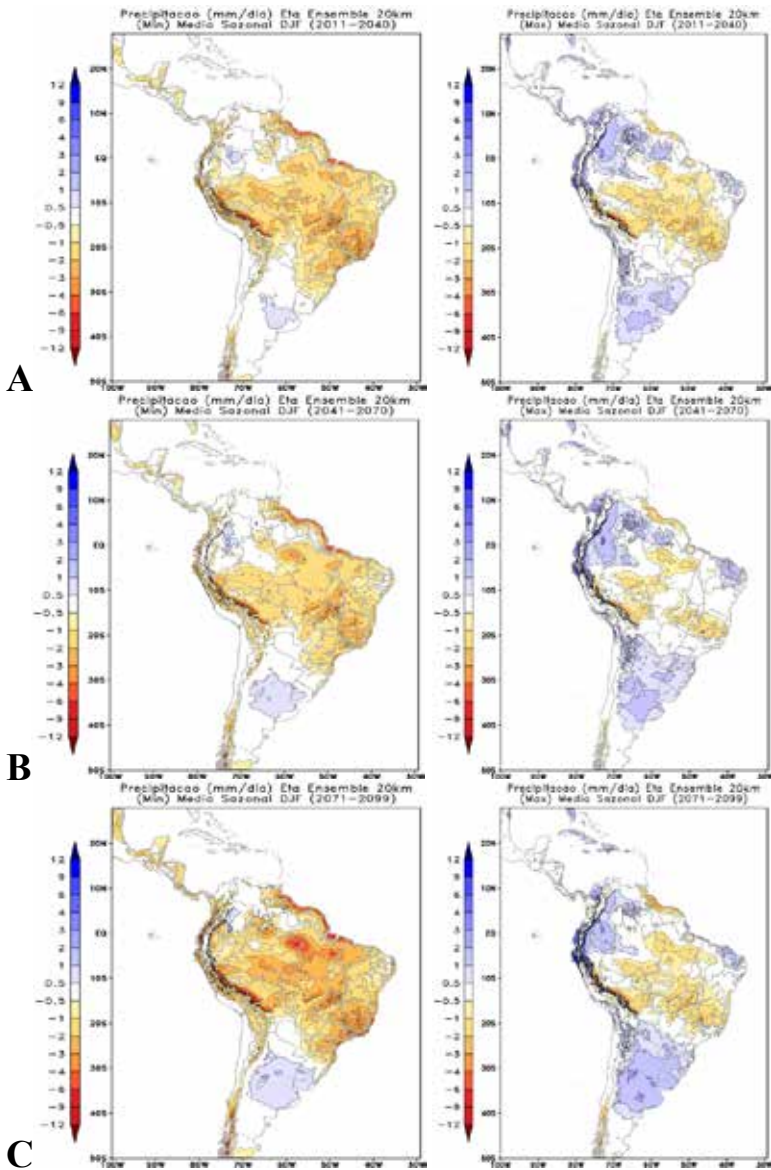


Figura 5 – Projeções de mudanças de precipitação (mm/dia) entre os períodos futuros a) 2011-2040, b) 2041-2070, c) 2071-2100 e o período de referência 1961-1990. A coluna da esquerda se refere ao limite inferior das mudanças e a coluna da direita ao limite superior das mudanças de precipitação entre as quatro possibilidades derivadas da combinação de dois modelos globais, HadGEM2-ES e MIROC5, e dois níveis de emissão, RCP 4.5 e RCP 8.5. As projeções de mudanças na precipitação são médias para os meses de verão. (Modificado de Chou et al., 2014b).

Contribuições do Tema Integrador Cenários Climáticos para Estudos de Impactos-Vulnerabilidade-Adaptação ao INCT para Mudanças Climáticas e à Ciência e Políticas Ambientais no Brasil

Os cenários de clima futuro para o Brasil gerados pelas pesquisas do INCT para Mudanças Climáticas têm fornecido subsídios científicos ambientais às discussões sobre o debate do Código Florestal, do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e de documentos nacionais como a Segunda e Terceira Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC e do Brasil 2040. No caso das cidades, têm sido de grande utilidade nos debates de extremos de chuva e enchentes nas megacidades brasileiras, como as regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro, e do risco e inundações costeiras em cidades litorâneas do Brasil (Nobre et al., 2010, PBMC, 2016).

A avaliação das projeções de extremos de chuva derivadas dos cenários futuros de clima produzidos pelos modelos regionais pode fazer parte do processo de avaliação de risco de desastres naturais extremos, e ser utilizada para determinar áreas vulneráveis e de risco, particularmente onde há ocupação. Pode ser usada ainda para identificar áreas vulneráveis e de risco (*hotspots*) a desastres naturais de origem hidrometeorológica (secas, enchentes e deslizamentos de terra), com uma resolução espacial de até 20 km e até 2100. Esses índices aplicados para secas, enxurradas, enchentes e deslizamentos de terra podem ser considerados como uma métrica para medir o grau de vulnerabilidade e o risco das comunidades urbanas e rurais do Brasil frente aos desastres naturais num clima mais extremo no futuro.

Os estudos de Debortoli et al. (2017) e Camarinha et al. (2017), baseados em simulações climáticas do Eta-HadGEM2 ES e Eta-MIROC5, indicam que o risco de ocorrência desses três tipos de desastre, ligados ao excesso ou à falta de água, deverá aumentar, até o final do século, na maioria das áreas hoje já afetadas por esses fenômenos. Eles também sinalizam que novos pontos do território nacional, em geral adjacentes às zonas atualmente atingidas por essas ocorrências, deverão se transformar em áreas de risco significativo para esses mesmos problemas. Os impactos tendem a ser maiores no futuro, com as mudanças climáticas, o crescimento das cidades e de sua população, e a ocupação de mais áreas de risco. A Figura 6 mostra uma expansão das secas e estiagens severas, hoje um problema de

calamidade pública quase sempre associado a localidades do Nordeste, mas que deverá se estender também no oeste e parte do leste da Amazônia, no Centro-Oeste, inclusive em torno de Brasília, em pontos dos estados do Sudeste e até no Sul.

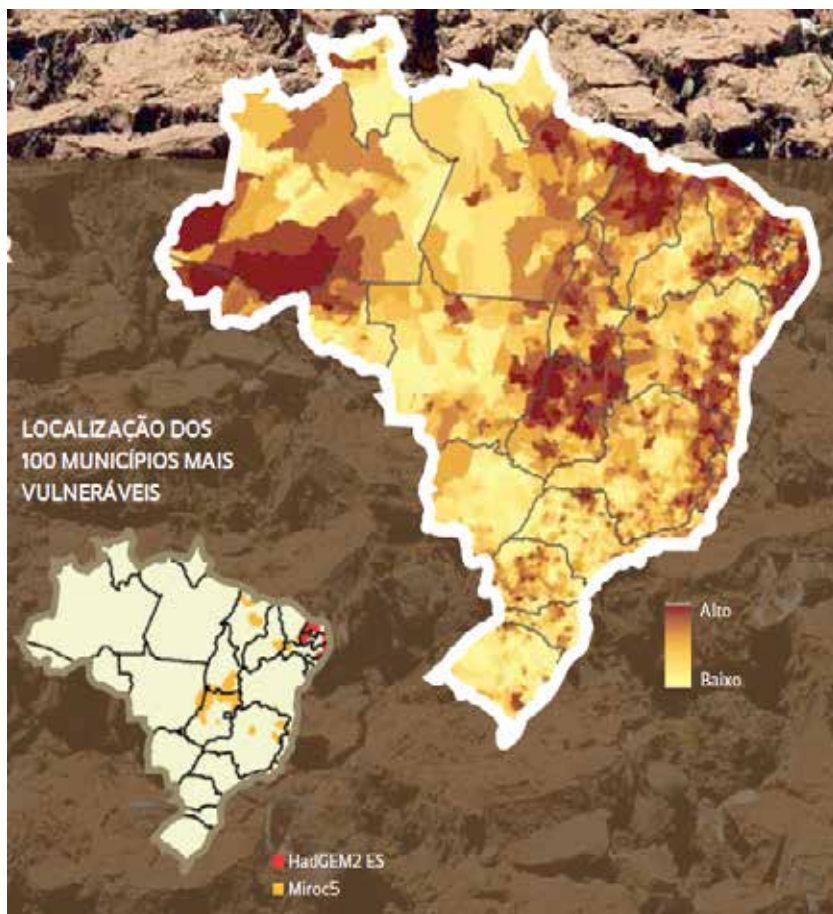


Figura 6 – Risco de ocorrer secas entre 2011 e 2040. Localização dos 100 municípios mais vulneráveis. As simulações de risco futuro de ocorrência de estiagens prolongadas foram feitas com o auxílio de dois modelos climáticos globais, o HadGEM2 ES e o MIROC5. O mapa maior é uma síntese dos resultados dos dois modelos. Para 80% do território nacional, as simulações do HadGEM2 ES e do MIROC5 coincidiram (Camarinha et al., 2017).

No caso de enchentes e enxurradas, a Figura 7 mostra que a vulnerabilidade a inundações e enxurradas tende a se elevar em 30% nos três estados do Sul, na porção meridional do Mato Grosso e em boa parte da

faixa litorânea do Nordeste, segundo um cenário projetado para 2100 pelas simulações climáticas. No estado de São Paulo, o mais populoso do país, a intensificação da ocorrência de enchentes-relâmpago, aquelas originadas após poucos minutos de chuvas torrenciais, deverá ser mais modesta, da ordem de 10%, mas ainda assim significativa. No Brasil central, a vulnerabilidade a enchentes deverá cair, até porque as projeções indicam menos chuvas (e mais secas) em boa parte da região.

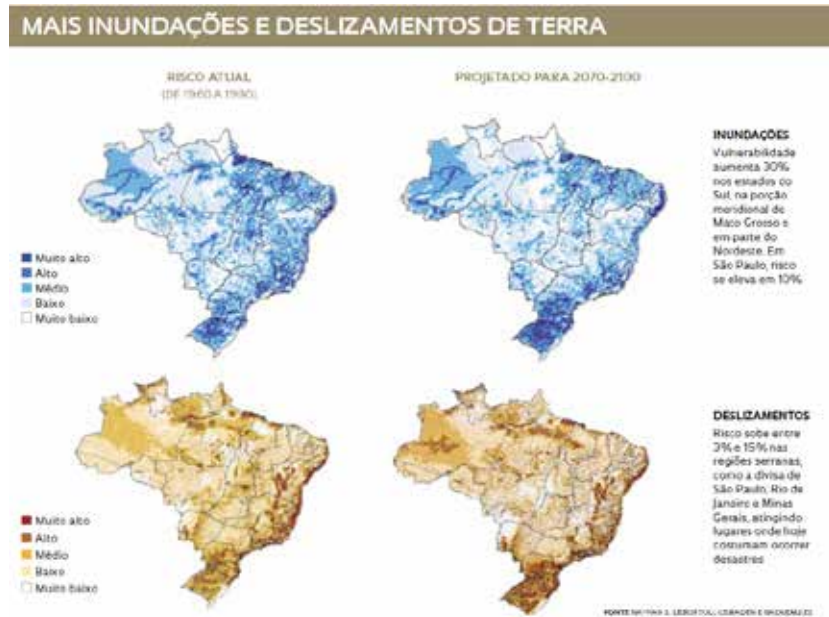


Figura 7 – Simulações de risco atual (1961-1990) e projeções de risco futuro (2070-2100) e projeções de risco de inundações e deslizamentos de terra no Brasil, derivados do modelo Eta-HasGEM2 ES (Debertoli et al., 2017).

A vulnerabilidade aos desastres naturais no Brasil se dá também por uma série de problemas de ordem socioeconômica, de uso do solo e devido à baixa capacidade de adaptação aos impactos das mudanças climáticas. Precisamos implementar com urgência políticas públicas nas regiões mais vulneráveis a secas inundações e deslizamentos de terra. A maior exposição às mudanças climáticas pode tornar a sobrevivência inviável em algumas regiões do país.

Em relação às políticas públicas, espera-se que este Tema Integrador subsidie a implementação do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do

Clima, que envolve vários setores socioeconômicos, assim como as políticas de gestão e redução de risco de desastres naturais definidas no Marco de Sendai. Os estudos de tendências observadas de extremos de chuva no Brasil e os cenários projetados de extremos no país pelos modelos climáticos sugerem uma intensificação dos extremos hidrometeorológicos em áreas rurais e urbanas, o que tende a deflagrar desastres naturais de origem hidrometeorológica, como enchentes, enxurradas e deslizamentos de terra. Esses eventos estão se tornando cada vez mais frequentes e intensos nos últimos anos, com consequências negativas para populações que vivem em áreas de risco. Um exemplo foi o evento da região serrana do estado do Rio de Janeiro, com cerca de 1.000 mortes. Isso levou o governo a tomar consciência do problema de extremos climáticos e impactos dos desastres naturais e a criar o CEMADEN em novembro de 2011.

As mudanças climáticas e os seus riscos associados precisam ser compreendidos pelos formuladores de políticas como uma questão de gestão de riscos. Minimizar os riscos significa influenciar de forma rígida e urgente a formulação de políticas que priorizem ações de adaptação e de mitigação na redução de emissões de gases de efeito estufa, como decidido na Conferência das Partes (COP 21) em Paris, em 2015. Avaliações de risco como consequência de um aquecimento global perigoso (acima de 4°C) começam a ser consideradas em setores como energia, agricultura, saúde e desastres naturais, e representam uma forma de pesquisar vulnerabilidade em áreas e setores sensíveis aos extremos da variabilidade de clima no presente, e que têm um risco maior devido às mudanças do clima.

Os objetivos iniciais do Tema Integrador (particularmente do subprojeto Cenários de Mudanças Climáticas para o Século XXI) do INCT para Mudanças Climáticas foram alcançados com sucesso, e seus resultados têm sido citados em estudos e artigos, particularmente o relatório do IPCC AR4 (IPCC, 2007a,b), de extremos (IPCC, 2012), do Grupo de Trabalho 1 e 2 do Quinto Relatório do IPCC AR5 (IPCC 2013, 2014) e do PBMC (PBMC, 2014). Entre os produtos gerados por este Tema Integrador do INCT para Mudanças Climáticas, temos a análise de cenários globais climáticos dos modelos globais do IPCC AR4 e AR5 para a América do Sul e Brasil; produção de várias gerações de cenários regionais de clima futuro e de extremos utilizados na Segunda e Terceira Comunicação Nacional à UNFCCC (MCT, 2010, MCTI, 2016).

A partir de 2014, juntamente com a Rede Clima e INCT para Mudanças Climáticas, o trabalho neste Tema Integrador serviu como base para a elaboração do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), gerenciado pelo MMA e MCTIC. A Figura 8 mostra as capas de vários estudos de avaliação de impactos das mudanças climáticas gerados com os cenários futuros de clima derivados deste Tema Integrador. Alguns deles foram produzidos por projetos nacionais, e outros, como aquele de economia das mudanças climáticas e sobre mudanças climáticas perigosas e limites de adaptação, foram fruto de colaboração internacional.

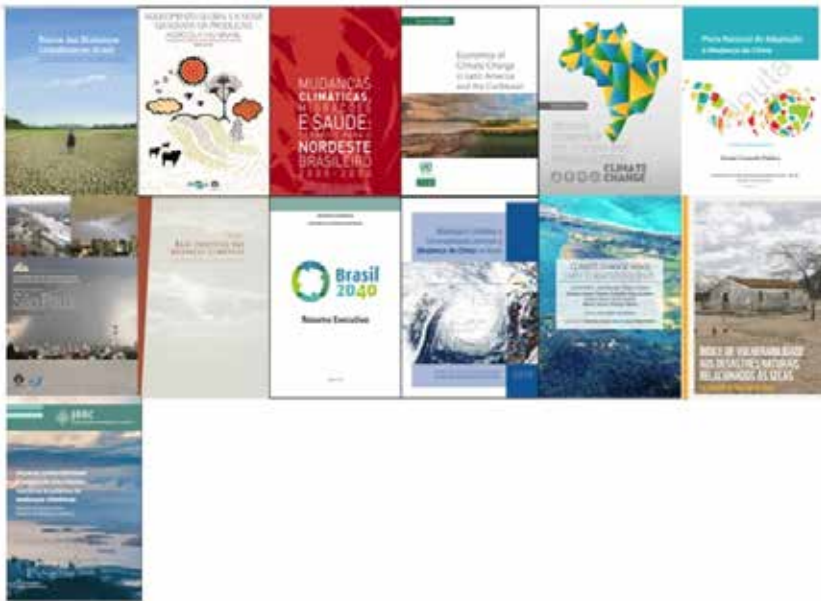


Figura 8 – Capas de relatórios nacionais e internacionais de estudos que utilizaram as projeções futuras de clima geradas pelo Tema Integrador do INCT para Mudanças Climáticas - Cenários climáticos para estudos de Impactos-Vulnerabilidade-Adaptação.

Considerações finais

As projeções de impactos das mudanças climáticas futuras no médio e curto prazo geradas pelo Tema Integrador aqui apresentado têm sido aplicadas para estudos em diversos setores da sociedade brasileira, com a principal finalidade de embasar a avaliação de impactos e vulnerabilidade e também na construção de estratégias de adaptação e na definição de

políticas de mitigação das emissões de gases de efeito estufa. As estimativas de impactos setoriais, sob os diversos cenários climáticos ou socioeconômicos, não tiveram o propósito de fornecer valores absolutos para as variáveis indicadoras dos impactos, mas sim de indicar tendências e ordens de magnitude dos impactos que pudessem orientar estratégias de adaptação. É nessa perspectiva que as estimativas de impacto são aceitáveis e valiosas e devem ser tomadas em consideração.

As estratégias de adaptação propostas em cada estudo setorial, pensadas considerando os diversos cenários climáticos e setoriais futuros, incluindo aqueles extremos, são o produto mais importante deste Tema Integrador. As estratégias são diretrizes que a sociedade brasileira deve seguir com o objetivo não só de minimizar os eventuais impactos negativos do clima futuro, mas também de aproveitar as oportunidades que surgirão. Oferecem uma singular oportunidade de reflexão sobre a contribuição da comunidade científica na gestão da nossa sociedade.

Estudos de planejamento estratégico derivados deste Tema Integrador devem necessariamente levar em conta cenários de ocorrência plausíveis, incluindo extremos. As estimativas e prognósticos decorrentes das simulações realizadas usando essas condições extremas devem ser - e foram - consideradas na construção das estratégias de adaptação que aparecem no PNA. Outros condicionantes setoriais, de difícil estimativa e quantificação, também embasaram as simulações de impacto. As estimativas resultantes, como já mencionado, são possibilidades que guiaram a construção das estratégias de adaptação e apontaram as tendências. Portanto, não são estimativas precisas dos impactos e não devem ser tomadas isoladamente como base para inferência e, principalmente, não devem ser usadas como previsão do futuro. É bom lembrar que, na comunidade climática, ainda há consenso de que, mesmo ante a incerteza relativa às projeções de clima, é preciso avançar em ações que aumentem a resiliência das estruturas que balizam a vida e a economia.

A identificação de lacunas de informação ou de métodos, de fontes de incerteza e limitações dos modelos, sejam climáticos ou de avaliação de impactos, propicia à comunidade técnica e científica um horizonte para novos estudos e para o aprofundamento das estratégias de adaptação à mudança do clima.

Referências

- Camarinha, P, Debortoli, N., Hirota, M. (2017) *Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima*, Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Integração Nacional, WWF-Brasil. – Brasília, DF: MMA, 2017, 125 p , ISBN: 978-85-7738-312-2
- Chou S. C., Nunes A. M. B., Cavalcanti I. F. A. (2000). Extended range forecasts over South America using the regional Eta model. *Journal of Geophysical Research*, v. 105, n. D8, p. 10147-10160.
- Chou S. C., Bustamante, J. F., Gomes J. L., 2005: Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America. *Nonlinear Process Geophys.*, 12, 537 - 555.
- Chou S. C., Marengo J. A., Lyra A. A., Sueiro G. et al. (2012). Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. *Clim Dyn* 38: 635–653
- Chou S. C., Lyra A., Mourao C., Dereczynski C. et al. (2014a). Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models. *Am J Clim Change* 3: 438–454
- Chou S. C., Lyra A., Mourao C., Dereczynski C. et al. (2014b). Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. *Am J Clim Change* 3: 512–525
- Debortoli, N., Camarinha, P, Marengo, J., Rodrigues, R (2017) An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change, *Nat Hazards*, DOI 10.1007/s11069-016-2705-2
- Flato, G., J. Marotzke, B. Abiodun, P. Braconnot, S. C. Chou, W. Collins, P. Cox, F. Driouech, S. Emori, V. Eyring, C. Forest, P. Gleckler, E. Guilyardi, C. Jakob, V. Kattsov, C. Reason, & M. Rummukainen. (2013). Evaluation of Climate Models. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. P 741–866. doi:10.1017/CBO9781107415324.020
- IPCC. (2007a). Climate change 2007: The physical Science basis. In: *Contribution of working group I to the assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 996 pp.
- IPCC. (2007b). Fourth Assessment Report (AR4). *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC. (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. *A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. *Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014. 1132 p.

Lyra, A., Tavares, P., Chou, S. C., Sueiro, G., Dereczynski, C., Sondermann, M., Silva, A., Marengo, J., Giarolla, A., (2017) Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution, *Theor Appl Climatol*, DOI 10.1007/s00704-017-2067-z

Magrin, G. O. et al. (2014). Central and South America. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 1499-1566.

Marengo, J. A., et al. (2009). Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *Int. J. Climatol.*, 29: 2241–2255. doi: 10.1002/joc.1863

Marengo J. A., Chou S. C., Kay G., Alves L. M. et al. (2012). Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTec/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins. *Clim Dyn* 38: 1829–1848

MCT. (2010.) Second national communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Technical Report, Brasília, Ministry of Science and Technology (MCT). General Coordination on Global Climate Change, 264 pp. Disponível em <http://www.mct.gov.br/upd-blob/0214/214078.pdf>.

MCTI. (2016). Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change – Executive Summary/ Ministry of Science, Technology and Innovation, General Coordination of Global Climate Change. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. 42 p.:

Mesinger F., Chou S. C., Gomes J. L., Dusan J. et al. (2012). An upgraded version of the Eta model. *Meteorol Atmos Phys* 116: 63–79

MMA. (2015). Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, Volume 1, Grupo Executivo do Comitê Interministerial de Mudança do Clima – GEx-CIM. Ministério do Meio Ambiente, Brasília 2015, DF, 325 pp.

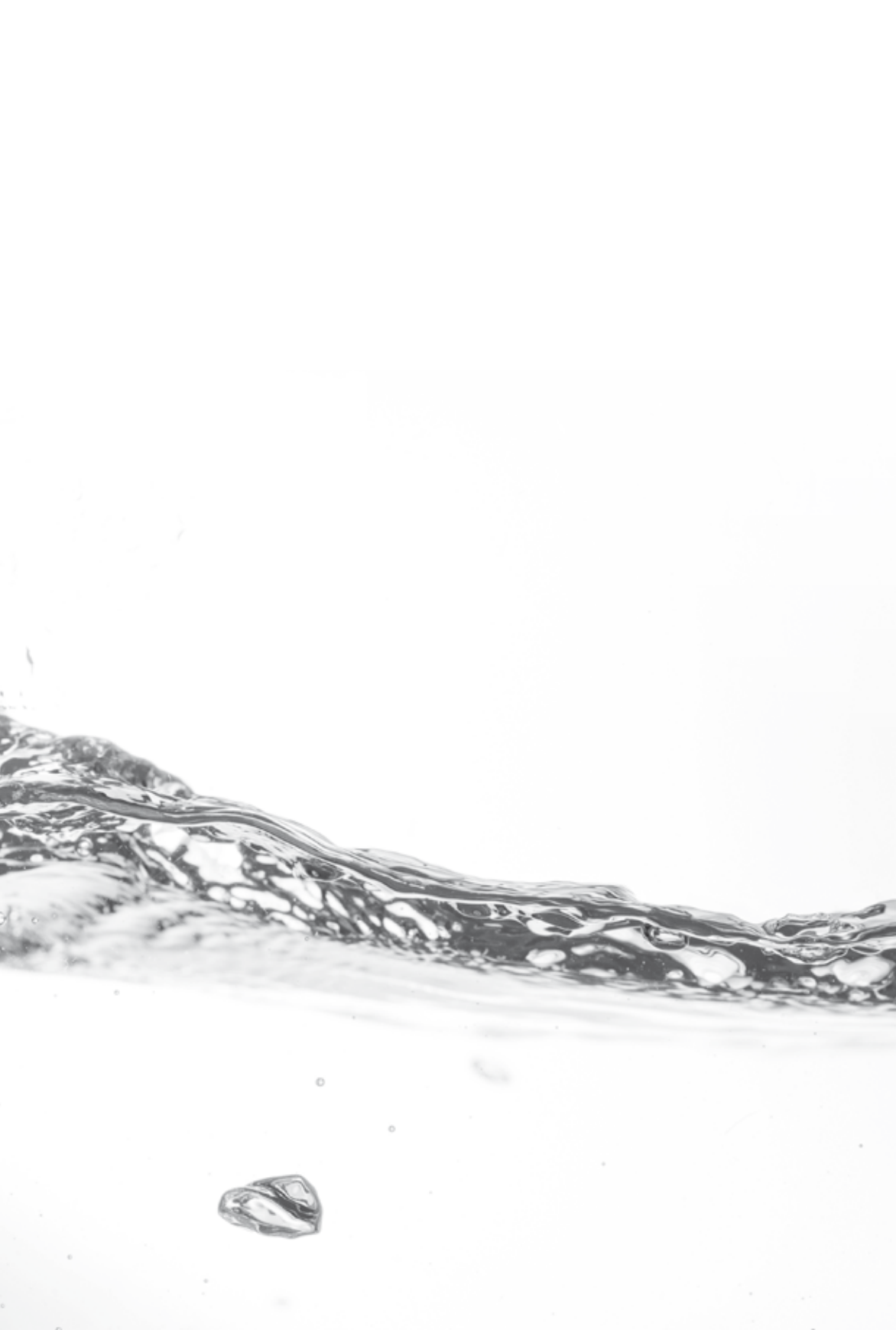
Nobre CA, Young AF, Saldiva P, Marengo, JA, Nobre AD, Ales Jr S, da Silva GCM, Lombardo M. (2010) Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. INPE/UNICAMP/USP/IPT/UNESP. Junho 2010, 31 pp

Pesquero J. F., Chou S. C., Nobre C. A., Marengo J. A. (2009). Climate downscaling over South America for 1961–1970 using the Eta Model. *Theor. Appl. Climatol.*, 99(1-2), 75-93, doi:10.1007/s00704-009-0123-z.

PBMC. (2014). Base científica das mudanças climáticas. *Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas* [Ambrizzi, T., Araújo, M. (Eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp.

PBMC, 2016. *Impacto, vulnerabilidade e adaptacao das cidades costeiras brasileiras as mudancas climaticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudancas Climaticas* [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.

SAE. (2015). BRASIL 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima, Presidência da República, Secretaria de Assuntos Estratégicos, Brasília 2015, 69 p.



**TRANSFERÊNCIA DE
CONHECIMENTOS
PARA A SOCIEDADE**



A Disseminação do Conhecimento como Instrumento de Cidadania: o caso do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas

Ana Paula Soares¹

Resumo

Este artigo apresenta uma experiência de construção coletiva de conhecimento dirigido à área educacional, desenvolvida no âmbito do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT). Ao incluir a “transferência de conhecimentos para a sociedade” como uma das cinco missões dos INCTs², o governo brasileiro deu uma dimensão inédita às ações e estratégias de divulgação e popularização da ciência no contexto da pesquisa e desenvolvimento no país. Essa mudança de paradigma no conteúdo de editais de financiamento resultou em uma forte interação entre pesquisadores e profissionais de comunicação e divulgação científica do INCT para Mudanças Climáticas. Isso possibilitou a propagação dos resultados científicos do projeto para um amplo espectro de *stakeholders*, para além das fronteiras da comunidade acadêmica. As ações de transferência de conhecimento para a sociedade também tiveram como objetivo contribuir para fomentar o desenvolvimento de uma cultura científica no país. O aprimoramento dessa iniciativa passa pela ampliação e diversificação dos atores envolvidos no processo

1 Universidade Estadual de Campinas e Rede Clima

2 Em seu primeiro edital, lançado em 2008, o programa dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs) financiou, com recursos do CNPq e das fundações de amparo à pesquisa, 123 centros de pesquisa em 11 estados brasileiros, com o objetivo de mobilizar e agregar os melhores grupos de pesquisa científica e tecnológica voltados ao desenvolvimento sustentável. O segundo edital, lançado em 2014, contemplou 252 projetos de INCTs.

de construção do conhecimento, abarcando as diferentes percepções, não só do tema a ser divulgado, como das formas e estratégias de sua divulgação.

Introdução

A chamada do programa dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia, criado pela Portaria MCT n.º 429 de 2008 e reeditado pela Portaria MCTI n.º 577 de 2014, ampliou o escopo dos recursos alocados pelo governo federal em ciência e tecnologia, estabelecendo, além dos requisitos tradicionais – Pesquisa, Formação de Recursos Humanos e Internacionalização –, outras duas missões para os projetos a serem apoiados: Transferência de Conhecimentos para o Setor Privado e/ou Setor Público e Transferência de Conhecimentos para a Sociedade. A inserção da disseminação do conhecimento como missão dos INCTs deu às ações e políticas de divulgação e popularização da ciência uma dimensão inédita, fomentando o desenvolvimento de uma cultura científica no país.

No detalhamento do item “Transferência de Conhecimentos para a Sociedade”, o edital determina que a divulgação seja caracterizada pela utilização de outros instrumentos, além da publicação científica: “O Instituto deve ter um programa bem estruturado de educação em ciência e difusão de conhecimento, conduzido por seus pesquisadores e pelos bolsistas a ele vinculados, focalizado preferencialmente na educação científica da população em geral, por meio de acordo com as redes de ensino das localidades onde se situam os grupos participantes do Instituto” (CNPq, 2014).

Atendendo a essa recomendação, o INCT para Mudanças Climáticas manteve, durante cinco anos, uma equipe de três bolsistas alocados na Secretaria Executiva do projeto, para o desenvolvimento de atividades de divulgação científica e popularização da ciência (uma jornalista com especialização em jornalismo científico, uma profissional de propaganda e marketing e um biólogo com doutorado).

O trabalho dessa equipe resultou em 12 participações do INCT para Mudanças Climáticas em eventos de popularização da ciência (dentre estes, quatro edições da Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) e quatro da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia); dez cartilhas educacionais (formatos impresso e digital); dois CD-ROM interativos; um desenho animado educacional; um quiz educacional interativo; 12 vídeos educacionais; e um portal na Internet para reunir os

produtos gerados, conforme será detalhado adiante. Na área de divulgação de resultados científicos, foram organizados cinco relatórios de atividades do INCT para Mudanças Climáticas.

A internalização da importância da Comunicação Pública da Ciência

A inclusão da transferência de conhecimento para a sociedade dentre as missões dos INCTs alinha-se às diretrizes das políticas nacionais de ciência, tecnologia e inovação que vêm sendo estabelecidas desde a 2ª Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (CNCT&I), realizada em 2001. O Livro Branco, que traz os resultados dessa conferência, já orientava, em sua diretriz estratégica VII: “Educar para a sociedade do conhecimento” (Brasil, 2002).

O relatório da 3ª CNCT&I, por sua vez, dedica seu Capítulo 2 à Inclusão Social, recomendando, dentre outras medidas, “valorizar a contribuição nacional em ciência e tecnologia para o desenvolvimento econômico e social da nação, tanto quanto para o enriquecimento do patrimônio cultural do país e o atendimento da necessidade intrínseca de toda pessoa para alcançar a plenitude de suas potencialidades humanas” (Brasil, 2006). Para tanto, propõe: o incentivo a iniciativas de fomento e apoio à divulgação científica; o estabelecimento de um Plano Nacional de Divulgação e Popularização da Ciência; o estímulo à produção de livros organizados a partir de um enfoque interdisciplinar do conhecimento científico; e o incentivo à divulgação de casos exemplares de conquistas brasileiras que contribuíram para o desenvolvimento científico e tecnológico, executadas aqui e no exterior (Brasil, 2006).

No Livro Azul, que traz as recomendações da 4ª CNCT&I, realizada em 2010, o tema se mantém em destaque. As recomendações relativas ao desenvolvimento social detalham cinco grandes temas: i) Estabelecimento e execução do Programa Nacional de Popularização e Apropriação Social da CT&I 2011-2022, envolvendo universidades e instituições de pesquisa, organismos governamentais e da sociedade civil; ii) Formulação e implantação de um Programa Nacional de Inovação e Tecnologia Social, com apoio a pesquisas e projetos, promovendo o envolvimento da sociedade civil organizada na sua elaboração, execução, monitoramento e avaliação; iii) Estabelecimento de políticas e programas específicos para a difusão, apropriação e uso da CT&I para o desenvolvimento local e regional e para estimular empreendimentos

solidários; iv) Estabelecimento de políticas públicas de CT&I voltadas para a democratização e a cidadania, com ênfase em ações para a inclusão digital; e v) Formulação e execução de uma política pública e programas nacionais para a recuperação, preservação, valorização e acesso público ao patrimônio científico, tecnológico e cultural brasileiro (Davidovich, 2011).

Uma comunicação eficiente da ciência produzida no país é instrumento de cidadania, na medida em que não só coloca a sociedade a par da destinação dos recursos públicos investidos em C&T, como também a torna partícipe dos processos decisórios na área, principalmente em situações que envolvam riscos e conflitos de interesse. Nesse contexto, Duarte (2009) chama a atenção para a importância de garantir à sociedade a participação no encaminhamento das discussões e decisões, sendo isso possível por meio da comunicação e da educação. Transferir o foco da comunicação, do atendimento dos interesses das instituições e de seus gestores para o cidadão, é um dos princípios básicos da Comunicação Pública, que deve contemplar ainda o compromisso em privilegiar o interesse público em relação ao interesse individual ou corporativo; o tratamento da comunicação como um processo mais amplo do que informação; e a adaptação dos instrumentos às necessidades, possibilidades e interesses dos públicos (Duarte, 2009).

Mesmo sendo considerado um conceito ainda em construção, o termo Comunicação Pública ganha visibilidade na medida em que é percebido como um agente catalisador da transparência nas esferas governamentais e privadas e do direito do cidadão de se informar e de ser informado sobre tudo o que for de interesse público, favorecendo o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a democratização da informação e estimulando o pluralismo (Kucinski, 2009).

Popularização da Ciência como critério complementar para aprovação de projetos

Em 2012, durante a 64ª Reunião Anual da SBPC, realizada em São Luís (MA), o CNPq apresentou a nova versão de seu portal na Internet. Algumas importantes alterações vieram ao encontro das recomendações das duas últimas conferências nacionais de CT&I na área de desenvolvimento social. A página principal do portal³ passou a exibir a aba Popularização da Ciência em seu menu principal.

3 Disponível em <www.cnpq.br>. Acesso em 04/07/2017

Outra mudança de suma importância foi a inclusão, na Plataforma Lattes⁴, da possibilidade de o pesquisador registrar atividades de inovação, projetos desenvolvidos em parceria com empresas e órgãos públicos, patentes e registros e ações de popularização da ciência. Essas experiências profissionais não eram consideradas nos processos de avaliação de pedidos de bolsa e nas chamadas para apoio a projetos. As avaliações dos currículos levavam em conta somente a produção acadêmica dos pesquisadores.

Com a introdução dessas novas funções, os critérios de avaliação de projetos do CNPq passaram a considerar a contribuição científica, tecnológica e de inovação (incluindo patentes), a inserção internacional da pesquisa e a contribuição em Educação e Popularização da Ciência, além do mérito científico e da relevância, originalidade e repercussão da produção científica (Soares, 2015).

Comunicação Pública e Comunicação Científica

Dois fatores principais identificam a Comunicação Científica com a Comunicação Pública (Brandão, 2009). O primeiro está ligado a um processo construído e mantido pelo Estado, visando ao desenvolvimento do país e da população. Destaca-se aqui a Comunicação Científica nas áreas da agricultura e da saúde, que teve papel fundamental no desenvolvimento e na melhoria da qualidade de vida do homem do campo e das populações necessitadas. O segundo fator refere-se às razões pelas quais as instituições de pesquisa foram chamadas a divulgar o resultado de seus trabalhos para outros públicos, além de seus pares. Além da preocupação com o papel social da ciência na sociedade, Brandão (2009) destaca o aumento da competitividade no ambiente de pesquisa, os investimentos de recursos financeiros, de tempo e em capacitação dos pesquisadores, o reconhecimento de que o exercício pleno da cidadania passa pelo acesso às informações de ciência e tecnologia, a necessidade de registrar a posição da ciência nas decisões políticas e econômicas do país e, por conseguinte, a necessidade de “legitimação perante a sociedade”, por meio da conquista do interesse da opinião pública, dos políticos, da sociedade organizada e da mídia.

4 Plataforma do CNPq que integra as bases de dados de currículos, grupos de pesquisa e instituições, em um único sistema de informações, das áreas de Ciência e Tecnologia, atuando no Brasil. Foi criada para facilitar as ações de planejamento, gestão e operacionalização do fomento à pesquisa, tanto do CNPq quanto de outras agências de fomento e de instituições de ensino e pesquisa.

Desde o início deste século, a ciência tem sido acionada pelo Estado com uma intensidade e uma abrangência ímpares, para subsidiar a tomada de decisões a respeito de temas que influenciam diretamente a vida do cidadão. Os impactos das mudanças climáticas provocadas pela ação do homem no meio ambiente são um dos maiores exemplos dessa demanda por interação ciência-políticas públicas.

Há que se ressaltar que, nas citadas áreas de agricultura e da saúde, a estreita relação da ciência com o cotidiano das pessoas facilita enormemente a percepção da sociedade quanto à importância dessa interação. Essa maturidade possibilita um diálogo mais amplo e democrático, na medida em que os públicos de interesse, de maneira geral, estão aptos a opinar e a interferir no processo e nas decisões sobre temas que os afetam. A legislação sobre os transgênicos, a lei antitabaco e a liberação do uso da maconha para fins medicinais são alguns exemplos de questões que foram alvo de amplo debate recentemente no país.

Áreas como a espacial, ou mesmo a tão propagada ciência ambiental, por sua vez, ainda não são percebidas da mesma forma pela sociedade, embora estejam tão presentes no nosso dia-a-dia como os alimentos produzidos pela agricultura ou os medicamentos que ingerimos. Sem Ciência e Tecnologia Espacial, por exemplo, não haveria transmissões de televisão, Internet ou celular. Sem Ciência Ambiental não poderíamos traçar cenários sobre as mudanças no regime de chuvas que tantos transtornos têm causado, seja pelas enchentes e inundações, seja pela seca.

Resultados da mais recente pesquisa sobre Percepção Pública de C&T no Brasil, divulgada pelo então Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação em 2015, revelam que o grau de preocupação com questões nas quais a C&T está envolvida é diretamente proporcional ao índice de pessoas que demonstram maior interesse por ciência e tecnologia e que têm maior consumo de informação científica e tecnológica (Brasil, 2015). Segundo o levantamento, em uma escala de 0 a 10, o maior grau de preocupação surge com o Desmatamento da Amazônia, com índice 9,2, seguido por Efeitos das mudanças climáticas e do aquecimento global (9), Uso de pesticidas na agricultura (8,4), Uso da energia nuclear (8,1) e Plantas transgênicas ou comida com ingredientes transgênicos como possíveis causadoras de doenças (7,9).

Para colocar os *stakeholders* no centro das discussões sobre uma gama maior de temas na área de C&T, é necessário desenvolver e consolidar uma cultura científica que os inclua no processo de forma consistente e efetiva.

A cultura científica entendida por Vogt (2003) subdivide-se em quatro quadrantes de uma espiral científica (Figura 1). Considerando a Comunicação Pública como “espaço plural para a intervenção do cidadão no debate das questões de interesse público” (Matos, 2009), o INCT para Mudanças Climáticas procurou atuar e desenvolver ações para atender aos quatro itens dessa espiral. No quadrante I (Produção e difusão de ciência), destacam-se as mais de 1.000 publicações geradas no âmbito do programa, entre artigos em periódicos nacionais e internacionais, livros e capítulos de livros. No quadrante II (Ensino de ciência e formação de cientistas), inserem-se os esforços de formação de recursos humanos - foram concluídos 332 mestradados, 230 doutorados e 104 pós-doutorados, além de 152 iniciações científicas. No quadrante III (Ensino para a ciência), estão incluídas as atividades e produtos educacionais. No quadrante IV (Divulgação científica) houve um esforço conjunto do INCT para Mudanças Climáticas e as instituições apoiadoras e parceiras, para a interação com os meios de comunicação.



Figura 1 – Espiral da Cultura Científica (Vogt, 2003)

As ações no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas

A seguir são detalhados alguns produtos e iniciativas de divulgação científica e popularização da ciência no período de vigência do INCT para Mudanças Climáticas.

Relatórios de Atividades

O projeto gráfico e editorial dos relatórios de atividades do INCT para Mudanças Climáticas buscou apresentar de forma clara e objetiva o cumprimento das missões do programa pelos seus 26 subprojetos temáticos. Os resultados científicos receberam um tratamento de linguagem de forma a atender ao público não especializado, principalmente cientistas de outras áreas do conhecimento, meios de comunicação, tomadores de decisão e formuladores de políticas públicas.

A estrutura de divulgação de resultados científicos dos quatro relatórios parciais contemplou os seguintes tópicos, para cada um dos 26 subprojetos do INCT para Mudanças Climáticas: Introdução; Destaques Científicos; Formação de Recursos Humanos; Interface Ciência-Políticas públicas; Principais Eventos no período; Publicações Seleccionadas. Cada seção também trouxe informações sobre os financiamentos adicionais eventualmente recebidos pelo subprojeto; instituições participantes da pesquisa; e nomes e contatos dos coordenadores (Figura 2). O quinto relatório de atividades consolidou os resultados de toda a vigência do projeto.

Atendendo a solicitação do CNPq, o primeiro Relatório do INCT para Mudanças Climáticas (2009-2010) foi produzido em duas versões - inglês e português -, iniciativa que permitiu a disseminação das pesquisas do projeto em âmbito internacional. A partir de 2011, entretanto, essa exigência feita aos INCTs não foi mantida.

Os relatórios foram publicados em versões impressa – com distribuição aos membros do projeto e formuladores de políticas públicas - e digital, disponível nos sites do INCT para Mudanças Climáticas (<http://inct.ccst.inpe.br>) e da Rede Clima (<http://redeclima.ccst.inpe.br>).

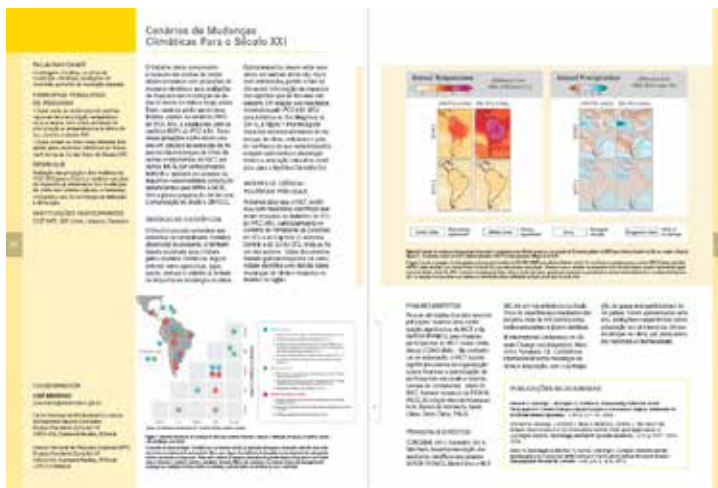


Figura 2 – Exemplo de seção dos relatórios de atividades do INCT para Mudanças Climáticas: subprojeto Cenários de Mudanças Climáticas para o Século XXI



Figura 3 – Capas dos relatórios de atividades; o primeiro, de 2009-2010, foi produzido em versões inglês e português

Cartilhas educacionais

Durante o período de vigência do INCT para Mudanças Climáticas, foram produzidas dez cartilhas educacionais temáticas dirigidas a jovens de 10 a 14 anos e estudantes de ensino médio. As publicações, em formato impresso e digital, foram ilustradas pelo cartunista Jean Galvão, da Folha de S. Paulo.

O projeto editorial das cartilhas temáticas de popularização da ciência observou duas premissas básicas: 1) apresentar conhecimento científico de fronteira, geralmente inédito em seu formato de apresentação e linguagem, dirigido a público amplo; 2) evitar repetir abordagens já excessivamente exploradas pela indústria cultural e a comunicação de massa. Nesse sentido, optou-se por não criar “mascotes” ou “super-heróis”. Os personagens das cartilhas são gente comum, pessoas que poderiam ser nossos parentes ou vizinhos, o que permite ao ilustrador explorar as múltiplas faces e culturas do brasileiro.

Os pressupostos acima exigem um grande esforço por parte dos profissionais de divulgação científica, na medida em que cada título se constitui em um processo novo de elaboração e adequação de linguagem, e de encontrar a medida certa do discurso, que não pode ser excessivamente técnico, nem simplista a ponto de omitir do leitor a relevância da pesquisa. Os textos foram elaborados a partir de fontes primárias e secundárias, com o apoio e a supervisão dos pesquisadores especialistas nos assuntos abordados.

A participação do ilustrador tem início com o texto final já elaborado e, geralmente, inserido nas páginas do livreto, em formato de gibi. Como não se trata simplesmente de “ilustrar o texto”, depois de ler o conteúdo da cartilha, Jean realiza sua própria pesquisa sobre o tema, buscando subsídios para as cenas que já tem em mente retratar. O desafio aqui é inserir um toque de humor em assuntos complexos e quase sempre pouco familiares à maioria dos leitores, ou mesmo ao próprio autor da ilustração. Diferentemente da charge política, que pressupõe uma intertextualidade e contextualização por parte do leitor, a ilustração para a divulgação de ciência precisa informar e formar.

A postura de oferecer ao leitor não especializado o mesmo aspecto inovador e precisão de informações que o cientista espera encontrar em um artigo acadêmico se torna bastante desafiadora quando se trata de mudanças climáticas – uma área ainda tão recente e pouco explorada pela ciência, em comparação às áreas tradicionais de pesquisa.

Nas dez cartilhas desenvolvidas dentro dessa temática, foram abordados conceitos como o efeito estufa (em 2009, quando o significado do termo ainda era pouco conhecido pelo público amplo) (Figura 4), a pegada ecológica (Figura 5), os rios voadores e a agricultura de baixo carbono. Ao retratar esses conceitos em cenas do cotidiano, as ilustrações conseguem trazer o leitor para o texto e o assunto abordado. A representação da pegada ecológica, por exemplo, que mostra uma mãe empurrando um carrinho cheio de compras ao redor da Terra, deixando “pegadas” por onde passa, traduz o termo com simplicidade ímpar.

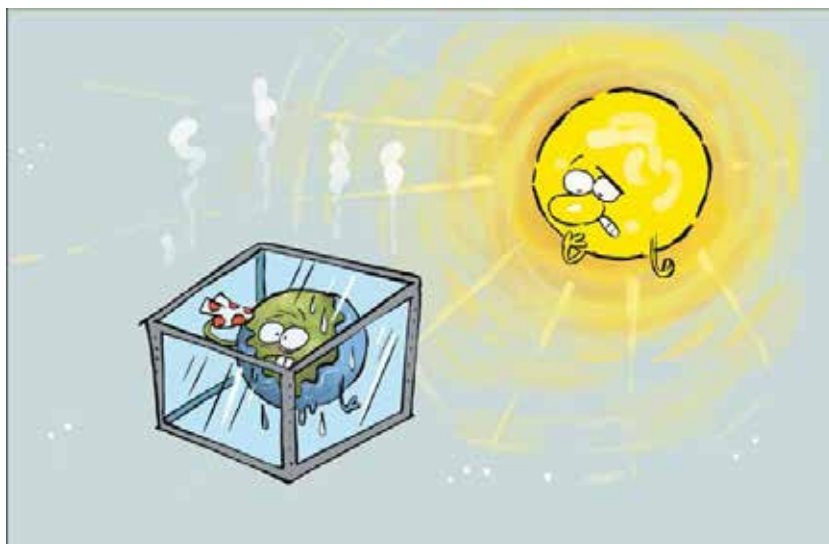


Figura 4 – Ilustração sobre o efeito estufa, de autoria de Jean Galvão

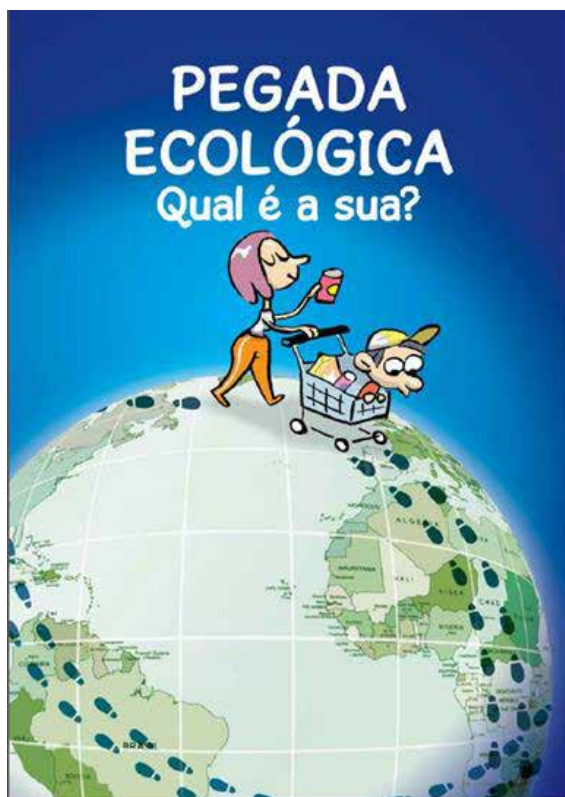


Figura 5 – Capa da cartilha sobre Pegada Ecológica – ilustração de Jean Galvão

A escolha do suporte a ser utilizado na divulgação científica é bastante relevante e transcende o aspecto das características e particularidades de cada um (forma, conteúdo, linguagem), principalmente no Brasil, em função de sua diversidade cultural e da profunda desigualdade socioeconômica. É preciso atrair a atenção do jovem familiarizado e habituado à leitura em computadores, tablets e smartphones, sem esquecer aquele que sequer tem acesso à energia elétrica. Nesse caso, o material impresso se torna mais adequado, desde que concebido em formato, tamanho e linguagem que não intimidem o leitor, o que se constituiria em um “ruído” na comunicação.

As cartilhas foram publicadas em versões impressa (média de 5 mil exemplares de cada tema - distribuídas em escolas, visitantes do INPE e eventos de popularização da ciência – e digital, disponível nos sites do INCT para Mudanças Climáticas (<http://inct.ccst.inpe.br>) e da Rede Clima (<http://redeclima.ccst.inpe.br>). A versão digital da cartilha “*Mudanças*

climáticas – o clima está diferente: o que muda na nossa vida?”, a primeira a ser publicada, em 2010, contabilizava, 56,3 mil visualizações em julho de 2017. A primeira edição dessa cartilha apresentava cenários de mudanças climáticas para o Brasil, com base nos cenários elaborados pelo Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC AR4). A segunda edição, lançada em 2014, já trazia as projeções baseadas nos novos cenários do Quinto Relatório de Avaliação (IPCC AR5).

A cartilha “*O futuro que queremos*”, elaborada especialmente para a Conferência Internacional Rio+20, realizada em 2012, foi disponibilizada também em inglês (versão digital), e teve repercussão internacional, conforme será detalhado adiante.

Tabela1 – Cartilhas educacionais temáticas elaboradas pelo INCT para Mudanças Climáticas

Título	Ano
Mudanças climáticas – o clima está diferente: O que muda na nossa vida?”	2010 e 2014 (2ª edição)
O futuro que queremos	2012
The future we all want (somente digital)	2012
Pegada ecológica – qual é a sua?	2012
Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas	2012
Novo clima, novo ambiente – Por que é importante conservar a biodiversidade	2015
Novo clima, novo ambiente – A vida nas cidades	2015
Novo clima, novo ambiente – Água limpa para todos	2015
Novo clima, novo ambiente – Energia renovável e limpa	2015
Novo clima, novo ambiente – A produção de alimentos	2015
Novo clima, novo ambiente – A saúde das pessoas	2015



Figura 6 – Cartilhas ilustradas sobre temas transversais objetos de pesquisa do INCT para Mudanças Climáticas, dirigidas ao público infanto-juvenil (Ilustrações de Jean Galvão)

Desenho animado

Visando ampliar ao máximo o espectro do público atingido pela comunicação pública das mudanças climáticas, a cartilha “*O futuro que queremos*”, desenvolvida sob a temática da conferência internacional Rio+20, realizada em 2012 no Rio de Janeiro, foi adaptada para o formato de desenho animado⁵ (Figura 6). Aqui os cartuns ganham movimento e narração de áudio, facilitando o acesso às crianças que ainda não sabem ler. O desenho animado também pode ser exibido em palestras e exposições de popularização da ciência, complementando a ação de distribuir as cartilhas impressas nessas ocasiões, ou mesmo as versões digitais disponíveis na Internet.

5 Disponível em <https://youtu.be/dr5dueiANhl>

Em julho de 2017, o canal do INPE no YouTube contabilizava mais de 235 mil visualizações do desenho animado “*O futuro que queremos*”.



Figura 6 – Imagem do desenho animado *O futuro que queremos*, produzido por ocasião da Conferência Internacional Rio+20, em 2012 (Ilustração de Jean Galvão)

Mídias interativas

Em parceria com o Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do INPE, o INCT para Mudanças Climáticas e a Rede Clima desenvolveram dois CD-ROMs interativos, também adaptados para o formato de vídeo: 1) “*Mudanças Climáticas*”, utilizando o conteúdo da cartilha de mesmo tema, e 2) “*Carbono e Vida*”, sobre o ciclo de carbono. Os vídeos estão disponíveis em <http://inct.ccst.inpe.br>.

Por ocasião da Semana Nacional de C&T 2012, foi produzido o quiz interativo “*Pegada Ecológica – qual é a sua?*”. Para esse material, a equipe de Comunicação do INCT para Mudanças Climáticas desenvolveu uma versão simplificada, para fins didáticos, do teste da pegada ecológica. Respondendo a perguntas simples, como a frequência com que ingere carne vermelha, ou o meio de transporte que mais utiliza para se locomover, o estudante consegue estimar a sua pegada. Conforme o resultado, que pode ser postado no Facebook, são apresentadas orientações sobre os hábitos de vida e consumo. O teste está disponível em www.suapegadaecologica.com.br e já foi realizado por mais de um milhão de usuários. Como

material de apoio para as escolas, foi produzida a cartilha educacional com a mesma temática.

Atividades sobre o conceito de pegada ecológica foram desenvolvidas nas escolas, na Semana Nacional de C&T 2012, conforme será detalhado adiante.

Vídeos educacionais

Em 2013, acompanhando a temática da Semana Nacional de C&T daquele ano, o INCT para Mudanças Climáticas desenvolveu o vídeo “*Desastres Naturais*”, que foi disponibilizado em todos os sites de divulgação da SNCT.

Em 2015, dentro da proposta de reunir os subprojetos do INCT para Mudanças Climáticas em temas integradores, e acompanhando as cartilhas educacionais, foram produzidos seis vídeos dirigidos a público amplo, apresentando as pesquisas do projeto nas áreas de 1) Desastres naturais, 2) Segurança alimentar, 3) Segurança hídrica, 4) Segurança energética, 5) Saúde e 6) Biodiversidade.

Os vídeos trazem entrevistas com os pesquisadores que coordenaram os subprojetos do INCT para Mudanças Climáticas. Uma bela edição de imagens relacionadas a cada temática torna o assunto mais leve para o espectador, facilitando o entendimento dos conceitos e conhecimentos apresentados.

As atividades de comunicação e disseminação dos conhecimentos do INCT para Mudanças Climáticas aconteceram durante toda a duração do projeto. Em 2017, ano de seu encerramento, foram produzidos outros dois vídeos sobre a Amazônia, sendo um sobre os riscos de trajetórias insustentáveis de desenvolvimento - “*Amazônia: sons e imagens de uma floresta tropical em transformação*” (produzido em português e em inglês) – e outro sobre a cadeia produtiva do açaí, como um exemplo de utilização sustentável de recursos da biodiversidade amazônica - “*Economia Verde: cadeias produtivas sustentáveis baseadas nos recursos da biodiversidade amazônica*”. Também em 2017, foram gravadas três entrevistas com o pesquisador Carlos Nobre, coordenador do INCT para Mudanças Climáticas, sobre “*Os desafios das mudanças climáticas*”, “*As mudanças climáticas e o Brasil*” e “*O INCT para Mudanças Climáticas*”.

Os vídeos estão disponíveis em <http://inct.ccst.inpe.br>.

Portal na Internet

Em 2015, o site institucional do INCT para Mudanças Climáticas foi reestruturado em formato de portal, para possibilitar a inserção de diversos materiais produzidos durante toda a vigência do projeto. O portal, que pode ser acessado em <http://inct.ccst.inpe.br>, traz seções com conteúdo específico para pesquisadores, educadores, estudantes, meios de comunicação e formuladores de políticas públicas.

Na área do Pesquisador, é possível acessar as mais de 1.000 publicações produzidas pelos cerca de 400 membros do INCT para Mudanças Climáticas durante quase oito anos de trabalho. O mecanismo de busca permite localizar a publicação por título, autores, área de pesquisa, palavra-chave, data, entre outros filtros.

A área Estudante traz conteúdos e atividades divididas por faixa etária. Os pequenos, de 7 a 10 anos, podem imprimir ilustrações do cartunista Jean Galvão, para colorir, e assistir ao desenho animado “*O futuro que queremos*”. Os maiores, de 11 a 15 anos, podem acessar cartilhas educacionais e testar seus conhecimentos sobre os temas abordados nas publicações, respondendo a um quiz. Na área destinada à faixa de 16 a 21 anos, estão disponíveis os vídeos temáticos e o teste da pegada ecológica, que avalia os seus hábitos de vida e de consumo e o quanto eles têm impacto no ambiente.

Eventos científicos e de popularização da ciência

Em parceria com a Rede Clima, o INCT para Mudanças Climáticas participou das reuniões da SBPC em São Luís (MA) (2012), Recife (PE) (2013), São Carlos (SP) (2015) e Porto Seguro (BA) (2016). Em 2012, esteve presente na Conferência Internacional Rio+20, em estande conjunto com o INPE e a Rede Clima. Diversos materiais de popularização da ciência, como a cartilha bilíngue “*O futuro que queremos*”, já mencionada, foram produzidos especialmente para a ocasião.

A colaboração de pesquisadores e bolsistas dos subprojetos nas iniciativas de disseminação do conhecimento possibilitou a participação do INCT nas edições anuais da Semana Nacional de C&T e Semanas de Meio Ambiente em diversos municípios, com a realização de palestras, oficinas e trilhas de caráter educativo, dirigidas a estudantes e educadores. Materiais de apoio produzidos para essas ocasiões (vídeos, cartilhas, jogos interativos) foram distribuídos nas escolas e disponibilizados na Internet.



Figura 7 – Da esquerda para a direita, em sentido horário: simulação de deslizamento em área sem cobertura vegetal, em comparação com área com cobertura vegetal; palestra de orientação antes do início da trilha educativa; atividade com professores em sala; atividade com professores em Área de Proteção Ambiental (APA) em São Francisco Xavier, distrito de São José dos Campos (SP)



Figura 8 – Estandes do INCT para Mudanças Climáticas na SBPC 2012 e na Conferência Rio+20 (2012)

Em 2013 e 2016, foram realizadas duas conferências para a divulgação e discussão de resultados científicos, ambas em São Paulo (SP) e com duração de três dias. A primeira – Conferência Nacional de Mudanças Climáticas Globais – Conclima, apresentou, além dos resultados parciais do INCT, as

pesquisas da Rede Clima e do Programa FAPESP Mudanças Climáticas. A segunda – Conferência Internacional do INCT para Mudanças Climáticas, divulgou os resultados finais do projeto. Os pontos relevantes das discussões finais da Conferência Internacional do INCT para Mudanças Climáticas estão registrados nos Anexos deste livro.

Repercussão na mídia

Os materiais de popularização da ciência gerados no âmbito do INCT para Mudanças Climáticas mereceram destaque nos meios de comunicação, o que ajudou a disseminar esses conteúdos para os diversos públicos.



Figura 9 – Divulgação da cartilha educacional “O futuro que queremos” no site O ECO (<http://www.oeco.org.br/blogs/salada-verde/26038-inpe-lanca-cartilha-educativa-sobre-a-rio20/>) e no jornal O Estado de S. Paulo (<http://sustentabilidade.estadao.com.br/blogs/seja-sustentavel/inpe-lanca-cartilha-sobre-meio-ambiente/>)



Figura 10 – Divulgação da cartilha educacional *O futuro que queremos* (versão em inglês) no portal Skeptical Science (<https://www.skepticalscience.com/Brochure-on-sustainability.html>)

Considerações finais

No II Seminário de Acompanhamento e Avaliação dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia, realizado em 2013, os avaliadores mencionaram as atividades de popularização da ciência como um dos aspectos diferenciais do INCT para Mudanças Climáticas em relação aos demais INCTs. Os resultados positivos se devem, em grande parte, à interpretação e à dimensão que o INCT para Mudanças Climáticas deu à missão relacionada à difusão do conhecimento para público amplo, constante da chamada do CNPq para a submissão de propostas.

A realização de todas as iniciativas e atividades de divulgação científica, comunicação e disseminação do conhecimento descritas neste capítulo consumiu, em seis anos, cerca de 8% do orçamento total do INCT para Mudanças Climáticas. Ou seja, um investimento pequeno em relação aos recursos recebidos pelo projeto, que foram canalizados em sua quase

totalidade para a geração de novos conhecimentos científicos e tecnologias. Assim, não houve interferência na atividade precípua do projeto científico.

A percepção da importância de interagir com a sociedade precisa ser internalizada pela comunidade científica, como um instrumento de valorização da cidadania. Essa interação envolve uma série de aspectos relacionados à comunicação pública da ciência, aos usos sociais da ciência e tecnologia e à conscientização e sensibilização sobre os riscos inerentes à sociedade contemporânea.

Iniciativas de divulgação científica e popularização da ciência como as empreendidas pelo INCT para Mudanças Climáticas oferecem contribuições significativas para o desenvolvimento / aprimoramento da cultura científica da sociedade brasileira. Como exemplo dessas contribuições, destacamos alguns objetivos da política de comunicação e disseminação do conhecimento deste INCT e que, idealmente, deverão ser analisados ao longo do tempo para avaliar se alcançaram êxito:

- Aprimorar a interlocução com os técnicos do governo responsáveis pela formulação de políticas públicas de transição para a sustentabilidade.
- Alcançar maior visibilidade junto ao Congresso Nacional, responsável pela aprovação dessas políticas públicas.
- Aprimorar a comunicação com a iniciativa privada, ator-chave na implementação de políticas de mitigação de emissões de gases de efeito estufa e da poluição, e igualmente afetada pelos impactos das mudanças climáticas.
- Aprimorar a comunicação com as instâncias municipais, ator-chave na implementação de políticas de adaptação às mudanças climáticas.
- Possibilitar um retorno à sociedade sobre os resultados e as aplicações dos investimentos públicos em pesquisa e desenvolvimento.
- Ajudar a capacitar a sociedade para que se torne partícipe dos processos decisórios, principalmente em situações que envolvam riscos e conflitos de interesse.
- Demonstrar a importância e a disposição do projeto em tratar comunicação como um processo mais amplo do que informação, o que permite a adaptação dos instrumentos às necessidades, possibilidades e interesses dos públicos.

- Atender aos requisitos modernos do direito de informar e de ser informado e que instaura políticas públicas voltadas para a democratização da informação, estimulando o pluralismo.
- Incentivar a formação de novos cientistas, por meio da divulgação das atividades e dos processos que fazem parte do cotidiano de um pesquisador.

O aprimoramento dessa nova postura no âmbito da comunidade científica e dos órgãos financiadores de projetos de pesquisa e desenvolvimento passa pela ampliação e diversificação dos atores envolvidos no processo de construção do conhecimento, abarcando as diferentes percepções, não só do tema a ser divulgado, mas também das formas e estratégias de sua divulgação. Isso significa, por exemplo, trazer os educadores para o debate com pesquisadores e comunicadores, desde o início, tornando-os também protagonistas do processo de construção e disseminação do conhecimento.

Referências

- Brandão, E. P. (2009). Conceito de Comunicação Pública. In: J. Duarte, *Comunicação Pública: Estado, mercado, sociedade e interesse público* (pp. 1-33). São Paulo: Atlas.
- Brasil. (2002). *Livro Branco: Ciência, Tecnologia e Inovação*. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia. Acesso em 19 de jul de 2015, disponível em <http://www.cgee.org.br/atividades/redirect/3259>
- Brasil. (2015). *Percepção pública da Ciência e Tecnologia 2015: Ciência e tecnologia no olhar dos brasileiros. Sumário executivo*. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: CGEE/MCTI. Acesso em 19 de jul de 2015, disponível em <http://percepcaocti.cgee.org.br/wpcontent/>
- Bueno, W. d. (Novembro de 2010). *Comunicação científica e divulgação científica: aproximações e rupturas conceituais*. 15(esp.), 1-12.
- Caldas, G. (1999). Política de C&T, mídia e sociedade. *Comunicação e Sociedade*, 30, 185-208.
- Caldas, G. (2011). O valor do conhecimento e da divulgação científica para a construção da cidadania. *Comunicação e Sociedade*, 56, 9-28.

CNPq. (2014). *CHAMADA INCT – MCTI/CNPq/CAPES/FAPs nº 16/2014*. CNPq. Acesso em 16 de ago de 2016, disponível em http://cnpq.br/chamadas-publicas?p_p_id=resultadosportlet_WAR_resultadoscnpqportlet_INSTANCE_0ZaM&id=47-361-2654&detalha=chamadaDetalhada&filtro=resultados

Davidovich, L. (2011). De olho no futuro: a 4ª Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação. *Revista USP*(89), 10-25. Acesso em 19 de jul de 2015, disponível em <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/download/13867/15685>

Duarte, J. (2009). Instrumentos de Comunicação Pública. In: J. Duarte, *Comunicação Pública: Estado, mercado, sociedade e interesse público* (pp. 59-71). São Paulo: Atlas.

Kucinski, B. (2009). Apresentação. In: J. Duarte, *Comunicação Pública: Estado, mercado, sociedade e interesse público* (pp. xi-xiv). São Paulo: Atlas.

Matos, H. (1999). Das relações públicas ao marketing público: (Des) caminhos da comunicação governamental. In: T. G. Corrêa, & S. G. Freitas (Eds.), *Comunicação, marketing, cultura: sentidos da administração do trabalho e do consumo* (pp. 58-66). São Paulo: ECA/USP/CLC. Acesso em 19 de jul de 2015, disponível em <http://www.portalrp.com.br/bibliotecavirtual/projetosdepesquisa01/0078.htm>

Soares, A. P. (2015). *Comunicação Pública e popularização da ciência: o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação e suas Unidades de Pesquisa*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.

Vogt, C. (10 de jul de 2003). A espiral da cultura científica. *ComCiência*. Acesso em 19 de jul de 2015, disponível em <http://www.comciencia.br/reportagens/cultura/cultura01.shtml>



**INTERFACE
CIÊNCIA-POLÍTICAS
PÚBLICAS**



O Uso da Evidência Científica na Construção do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA)

Karen de Oliveira Silverwood-Cope¹

Resumo

O texto apresenta um relato sobre o uso da evidência científica e a participação de cientistas no processo de formulação do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. Busca-se evidenciar como essa participação foi construída, gerida e quais benefícios trouxe observando o caso concreto. Esta narrativa pode ser entendida como um registro da formulação de uma política pública nacional e também como uma provocação para reflexão acerca da participação de cientistas e do uso da evidência científica na esfera governamental.

Introdução

As políticas públicas podem ser analisadas em alguns macroprocessos: formulação, implementação, monitoramento e avaliação. Por sua vez, estes contêm inúmeros outros processos para o entendimento da intervenção governamental: tomadas de decisão, interação entre atores, definição de agenda, entre outros. Nesta análise, o foco é a formulação e especificamente a observação dos instrumentos de gestão adotados que afetaram a tomada de decisão e a definição de agenda em adaptação à mudança do clima.

1 Ministério do Meio Ambiente

As evidências do conhecimento técnico ou científico são fatores de alta influência sobre o sucesso na eficácia e efetividade da intervenção pública. Essas evidências promovem alteração na tomada de decisões por gestores de alto nível. No entanto, as evidências técnicas ou científicas competem com outras variáveis de análise, como fatores políticos, orçamentários, entre outros, nos processos de tomada de decisão da formulação de políticas públicas. Essa realidade é observada em vários temas da ação governamental, inclusive no tema da mudança do clima. Adicionalmente, as variáveis relacionais, ou seja, que advêm da interação entre os atores, também são determinantes sobre os resultados finais do processo de formulação.

No campo de pesquisa das políticas públicas, a análise da influência da evidência científica, enquanto fator interveniente nos processos da formulação de políticas públicas, ou dos cientistas, enquanto grupo atuante de atores nesses processos, agrega conhecimento sobre o entendimento dos fluxos e processos da agenda governamental no campo da mudança do clima. De forma geral, esse campo oferece interessantes casos para o estudo sobre os processos da intervenção pública em razão de sua recente institucionalização nacional e internacional, incluindo metas e planos de ação de governo, instrumentos financeiros e acordos internacionais.

Do ponto de vista pragmático, este estudo fomenta a reflexão sobre o desafio de empregar instrumentos de gestão e de políticas públicas no exercício das competências do Executivo Federal. Trata-se do desafio da participação efetiva de grupos de atores nas políticas públicas e da incorporação de diferentes tipos de conhecimento no processo, sejam dados, estatísticas, conhecimento tradicional ou evidências científicas. O gestor público deve ter habilidades para construção relacional com diferentes grupos e equilibrar os diversos fatores que impactam os processos da política pública.

Nesta análise, assume-se que a eficiência, eficácia e efetividade da ação pública, assim como de sua legitimidade, são resultado do equilíbrio dinâmico de processos, estruturas e atores. A relevância do conhecimento científico para o sucesso da ação governamental é outro pressuposto aqui adotado, especialmente no tema de mudança do clima.

O caso do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) ilustra uma maneira de equilibrar fatores técnicos, científicos, políticos e econômicos na formulação de políticas públicas. Ele também ilustra a aplicação de mecanismos de governança em redes, que permitiram o

estabelecimento de processos permeáveis às diferentes naturezas de participação, relações de poder e origem dos participantes.

Portanto, o objetivo deste estudo é apresentar os instrumentos de gestão governamental e de políticas públicas que foram aplicados na formulação do Plano Nacional de Adaptação, um dos planos integrantes da Política Nacional sobre Mudança do Clima, determinados em lei.

A seguir é descrito o processo de formulação do Plano Nacional de Adaptação. Aspectos teóricos das políticas públicas e da governança em redes são brevemente apontados, bem como os marcos institucionais da política sobre mudança do clima e, em seguida, discute-se como foi a experiência observada no caso citado.

A análise foi feita por meio de uma observação direta do processo e com pesquisa documental disponível no sítio eletrônico do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Cabe destacar que o relato é fruto da observação da gestora envolvida na direção do processo. Assim, outras visões e perspectivas podem ser complementares à abordagem apresentada.

Marcos Institucionais sobre o Uso de Evidência Científica e Participação de Cientistas na Política Pública sobre Mudança do Clima

Para fundamentar a perspectiva sobre a participação da ciência na formulação do Plano Nacional de Adaptação explica-se o processo de formulação, bem como o marco de regras formais e informais que delimitam os processos de políticas públicas (North, 1990). Estas estão definidas pelo marco regulatório da Política Nacional sobre Mudança do Clima e pelo processo e instrumentos de gestão adotados na formulação do PNA, respectivamente.

A Política Nacional sobre Mudança do Clima

A Política Nacional sobre Mudança do Clima tem seu desenho institucional estabelecido por lei, decretos e portarias nacionais. Estas espelham o desenho internacional da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês), que sempre teve uma atuação baseada nas evidências científicas do seu painel científico, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Este conjunto

legal e infra legal, entendido como o marco regulatório da formulação do Plano Nacional de Adaptação, destaca a participação da ciência nos processos da política pública sobre mudança do clima.

A Lei 12.187 de 2009 determina que é diretriz da Política Nacional a realização de pesquisas científico-tecnológicas e sua difusão. Também orienta que se realize a cooperação internacional para promoção da pesquisa científica e da observação sistemática da mudança do clima (Art. 5, Lei 12.187/2009). Estão dispostos os instrumentos institucionais para governança da Política Nacional, entre eles, a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima) e a Comissão de Coordenação das Atividades de Meteorologia, Climatologia e Hidrologia (Art. 7, Lei 12.187/2009). Ambos os órgãos são de natureza científica e têm por objetivo embasar os processos de intervenção pública em mudança do clima.

Vale contextualizar que desde seu estabelecimento em 2009, a Política Nacional sobre Mudança do Clima experimentou um rápido amadurecimento institucional, com instituição de governança entre os órgãos federais; agente financeiro a partir de 2011; e órgãos de pesquisa. Até o momento, a Política Nacional possui um Plano Nacional sobre Mudança do Clima, 11 Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima e um Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima.

O destaque para o meio acadêmico é materializado por meio da Portaria Interministerial que estabeleceu a internalização do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) para embasamento da intervenção pública:

“Art. 1º Instituir o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas-PBMC, com o objetivo de disponibilizar a tomadores de decisão e à sociedade, informações técnico-científicas sobre mudanças climáticas, mediante:

I - avaliação integrada e objetiva acerca do conhecimento técnico e científico produzido no Brasil e/ou no exterior, sobre causas, efeitos e projeções relacionadas às mudanças climáticas que tenham foco ou relevância para o País; e

II - elaboração e publicação periódica de Relatórios de Avaliação Nacional, Relatórios Técnicos-RT e Sumários para Tomadores de Decisão-STD sobre mudanças climáticas e Relatórios Especiais sobre temas específicos.”

(Portaria Interministerial nº356/2009, Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Ciência e Tecnologia)

Observa-se o uso da evidência científica como fundamento para a política pública, inclusive com atuação dos cientistas como atores políticos nos processos de formulação e implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima. Essa previsão legal pode ser constatada no processo de formulação do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima.

O Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, agente financeiro da Política Nacional previsto em lei, também promoveu o fomento da ciência aplicada à Política de Clima por meio do financiamento do Primeiro Relatório de Avaliação Nacional (RAN1), produzido pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas com um orçamento estimado de R\$ 500 mil. Esse relatório, lançado em 2015, foi o primeiro *assessment* do tipo realizado nacionalmente e promoveu um significativo entendimento sobre o estado da arte da ciência do clima no país.

Concepções teóricas sobre o processo de tomada de decisão, agenda *setting* e governança em redes que se aplicam à formulação do Plano Nacional de Adaptação

Nas análises de políticas públicas, conclui-se que processo decisório é político e não técnico, pois depende da relação entre diversos fatores: atores, disputas de poder e regras formais e informais (Howelett, 1955). Porém, pouco se analisa a influência de fatores - do conhecimento e da informação - que também são determinantes do processo decisório.

A informação técnica e o conhecimento são distribuídos assimetricamente entre os atores e geram fontes de poder que podem concluir a disputa por um menu de soluções. No caso do Plano Nacional de Adaptação, aborda-se um processo aberto de definição de agenda de múltiplos atores, sejam eles representantes do poder público federal, estadual, municipal, setor privado ou terceiro setor. Esses atores participam diferentemente na formulação de um plano de ação de governo considerando os processos de tomada de decisão e de definição de uma agenda para intervenção pública.

Soma-se ao processo aberto e participativo da formulação do Plano a característica de que a adaptação aos efeitos adversos da mudança do clima é um problema complexo, com informações e conhecimento incertos. As intervenções possíveis pelo Estado apresentam risco dada a incerteza do conhecimento. Outro agravante, na perspectiva do processo decisório, é a natureza de ser um fenômeno que traz impactos significativos na

atualidade, mas também para o longo prazo. Por exemplo, trabalha-se sobre impactos adversos da mudança do clima e medidas de redução do risco para 2030, 2040.

A complexidade do problema e a existência de muitos atores (que se diferenciaram pela origem institucional, acesso a recursos, conhecimento técnico sobre o problema, crenças, entre outros) criam um subsistema político dinâmico, que demanda flexibilidade na condução dos processos de formulação.

Na ótica da lógica da ação coletiva (Olson, 1999) o processo de interação entre indivíduos ocorre em função da estimativa individual de custo e benefício. Nesse sentido, a intervenção pública precisa oferecer incentivos e reduzir custos transacionais para que a participação ativa dos atores seja uma realidade. Isso se materializa em instrumentos de gestão de processos de coordenação, cooperação e comunicação.

Outro marco teórico relevante para o caso analisado é a concepção da governança em redes. Nessa perspectiva, entende-se que os atores se agrupam por afinidade ou interesse em relação a um tema específico. Esses agrupamentos tendem a ter dinâmicas internas cooperativas, de mais fácil comunicação e coordenação. Assim, os mecanismos de gestão pública podem considerar essa natureza da ação política no desenho dos processos de políticas públicas, como no caso do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima.

Do ponto de vista da gestão pública, a formulação das políticas públicas com instrumentos da abordagem baseada em redes permite um equilíbrio da relevância da ação individual, de grupos de diversas naturezas e de instituições. O órgão responsável pela coordenação pode aplicar medidas de comunicação e gestão que potencializem a natureza cooperativa das redes. Segundo Calmon e Costa (2013), as redes são conformadas com as seguintes características: (i) Legitimidade, sistema de crenças e comportamento compatíveis entre os membros; (ii) Conexão cognitiva, ideológica, emocional entre seus membros; (iii) Estrutura de poder clara e consentida; (iv) Capital social disponível entre seus membros; e (v) Fluxo de informação regular e frequente entre seus membros.

Explicando as cinco variáveis das redes aplicadas ao caso da formulação do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, temos que o capital social construído se originou no fato de os gestores públicos envolvidos serem servidores de carreira do serviço público federal e de atuarem

na agenda de mudança do clima desde períodos anteriores. A participação não governamental também contou com representantes historicamente atuantes na temática e de amplo reconhecimento. Portanto, havia relativa confiança e credibilidade entre os atores. Houve o estabelecimento de mecanismos de comunicação e transparência para o processo de formulação com ativa participação social. Foi seguida a diretriz legal de uso da melhor evidência científica disponível.

Em relação à institucionalização e legitimidade, a elaboração de um plano de ação para adaptação foi uma demanda ministerial e conduzida pelo Grupo Executivo, instituído por decreto, como o órgão gestor da Política Nacional sobre Mudança do Clima. Portanto, havia um mandato claramente designado e as regras de funcionamento do Grupo de Trabalho foram pactuadas no início dos trabalhos, em 2013. A gestão do processo de formulação não foi diferente do usualmente feito em outras demandas para a Política Nacional, como a própria elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima, em 2012 e 2013.

Para o entendimento sobre o contexto e o funcionamento das redes no âmbito da formulação do PNA, a seguir é descrito o processo.

Descrição do processo de formulação do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima

O Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima do governo federal, instituído pela Portaria n.º 150 de 2016, visa orientar iniciativas para a gestão e diminuição do risco climático no longo prazo para 11 setores e temas elencados como prioritários para o desenvolvimento sustentável do Brasil: Agricultura, Biodiversidade e Ecossistemas, Cidades, Gestão de Risco de Desastres, Indústria e Mineração, Infraestrutura (Energia, Mobilidade Urbana e Transportes), Povos e Populações Vulneráveis, Segurança Alimentar e Nutricional, Recursos Hídricos, Saúde e Zonas Costeiras.

O PNA foi construído no âmbito do Grupo Executivo do Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, sob a responsabilidade do Grupo de Trabalho sobre Adaptação (GT Adaptação), formado por representantes da sociedade civil, autarquias e ministérios. O trabalho foi diretamente coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente com apoio do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). O MMA também contou com o contrato do Centro de Sustentabilidade da Fundação Getúlio

Vargas para dar apoio técnico e consolidar informações sobre adaptação e vulnerabilidade ao GT Adaptação. Em algumas atividades, o MMA teve apoio financeiro da cooperação técnica com a Alemanha, por meio da Deutsch Gesellschaft fur Internationale Zusammernarbeit (GIZ).

A formulação do PNA foi baseada na formação de redes setoriais para cada um dos temas, sendo cada rede coordenada por pontos focais designados em diferentes ministérios. A coordenação central de todo o processo foi feita pelo MMA no período de fevereiro de 2013 a abril de 2016.



Figura 1 – Linha do tempo de elaboração do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao)

Aproximadamente 50 instituições estiveram diretamente envolvidas na elaboração do Plano, por meio da atuação de redes temáticas compostas por especialistas de vários setores do governo, da iniciativa privada e da comunidade científica, e por representantes de povos tradicionais. Durante o processo preparatório do PNA, foram realizadas 197 reuniões técnicas entre o MMA e as redes temáticas, além de 28 reuniões do GT Adaptação (apenas governo federal). As memórias e documentos debatidos em cada reunião estão disponíveis no sítio eletrônico do MMA (www.mma.gov.br/clima/adaptacao).

A participação de representantes de origem científica com vínculo acadêmico foi permanente em todas as reuniões do grupo de trabalho (GT Adaptação). Vale ressaltar que estas eram reuniões restritas aos órgãos do governo federal que estavam com a responsabilidade de elaboração do Plano. Mesmo assim, em termos de frequência de participação das

reuniões, aproximadamente 11% dos presentes eram de representação acadêmica. Também houve a participação de oficiais de governo que eram de origem acadêmica, mas estavam ocasionalmente em cargos da administração pública federal.

Ademais, o processo de construção do PNA foi marcado por uma ampla participação social, inicialmente pelo processo de chamada pública realizado em 2014, que visou coletar subsídios para a estruturação da agenda nacional de adaptação e do PNA. A chamada pública tinha o propósito de estabelecer uma interação com cidadãos por meio de questões estruturadas. Vale ressaltar que nesse momento ainda não havia um documento de base. Foram enviadas 70 contribuições. Posteriormente, o processo de consulta pública realizado em 2015 validou a minuta do Plano.

Em paralelo à formulação do Plano, a extinta Secretaria de Assuntos Estratégicos, órgão ligado à Presidência da República, elaborou um projeto para qualificar o conhecimento científico de modo a desenvolver capacidades em adaptação do governo federal e fornecer subsídios científicos para a elaboração do Plano. O projeto investiu em pesquisa de diversas universidades e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) sobre os riscos climáticos advindos da mudança do clima e para a qualificação da modelagem climática futura. Durante a implementação desse projeto, no período de 2013 a 2015, foram realizados seminários e oficinas e muitos conhecimentos e evidências puderam ser compartilhados entre gestores públicos e cientistas. Todos os arquivos produzidos por esse projeto estão disponíveis no sítio eletrônico do Ministério do Meio Ambiente: <http://mma.gov.br/clima/adaptacao/dialogos-projetos-e-parcerias> (acessado em 06/03/2017) .

A elaboração da Terceira Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação foi uma segunda iniciativa significativa, que propiciou a qualificação do debate e o entendimento do problema pelos gestores públicos. A elaboração desse documento contou com o trabalho de pesquisadores e cientistas, majoritariamente ligados à Rede Clima, para levantamento do risco climático nacional e das possibilidades de ação pública no período de 2014 e 2015. O conteúdo sobre a vulnerabilidade nacional foi apresentado e debatido com os gestores públicos e as redes do GT Adaptação. Essa oportunidade mais uma vez promoveu o encontro entre os oficiais de governo e os cientistas.

A estrutura e os instrumentos de coordenação implementados ficaram sob responsabilidade da Secretaria de Mudança do Clima do MMA. Esta

designou um Departamento para liderar o processo e promover o trabalho de secretariado executivo do GT Adaptação. O planejamento dos trabalhos do grupo foi definido em 2013 e todas as iniciativas paralelas do governo federal sobre adaptação eram trazidas para debate nesse grupo.

A comunicação e o fluxo da informação entre os envolvidos nas redes foram feitos por correio eletrônico e reuniões bilaterais para nivelamento de informações. O sítio eletrônico do MMA foi usado como repositório para toda a documentação, garantindo amplo acesso aos participantes e também transparência à sociedade. Também foi concebida uma estratégia de comunicação e disseminação com a realização de diversos eventos formativos e informativos. Todas as iniciativas em curso pelo governo federal, as universidades e as pesquisas no tema de adaptação entraram no radar de trabalhos das redes, sendo internalizadas pelos envolvidos de diversas formas, por exemplo, compartilhamento de relatórios, debates com autores, seminários, entre outros.

Por fim, cabe ressaltar que a mobilização de pessoas, o recrutamento de especialistas, a captação de recursos para realização de atividades planejadas e a mediação de conflitos foi um trabalho de liderança constante realizado pela Direção da Secretaria de Mudança do Clima. Sem essa ativa gestão, o objetivo de formulação do Plano não teria alcançado êxito.

Método

A pesquisa foi realizada com base em análise documental dos arquivos disponíveis no sítio do Ministério do Meio Ambiente no segundo semestre de 2016. Foram consultados todos os arquivos das reuniões do Grupo de Trabalho e suas redes temáticas, listas de presença e planos de trabalho. Esses documentos datam de 2013 a 2016.

Para a compreensão do uso da evidência científica e da participação dos cientistas na formulação do PNA foram observados os seguintes dados e indicadores na análise dos documentos:

- Frequência de participação de representantes da ciência nas reuniões de formulação do Plano Nacional de Adaptação - número absoluto e número comparado ao total de gestores públicos;
- Número de encontros realizados especialmente dedicados à comunidade científica;

- Existência de cientistas ocupando cargos de alto nível durante o processo de formulação do Plano Nacional de Adaptação;
- Número de estudos referenciados no Plano Nacional de Adaptação;
- Número de cientistas que integram a Rede Clima e o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas;
- As metas estabelecidas no Plano Nacional de Adaptação que demonstram a intrincada relação entre ciência e política pública;
- Investimentos realizados pelo Fundo Clima em produção de pesquisas e levantamento de evidências científicas;
- Número de relatos científicos ou técnicos citados no Plano Nacional de Adaptação.

Esses dados e indicadores foram coletados, registrados em planilhas e o conhecimento auferido de sua análise é apresentado ao longo da próxima seção. Em conjunto com a apresentação de dados, foram incorporados os registros de percepções da observação do processo pela própria autora. Estas foram sistematizadas segundo as características de governança em redes, conforme previamente apresentado.

A Evidência Científica no Plano Nacional de Adaptação

O processo de formulação do Plano Nacional de Adaptação é apresentado considerando-se os aspectos de cooperação, comunicação e coordenação empregados na gestão das redes. Entende-se que a governança em redes facilitou e integrou a evidência científica e os cientistas no resultado final do Plano.

Mecanismos empregados para o uso da evidência científica na formulação de políticas públicas

Para garantir a boa gestão, a coordenação do processo de formulação de políticas deve ser adaptada ao contexto e à natureza do problema e deve aplicar mecanismos de compartilhamento interativos e iterativos. Por exemplo, reuniões presenciais, encontros por meio de recursos de tecnologia da informação: teleconferências, compartilhamento de arquivos online, entre outros. Assim, a complexidade do subsistema político e as limitações ao processo de formulação e de tomada de decisão podem ser barreiras ultrapassadas.

Ao longo dos três anos de formulação do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, essa dinâmica permitiu o desenvolvimento de capacidades dos atores envolvidos, ativou uma rede de atores em torno do tema e deu espaço para o equilíbrio de fatores que influenciam o processo decisório, especialmente para o uso da evidência científica.

As relações entre atores são marcadas por aspectos e critérios relacionais, cognitivos e afetivos dos gestores que lideram o processo. Esse é o principal fator que conforma a formulação de uma política pública com ampla abertura para as redes, inclusive aquelas de origens científicas.

Relações informais presentes nas redes que permeiam estruturas e processos alteram o comportamento de indivíduos, afetam seu envolvimento, produtividade e capacidade decisória. Influências individuais em gestores de alto nível são notáveis no processo decisório. No caso da política de adaptação e na tomada de decisão sobre a intervenção pública possível, nota-se o acesso de atores de origem científica influenciando a decisão. Dois secretários dos ministérios que lideraram o processo eram cientistas de carreiras acadêmicas, do Ministério do Meio Ambiente e da Ciência, Tecnologia e Inovação. Igualmente, a ministra do Meio Ambiente à época, é PhD e tem vínculo com a Academia.

No nível institucional, a presença do INPE e também do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) em todas as reuniões do GT Adaptação também foi um balizador importante para garantir a entrada do conhecimento científico na elaboração das diretrizes de ação ao governo federal.

É possível perceber que, no Plano Nacional de Adaptação, os atores detentores do conhecimento e informação sobre o problema influenciaram fortemente os resultados da redação final, haja vista a presença em reuniões e a redação do texto comprovando a dedicação à qualificação do conhecimento e ao uso da melhor evidência científica disponível como um princípio de fundamento do Plano (PNA, 2016). Seguem abaixo trechos do texto do Plano Nacional de Adaptação em que a redação explicita a incorporação da ciência:

“Introdução

Também foram considerados documentos de referência que representam o acúmulo de conhecimento existente, a exemplo: do

Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2013);...” (PNA, 2016, p.6).

Princípios

“Embasar as iniciativas de adaptação nos conhecimentos de origem científica, técnica e tradicional, visando à elaboração e implementação de medidas de adaptação apropriadas, respeitando as particularidades territoriais, institucionais, legais e técnicas;” (PNA, 2016, p.19).

Objetivo

“Orientar a ampliação e disseminação do conhecimento científico, técnico e tradicional apoiando a produção, gestão e disseminação de informação sobre o risco climático, e o desenvolvimento de medidas de capacitação de entes do governo e da sociedade no geral;” (PNA, 2016, p.20).

Metas

- Estratégia para aprimorar a qualidade das projeções climáticas, como subsídio a políticas públicas de adaptação elaborada e implementada.
- Plano de ação sobre Necessidades Tecnológicas para Adaptação (TNA) elaborado.
- Plataforma online de gestão do conhecimento em adaptação – criada e disponível à sociedade.
- Estratégia para ampliar e fortalecer a Rede Clima criada e implementada.
- Projeto de integração de dados para monitoramento e observação de impactos da mudança do clima elaborado e implementado (PNA,2016, p.25).

Por fim, nota-se que, nas referências bibliográficas do Plano, 22% do total de documentos citados são publicações científicas. As demais referências estão voltadas para planos de governo de outros setores.

Os trechos destacados do Plano Nacional de Adaptação indicam o compromisso de ações voltadas para a produção do conhecimento científico e para o uso da evidência científica na formulação das estratégias de

governo. Essa via de mão dupla que se expressa no texto esteve presente na relação entre gestores e cientistas e traz para o debate a relevância da relação simbiótica entre ciência e política pública.

Entre os fatores que influenciaram a definição de objetivos e metas, os fatores do conhecimento e da informação tiveram um peso significativo na definição da agenda do governo. Essa influência se demonstrou na formulação do PNA pelo número de atores de origem científica presente em reuniões do governo federal; gestores de alto nível de origem científica; embasamento do plano de ação na produção acadêmica; investimento do Fundo Clima no Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas; e participação da Rede Clima.

O outro lado da relação simbiótica demonstra que os representantes da ciência conseguiram incorporar na agenda ações voltadas para a própria ciência, como se observou nos objetivos e metas do Plano. A geração de benefícios diretos e concentrados é a essência que motiva a cooperação de atores e grupos na ação coletiva.

Para visualização da diferença do processo de formulação do Plano Nacional de Adaptação é interessante compará-lo com outros estudos com a participação da ciência em outros temas de políticas públicas. Tradicionalmente, a evidência científica é usada em momentos pontuais do processo e a tomada de decisão ocorre de forma restrita entre os gestores. É uma iniciativa que recebe as evidências científicas, mas não necessariamente interage com os produtores do conhecimento. Em outras palavras, a ciência entra como um insumo, mas não como ator ativo no processo decisório.

Mecanismos de coordenação e comunicação que permitiram a participação de cientistas na formulação do Plano Nacional de Adaptação

O fluxo da informação entre as redes temáticas permitiu que os gestores interagissem com os cientistas de áreas do conhecimento afins. Isso possibilitou, no Plano Nacional de Adaptação, nivelar conhecimentos setoriais e temáticos e acelerar o entendimento sobre o problema da adaptação à mudança do clima. A imediata disponibilização na Internet de documentos e insumos para o debate garantia ampla disseminação dos conteúdos debatidos. As conclusões e questões de uma rede eram reportadas às demais por meio da equipe coordenadora do processo. As reuniões que congregavam representantes de todas as redes permitiram a rotatividade

e expressão de ideias de diversas perspectivas. Essa rotina se repetiu inúmeras vezes ao longo do período de 2013 a 2016, em um ciclo de interações iterativas. Isso trouxe confiança ao processo de formulação do Plano Nacional de Adaptação e permitiu, no caso do conhecimento científico, que ele fosse exaustivamente apresentado e internalizado pelos gestores públicos. A coordenação do processo pelo MMA funcionou como um intermediário que facilitou o fluxo de informações entre as redes flexíveis e permeáveis que foram induzidas.

As redes temáticas e setoriais também contrabalancearam qualquer perspectiva descendente (*top-down*) que as estruturas de poder do setor público conferem à formulação de políticas públicas. Também se notou que as redes equilibraram o desnível institucional quando se precisa agregar com igual valor de participação representantes da sociedade civil e empresas, por exemplo. Nos debates e oficinas técnicas que foram conduzidos durante a formulação do Plano, o conhecimento era apresentado por cientistas aos gestores. Estes, por sua vez, demandavam maiores informações e evidências que pudessem ser diretamente aplicáveis.

De forma geral no PNA, as redes permitiram a cooperação entre especialistas trazendo argumentos de alta qualidade e decisivos para a arena decisória. A título de exemplo, conforme é possível verificar nos registros de memória das reuniões da rede de Biodiversidade e Ecossistemas, os acadêmicos da rede apresentaram evidências científicas que definiram a agenda de governo nesse tema (disponível nos sítio do Ministério do Meio Ambiente em: mma.gov.br/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao. Acessado em 06/03/2017).

Nos aspectos da comunicação, observou-se que os recursos e mecanismos de diálogo aplicados devem ser bem planejados para se atingir o consenso. Um primeiro desafio é garantir o consenso sobre o significado dos termos em um grupo heterogêneo; outro desafio é garantir um fluxo de informações que chegue a todos os envolvidos nas redes. Na relação ciência e política pública há, de forma geral, uma lacuna de diálogo em grande parte justificada pela dificuldade de entendimento entre partes: gestores têm dificuldades na aplicação da evidência científica e cientistas não geram conhecimento aplicável aos processos de políticas públicas. As dificuldades de comunicação advêm de muitas possíveis causas e devem ser interpretadas caso a caso. No caso do Plano Nacional de Adaptação, entende-se que essas lacunas de diálogo e de entendimentos foram superadas por meio de

interações iterativas nas redes. Muitos dos encontros tratavam das mesmas questões e impasses repetidamente até que, finalmente, se encontrasse uma saída. Por exemplo, a própria adoção de um modelo de análise da vulnerabilidade dentre tantos disponibilizados pelos pesquisadores foi alvo de bastante debate, uma vez que a complexidade analítica precisava ser limitada pelo pragmatismo da busca de soluções diretas e objetivas.

Por fim, há de se mencionar o caráter de inovação que uma rede de comunidade científica pode trazer à formulação da política pública. O debate qualificado pela busca de soluções aos problemas da formulação do PNA permitiu que novos conhecimentos fossem aplicados à solução de problemas e que novos campos de pesquisa fossem abertos a partir dessa interação. Para temas para os quais havia pouco conhecimento acumulado, como a adaptação à mudança do clima para a segurança alimentar, ou para povos e comunidades tradicionais, as redes de pesquisadores e gestores permitiram a busca de alternativas conjuntamente, estabelecendo novos paradigmas de análise. E para todos os temas do PNA, os ministérios do Meio Ambiente e Ciência, Tecnologia e Inovação, e a Presidência da República investiram em novas pesquisas, aprimoramento de modelagem climática e, assim, ajudaram a impulsionar os campos de pesquisa que já existiam.

Considerações finais

São muitos os desafios envolvidos na gestão e formulação de políticas públicas. E a agenda temática da mudança do clima traz outras camadas de complexidade ao problema, especialmente quanto à interface estreita entre evidência científica e política pública no tema de mudança do clima.

Esta análise evidencia os instrumentos de gestão aplicados para integrar cientistas no processo de formulação do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e para garantir o uso da evidência científica no processo de tomada de decisão. Os instrumentos aplicados serviram para garantir uma governança em redes nos aspectos de coordenação, comunicação e cooperação.

O resultado do Plano Nacional de Adaptação indica a pertinência de um desenho do processo de formulação de políticas públicas que permita a entrada da evidência científica e de atores desse campo. A presença dos cientistas na definição de agenda determinou a configuração do problema sobre adaptação e a diretriz para a intervenção pública, indicando

um caminho de viabilidade para políticas públicas em um contexto de alta dificuldade para os gestores públicos, qual seja, lidar com um problema complexo para situações de longo prazo.

É possível inferir que a governança em redes também propiciou uma dinâmica oportuna para a participação de cientistas e a adequada exposição dos gestores públicos ao conhecimento científico em ciclos interativos e iterativos.

Benefícios diretos resultaram da ampla participação de representantes da comunidade científica nos debates para formulação do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. A comunidade científica pode observar as necessidades dos gestores públicos e assim propor novos formatos de comunicação e aplicação do conhecimento que apoiarão os processos de implementação, monitoramento e avaliação.

No entanto, ainda é preciso fomentar o aprendizado mútuo entre as comunidades de gestores e de cientistas no contexto de processos de políticas públicas. A comunicação precisa ser aprimorada em aspectos de forma e conteúdo para que se torne mais efetivo o uso da evidência científica.

Para análises futuras recomenda-se avaliar a associação entre a participação desse grupo de atores e a eficácia e efetividade da política pública.

Referências

- Calmon, P. D. & Costa, A. T. (2013). Redes e governança das políticas públicas. *Revista de Políticas Públicas*.
- Howelett, M. P. (1955). *Studying Public Policy: Policy cycles and policy subsystem*. Oxford: Oxford University Press.
- Ministério do Meio Ambiente. (06 de Março de 2017). *Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima*. Fonte: Ministério do Meio Ambiente: www.mma.gov.br/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao
- North, D. C. (1990). *Institutions, Institutional Change, and Economic Performance*. New York: Cambridge University Press.
- Olson, M. (1999). *A lógica da ação coletiva*. São Paulo: Edusp.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Carlos A. Nobre
José A. Marengo

O INCT para Mudanças Climáticas constituiu-se em uma das maiores redes de pesquisadores das áreas ambiental e correlatas da América Latina, contribuindo para o enraizamento de grupos de pesquisa interdisciplinar em escala nacional em todas as temáticas de mudanças climáticas. Reiterando os dados de produção deste INCT mencionados na Introdução, houve publicação de 550 artigos científicos em periódicos internacionais, 300 artigos em periódicos nacionais, 50 livros e 200 capítulos de livros, além da formação de 230 doutores e 332 mestres. A projeção nacional e internacional do INCT para Mudanças Climáticas pode ser comprovada pela inclusão de resultados das pesquisas desenvolvidas em seu contexto nos relatórios do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), de 2013 e 2014, no estudo Brasil 2040 da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, de 2015, nos Relatórios do IPCC SREX, de 2012, e do IPCC AR5, em 2013 e 2014, e também na Terceira Comunicação Nacional (TCN) do Brasil à UNFCCC, em 2016.

Uma questão relevante não de caráter científico, mas que merece um comentário, e que perpassa o modo *sui generis* de financiamentos de pesquisa no Brasil por parte das agências de apoio à pesquisa federais (CNPq, CAPES) e estaduais (por exemplo, a FAPESP), é a atribuição da gestão administrativa do projeto ao pesquisador principal, que responde aos órgãos financiadores como pessoa física. O INCT para Mudanças Climáticas, devido ao número

de grupos participantes, atingiu a categoria de projeto com o valor mais alto de financiamento dentro do programa dos INCTs, recebendo mais de R\$ 10 milhões, ao longo de sua existência. Esses recursos alimentaram pesquisas relevantes de 26 subprojetos de pesquisa espalhados por todo o país, apoiando centenas de pesquisadores em dezenas de instituições.

Poder-se-ia imaginar que um complexo projeto como este deveria ter uma forte estrutura administrativa de apoio na instituição sede, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A não ser em breves períodos (cerca de um ano) em que a instituição alocou um único funcionário para exercer a função de Secretário Executivo do INCT e através de alocação de espaço para funcionamento da Secretaria Executiva, nenhum outro apoio administrativo foi efetivamente prestado. Toda a estrutura de apoio à Secretaria Executiva teve de ser providenciada com recursos outros, já que as próprias regras de utilização de recursos dos INCTs não permitem gastos para manter equipes administrativas, partindo do pressuposto de que a instituição sede prestará tal apoio. Este não é um fato isolado deste projeto ou somente do INPE. O financiamento de pesquisas diretamente para o pesquisador, que assume o papel de gestor administrativo dos projetos, além de líder científico, está incrustado no formato de financiamento da pesquisa no Brasil por muitas décadas, e gera distorções evidentes e perda de eficiência. Torna-se mais do que oportuno que se promova uma mudança paradigmática dessa maneira obsoleta e ineficaz de gestão de projetos científicos no país e a busca de uma forma efetiva e profissional de administração de projetos científicos, a exemplo do que é rotina nos países desenvolvidos em ciência e tecnologia. Em particular, no caso de complexos projetos como o programa INCT, o tempo despendido pelos líderes científicos em gestão administrativa, financeira e até mesmo contábil subtrai tempo de ações de articulação e interação de diversos componentes que normalmente fazem parte desse tipo de projeto.

No caso deste INCT, montou-se uma pequena mas eficiente estrutura de apoio administrativo com recursos de outros projetos, exclusivamente para servir como Secretaria Executiva do INCT para Mudanças Climáticas. Intrincadas questões administrativas e jurídicas que surgiram ao longo dos anos foram solucionadas com explícito apoio das áreas administrativas e jurídicas das agências financiadoras CNPq e FAPESP.

Um desafio permanente em projetos interdisciplinares e multi-institucionais como este INCT é facilitar um grande número de interações entre os diversos subprojetos. A segunda fase do projeto, com a criação dos temas

integradores, motivou um maior número de interações e resultados temáticos relevantes, construídos a partir da pesquisa dos 26 subprojetos da fase inicial.

Retornando a questões mais centrais sobre os resultados do projeto científico, pode-se finalmente perguntar se a substantiva produção de novos conhecimentos e formação de centenas de pesquisadores sobre mudanças climáticas espalhados por todo o território nacional em inúmeras instituições alavancadas pelo INCT para Mudanças Climáticas já estão contribuindo ou irão contribuir para o desenvolvimento sustentável do Brasil. Igualmente pode-se analisar criticamente se a escolha inicial do INCT de privilegiar pesquisas sobre impactos, adaptação e vulnerabilidade se justificou vis-à-vis os resultados obtidos.

Essas duas questões permeiam a discussão sobre a busca de caminhos efetivos para que o conhecimento científico possa subsidiar a elaboração e implementação de políticas públicas, um debate de interesse e relevância mundiais. O século XXI tem sido caracterizado como aquele em que se desenvolve um novo marco civilizatório, o das sociedades do conhecimento, nas quais este assume o máximo valor social e econômico, suplantando aquele dos bens materiais. Nessa lógica, o conhecimento científico deveria, em princípio, atravessar com mais facilidade a ponte que separa a produção do conhecimento em universidades e institutos de pesquisa da esfera de tomada de decisão política.

Tanto para o alcance das metas do Acordo de Paris, de 2015, as quais exigem esforços gigantescos e permanentes de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, quanto para atingir plenamente os objetivos de desenvolvimento sustentável, demandam-se inúmeras ações e políticas de adaptação àquelas mudanças climáticas que já se tornaram inevitáveis. Mais ainda, demanda-se preparação antecipada para aumentar a resiliência da sociedade, do sistema econômico, juntamente com proteção ambiental, para o caso de rupturas imprevistas em elementos do sistema terrestre. Por exemplo, poderemos atingir em breve um ponto sem retorno para o mar de gelo do Oceano Ártico, em que este não mais terá gelo flutuante durante o verão do Hemisfério Norte, algo que não ocorre no planeta há muitos milhões de anos. Ou, ainda, com mais de 2°C de aquecimento global, pode-se atingir um ponto sem retorno para o derretimento das geleiras da Groenlândia e da Antártica Ocidental, implicando em muitos metros de aumento do nível do mar na escala de séculos.

Especificamente, com respeito aos resultados do INCT para Mudanças Climáticas, o conhecimento gerado está influenciando algumas políticas públicas de sustentabilidade, mas, de modo geral, a influência ainda é modesta. Com exceção da área da saúde, onde existe uma tradição estabelecida de as políticas públicas de proteção à saúde humana implementarem o conhecimento científico assim que este esteja disponível (por exemplo, no caso de vacinas ou no combate a epidemias), nas demais áreas da ciência o caminho não tem sido suave ou garantido.

Por exemplo, ainda que este projeto tenha dado grande ênfase em multiplicar por mais de uma ordem de grandeza os estudos de impactos e vulnerabilidades, com recomendações para políticas de adaptação às mudanças climáticas em praticamente todos os setores, o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima pouco incorporou dessas recomendações oriundas da ciência, e continua a ser uma carta genérica de intenções. Isso está relacionado, principalmente, com a implementação de políticas públicas de aumento da resiliência das cidades, das zonas costeiras, etc., que impactariam o modo tradicional e agressivo de ocupação ou expansão urbana e do litoral.

Há, por outro lado, exemplos positivos. Um deles tem a ver com a forte influência que as pesquisas do INCT para Mudanças Climáticas sobre impactos dos crescentes extremos climáticos tiveram na formulação do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais. Esse plano começou a ser implementado em 2012 e foi fortemente baseado no conhecimento científico e na capacidade de prever com antecedência o risco dos principais desastres naturais do Brasil. Como resultado, o número de fatalidades por desastres naturais no país reduziu-se em 70% nos últimos anos em relação ao período anterior a 2012.

Também, no setor agrícola, as pesquisas sobre como adaptar a pujante agricultura brasileira às mudanças climáticas encontram solo fértil no próprio setor produtivo, até porque os impactos das mudanças climáticas atuais, principalmente da frequência e intensidade de extremos climáticos, que tanto afetam a produção agrícola, já se fazem sentir de modo indiscutível.

Uma das áreas prioritárias do programa dos INCTs foi a da construção de canais efetivos de comunicação da ciência à sociedade e ao sistema educacional. Essa área recebeu grande ênfase no INCT para Mudanças Climáticas e seus impactos sobre a aquisição de conhecimentos por parte da sociedade e dos estudantes do ensino fundamental e médio deverão ser

avaliados nos próximos anos, em função dos muitos produtos de disseminação do conhecimento gerados para esses públicos.

Felizmente, o INCT para Mudanças Climáticas continua na segunda fase do programa dos INCTs no país. Isso permitirá não somente a continuidade de pesquisas importantes sobre mudanças climáticas afetando o país e a busca de soluções de mitigação de emissões e adaptação em complexos sistemas sócio-ecológico-econômicos, mas igualmente o enraizamento mais profundo desse conhecimento na sociedade brasileira, aproximando-nos do paradigma das sociedades do conhecimento deste século, nas quais a sustentabilidade é baseada no conhecimento.

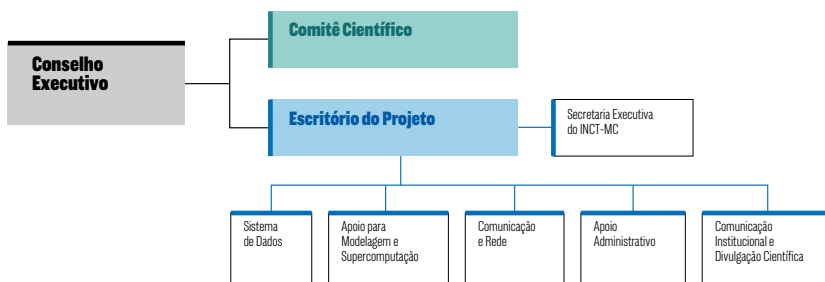


ANEXOS



Estrutura do INCT para Mudanças Climáticas

ESTRUTURA ORGANIZACIONAL E FUNCIONAL



PROJETOS DE PESQUISA CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS

A base científica	Estudos de impactos, adaptação e vulnerabilidade	Mitigação	Produtos tecnológicos <small>(Modelos, Geo-Sensores, Riscos de Desastres Naturais)</small>
Projetos	Projetos	Projetos	Projetos
1. Detecção, Atribuição e Variabilidade Natural do Clima	9. Cenários de Mudanças Climáticas para o Séc. XXI	19. Emissões de Lagos e Reservatórios	22. Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (BESM)
2. Amazônia	10. Agricultura	20. Processos de Combustão	23. Modelo de Circulação Global da Atmosfera do CPTec
3. Mudanças dos Usos da Terra	11. Recursos Hídricos	21. Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD)	24. Modelagem de Múltiplas Escalas: Desafios para o Futuro
4. Ciclos Biogeoquímicos Globais	12. Energias Renováveis		25. Tecnologias Observacionais para Mudanças Climáticas
5. Oceanos	13. Biodiversidade		26. Sistema de Informações para a Redução de Riscos de Desastres Naturais
6. Gases de Efeito Estufa	14. Saúde Humana		
7. Interações Biosfera-Atmosfera	15. Zonas Costeiras		
8. Cenários Climáticos Futuros e Redução de Incertezas	16. Urbanização e Megacidades		
	17. Economia das Mudanças Climáticas		
	18. Estudos de Ciência, Tecnologia e Políticas Públicas		

Instituições nacionais participantes do INCT para Mudanças Climáticas



REGIÃO SUDESTE	
São Paulo, SP EACH/USP FEAI/USP IAG/USP IBI/USP IFI/USP IOI/USP	Lavras, MG UFLA
	Viçosa, MG UFV
	Vitória, ES UFES
São Vicente, SP UNESP	Belo Horizonte, MG CEDEPLAR/UFMG
Santos, SP Instituto de Pesca	Itajubá, MG UNIFE
Ubatuba, SP Inst. Costa Brasilis	Taubaté, SP UNITAU
Guaratinguetá, SP FEG/UNESP	S. J. dos Campos, SP CCST/INPE IAE/OCTA
Seropédica, RJ UFRFR	Guarulhos, SP UNIFESP
Rio de Janeiro, RJ ANA COPPE/UFRRJ FIOCRUZ IBGE IME IPEA Jardim Botânico UERJ UGF	Campinas, SP EMBRAPA IB/UNICAMP IFICH/UNICAMP PUC
	Piracicaba, SP CENA / USP ESALQ/USP
	Pres. Prudente, SP UNESP
Niterói, RJ UFF DHN	São Carlos, SP UFSCAR
C. dos Goytacazes, RJ UENF	Ribeirão Preto, SP FEARPI/USP
Petrópolis, RJ LNCC	Cachoeira Paulista, SP CEMADEN/INCT CPTEC/INPE LOP/INPE CCST/INPE
Lavras, MG UFLA	

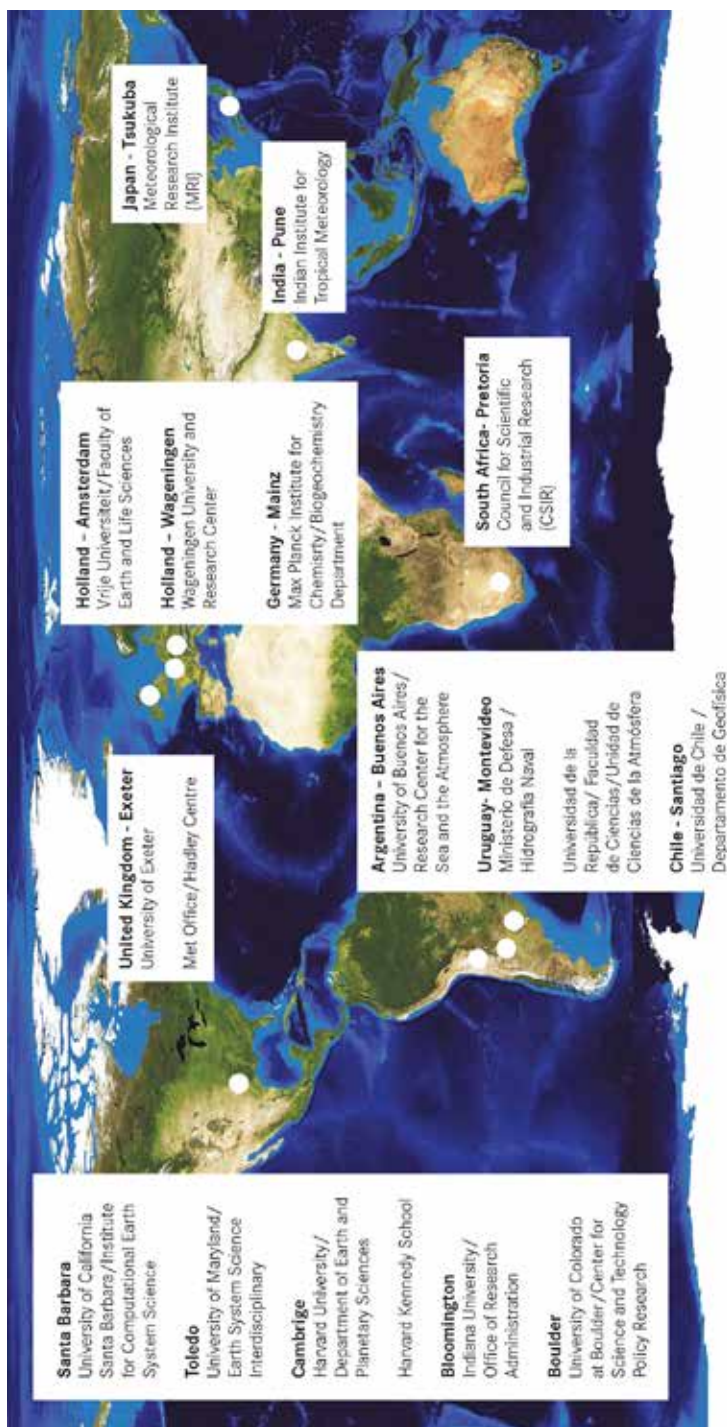
REGIÃO NORDESTE
Fortaleza, CE UECE UFC FUNCEME
Recife, PE ITEP - LAMEPE UFPE UFPE
Salvador, BA UFBA
São Cristóvão, SE UFS
João Pessoa, PB UFPB
Natal, RN UFRN
Campina Grande, PB UFCG
Maceió, AL UFAL

REGIÃO CENTRO-OESTE
Alta Floresta, MT UNEMA
Tangará da Serra, MT UNEMAT
Brasília, DF CGVAM/SVSI/MS ICB/UNB IREL/UNB OPAS SEAP SIPAM
Goiânia, GO UFG
Corumbá, MS EMBRAPA
Cuiabá, MT UFMT
Campo Grande, MS UEMS

REGIÃO SUL
Curitiba, PR UFPR
Itajaí, SC UNIVALI
Pontal do Sul, PR CEM - UFPR
Rio Grande, RS FURG
Florianópolis, SC UFSC
Pelotas, RS UFPEL
Porto Alegre, RS UFRGS
Santa Maria, RS UFSM

REGIÃO NORTE
Manaus, AM INPA UEA
Ji-Paraná, RO UNIR
Cruzeiro do Sul, AC UFAC
Belém, PA IPAM NAFU/UFPA

Instituições internacionais participantes do INCT para Mudanças Climáticas



INCT para Mudanças Climáticas em números

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

332

Mestrados

230

Doutorados

104

Pós-doutorados

152

Iniciações científicas

299

Bolsas de nível técnico

32

Programas de Pós-graduação relacionados aos temas do INCT para Mudanças Climáticas

PUBLICAÇÕES

550

Artigos em periódicos internacionais

300

Artigos em periódicos brasileiros

50

Livros

200

Capítulos de livros

INCT para Mudanças Climáticas em números

TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO E TECNOLOGIA

01

Projeto com a indústria

02

Aplicativos computacionais
livres

ATIVIDADES DE DIFUSÃO DO CONHECIMENTO

12

Participação em eventos

10

Cartilhas educacionais
(versões impressa e digital)

02

Cd-rom interativos

01

Desenho animado
educativo

12

Vídeos educacionais

01

Quiz educacional
interativo

01

Portal na Internet

05

Relatórios de atividades

Registro de pontos relevantes das discussões da Conferência Internacional do INCT para Mudanças Climáticas – São Paulo, 28 a 30 de setembro de 2016

28/09/2016

CONFERÊNCIA MAGNA

MARINA SILVA – Rede Sustentabilidade

Jacques Marcovitch (USP) – Sua presença no Ministério do Meio Ambiente (MMA) foi decisiva para que o Brasil obtivesse os expressivos recursos financeiros do Fundo Amazônia. Qual a sua avaliação dos resultados alcançados? Com base nessa iniciativa, como expandir os recursos não reembolsáveis para a preservação da floresta tropical em escala global?

Marina Silva – Durante a minha gestão, eu me empenhei muito na criação do Fundo Amazônia, alicerçada pelos bons resultados obtidos em nossas ações de combate ao desmatamento. Havia uma pressão para que o recurso ficasse em uma agência financeira internacional do tipo GEF (*Global Environment Facility*). Nós lutamos muito para trazer os recursos para o BNDES, porque achávamos que as experiências com o Banco Mundial na área de meio ambiente, ou o Banco Interamericano, eram muito dolorosas. Tínhamos a crença de que, uma vez o dinheiro estando no BNDES, seria possível criar um sistema que ajudasse a financiar ou dar escala a um novo modelo de desenvolvimento da Amazônia. Porque o projeto do Fundo Amazônia estava calçado na lógica de que não bastava eliminar o que ‘não pode’. Era preciso criar o ‘como pode’ da forma correta. Então, o fundo ajudaria muito nesse processo. Após a nossa saída do ministério,

o fundo foi se firmando. Eu acho que hoje existem projetos interessantes financiados por ele. Mas, sinceramente, acho que uma boa parte dos entaves burocráticos ou da visão de prioridade para decidir a quais projetos aportar recursos ainda apresenta uma dificuldade muito significativa. Continuamos com quase os mesmos problemas. Eu converso com as pessoas que tentam aprovar os projetos e elas me dizem que ainda há uma dificuldade muito grande em relação aos requisitos burocráticos. Às vezes as propostas são consideradas excessivamente heterodoxas e por isso não são aprovadas. E para se pensar em novas alternativas ao modelo que ali está, obviamente você precisa apostar muito na inovação dos projetos. Às vezes as pessoas têm facilidade para dar 9 milhões para o Eike Batista e têm dificuldade enorme em financiar determinados projetos de pesquisa que, pelo menos, já estão em um termo de referência. Uma pesquisa pode ter sucesso ou fracassar, isso faz parte do que é a pesquisa científica. Então, acho que tem desafio de ajuste para o Fundo Amazônia. E como expandir recursos dessa natureza? Eu acho que essa é uma experiência piloto. Houve todo o processo de convencimento junto ao governo da Noruega - eu acho que até realizaram um plebiscito para convencer a população de que deveria ser feito esse investimento aqui no Brasil. O governo da Noruega apostou nessa proposta, que é uma contribuição muito relevante em relação à proteção das florestas - isso é essencial, no que se refere a desenvolver novos modelos de desenvolvimento, não só para a Amazônia Brasileira, mas para os países que adequadamente compartilham a Amazônia. É uma necessidade para a qual, talvez, o modelo do Fundo Amazônia seja uma boa inspiração.

Jean Ometto (INPE) e ouvinte que não se identificou – O que a sra. pensa dos compromissos do Brasil submetidos à Convenção do Clima, quanto às obrigações ambientais, principalmente a recuperação de florestas, nas chamadas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs)?

Marina Silva – Historicamente, o Brasil tem conseguido demonstrar um protagonismo relevante do ponto de vista internacional. Foi assim em todo o processo de discussão sobre biodiversidade e é assim no processo de discussão da questão climática. Mas há uma certa dificuldade de traduzir isso internamente, do ponto de vista prático. Obviamente, talvez só tenha sido possível ao Brasil ser um dos primeiros países em desenvolvimento a se comprometer com metas objetivas pelo fato de termos conseguido a

façanha de reduzir o desmatamento. Sem isso, o Brasil teria ficado no polo da resistência, com aqueles que resistem. Quando eu assumi o MMA, uma das coisas que conversei com a equipe foi: “Nós não temos como ser liderança global de nada. Já existe liderança suficiente.” Na época, o ministro da África do Sul era uma pessoa altamente articulada, o Trittin (*Jürgen Trittin, então ministro do Meio Ambiente da Alemanha*) era uma liderança ambiental muito respeitada. Eu disse “nós só temos uma chance de liderar - pelo exemplo. Fazendo o dever de casa. Não temos grandes formulações teóricas, como teve o Trittin sobre o Protocolo de Kyoto. Mas se implementarmos na prática o Protocolo de Kyoto, reduzindo o desmatamento, essa pode ser a nossa contribuição.” E de fato conseguimos. Então, as metas que o Brasil conseguiu são metas em cima de um dever de casa que já vinha sendo feito. São metas ousadas. O problema no meu entendimento são algumas posições um pouco reativas. A gente dizer que vai acabar com o desmatamento ilegal só em 2030, daqui a 15 anos... Eu não consigo entender isso, nem do ponto de vista da lógica. No Brasil nós temos 57 mil pessoas assassinadas por ano. É difícil alguém dizer “a partir de agora a política de combate à violência vai ter assassinato zero.” Mas nós não podemos dizer que vamos tolerar assassinato até 2030. Então, a nossa meta é que não tenha nenhum tipo de desmatamento. Não posso ter um quantum de desmatamento ilegal. Esse foi o arranjo feito e, no meu entendimento, deu um sinal equivocado. Aumentamos significativamente os nossos investimentos em energia renovável em outras fontes, solar e eólica. Ainda não é na quantidade e na velocidade que o Brasil tem o potencial de fazê-lo. Mas as metas do Brasil com certeza são metas ousadas. As metas da COP21 são metas ousadas. O que elas são é incompatíveis com o volume de recursos que está sendo aportado para que sejam alcançadas. Eu comparo isso àquele rapaz que foi se encontrar com a noiva e dizia “por você eu subiria as mais altas montanhas, por você eu atravessaria os oceanos...” E ela perguntou “e ontem, por que você não veio?” E ele disse “porque estava serenando.” São coisas tão grandiosas, com um volume de recursos tão parco, tão pequeno. Mas são metas sem sombra de dúvidas ousadas, e a ciência influenciou diretamente para que não fosse diferente. Então, agora, o problema é aportar os recursos financeiros humanos e tecnológicos para alcançarmos as metas.

Carolina Vera (Universidade de Buenos Aires) – Qual é a sua perspectiva sobre como o mundo pode encontrar uma solução alternativa ao

modelo de países extremamente consumidores/consumistas, que condicionam o desenvolvimento de países em desenvolvimento e emergentes, que provisionam e materializam esse consumo?

Marina Silva - É uma equação complexa, porque eu sempre digo que o padrão americano, japonês e europeu de produção e consumo não pode ser universalizado para todas as regiões do mundo, para os 7 bilhões de seres humanos. Nós estamos dizendo que seremos 9 bilhões daqui a 30 anos, mas o Viriato Soromenho, em artigo que escreveu num livro muito interessante chamado “O ambiente na encruzilhada”, ele diz que é muito mais que isso, porque os chineses e os indianos estão adquirindo hábitos ocidentais de alimentação. Hoje, um chinês ou um indiano bem alimentado consome 250 quilos de grãos por ano. Um ocidental consome 800 quilos de grãos. E ele está dizendo que não serão apenas 9 bilhões. Você vai ter mais três pessoas virtuais se esse padrão de consumo continuar a ser estendido. Não há capacidade de suporte para isso no planeta. Pelo menos é a conclusão dele. E esse padrão, se não pode ser universalizado, não tem como ser eticamente defendido. Porque não podemos dizer que existem seres humanos de primeira classe e de segunda classe. Então, nós vamos ter que buscar um padrão de produção e consumo, de bem estar, que possa ser universalizado - pelo menos do ponto de vista de almejarmos e de termos alguma base de sustentação para isso. E talvez essa ideia do ter e do ser nos venha em socorro. Porque se há limites para ter, não há limites para ser. Há limites para esse padrão, para desejar infinitamente ter coisas, mas não há limites para desejar ser o melhor poeta, pintar o melhor quadro, escrever o melhor artigo científico. Enfim, ser o maior montanhista. Não há limites para ser. E isso é um deslocamento. A subjetividade humana é capaz de fazer esse tipo de coisa. É muito fácil defender o meio ambiente no país dos outros. Difícil é defender o meio ambiente no ambiente da gente. É muito fácil se preocupar com a emissão de CO₂ do desmatamento da Amazônia. Difícil é se preocupar com a emissão de CO₂ dos seus carrões. Então, nós vamos ter que fazer esses deslocamentos e eu acho que eles já estão acontecendo como tendência no mundo. Hoje, 17% dos jovens americanos não querem mais o carro como o presente da maioria. Eles querem uma vivência, uma experiência, aprender uma língua, ou uma viagem. Querem meios de transporte eficientes, querem uma série de outras coisas. Mas isso tem muito mais a ver com ética e valores do que

apenas com técnica. Se não apostarmos em novos ideais identificatórios talvez deixemos de nos sentir livres. Porque o planeta nos limita. Como é que vamos nos sentir produtivos e livres em um planeta que nos limita? Só há uma possibilidade. Se passarmos dos limites extensivos para os limites intensivos. Nos limites extensivos a gente compete um com o outro por recursos, por espaço, por uma série de coisas. Nos limites intensivos eu posso desejar exponencialmente ser o melhor poeta e isso não vai destruir você. Seja você também o melhor poeta.

Carlos Nobre – As pesquisas de opinião sobre os grandes temas do momento, ambientais principalmente, de desenvolvimento sustentável, feitas por órgãos internacionais que aplicam a mesma pesquisa em muitos países do mundo, elas sempre colocam o brasileiro como o primeiro, segundo ou terceiro mais preocupado com essas questões. Por exemplo, é o primeiro mais preocupado com o desmatamento de florestas, é o segundo mais preocupado com mudanças climáticas. Até em perguntas do tipo “você pagaria mais por um produto, por ele afetar menos o meio ambiente”, o brasileiro é segundo ou terceiro a concordar. Esse nível de preocupação nas pesquisas é o mesmo dos países escandinavos, que têm os níveis mais altos do mundo. Eu não entendo essa desconexão. Nos países escandinavos estão sem dúvida, os povos mais preocupados com sustentabilidade em todas as suas dimensões. Mas aqui no Brasil, enquanto o povo reage muito bem nas pesquisas com toda essa preocupação, essa correia de comunicação não chega à sua parte final, que é a ação. Na sua visão, o que falta? Eu não queria uma resposta simples, do tipo “é o nível de educação do Brasil.” Será que é isso? Porque a gente ouve muito “o brasileiro não tem educação, falta educação básica, falta educação para a ciência”, mas eu queria ouvir a sua perspectiva.

Marina Silva – Eu acho que no Brasil essa popularização do tema se deve muito a uma disposição que os cientistas têm de um diálogo profícuo com os formadores de opinião, com a imprensa, que acabou se tornando mediadora dessa informação. Porque de certa forma é um código quase fechado, uma linguagem hermética, mas no Brasil a gente conseguiu, e graças a algumas lideranças políticas do mundo da ciência, não sei se consigo me explicar. Você é uma delas, o Antonio Nobre e tantos outros. Pessoas que foram capazes de se tornar líderes no debate com a sociedade de uma forma

compreensível. Isso precisa se ampliar cada vez mais, até porque ultimamente nós fomos perdendo no Brasil muito do que surgiu a partir de 1992, que foram as editorias da área de meio ambiente. Hoje esses especialistas dentro da grande mídia viraram quase que espécie ameaçada de extinção, e obviamente que esse trabalho foi e continuará sendo fundamental para popularizar o tema das mudanças climáticas. Infelizmente a gente aprende pelo amor ou pela dor. Tem uma aprendizagem que vem da formação da consciência, da discussão, da popularização do tema, mas tem uma que vem também já pelos efeitos concretos que as pessoas estão vivendo, da nossa difícil capacidade de adaptação. Todas as vezes que acontecem as catástrofes ambientais no Brasil as pessoas popularmente fazem associação disso com problemas de mudanças climáticas, não necessariamente de acordo com os parâmetros da ciência. Em relação à gestão pública, estamos vendo agora o debate das prefeituras. É uma questão que, me parece, não está presente. Uma cidade como São Paulo, por exemplo, eu não sei qual foi o nível que alcançou aqui o debate sobre mudanças climáticas, sobre a agenda de adaptação e mitigação, mesmo com o problema da escassez hídrica que tivemos. As grandes metrópoles, que podem ter grandes soluções para grandes problemas em relação a essa agenda, não estão fazendo o debate. Aliás, está muito difícil debater até os outros temas. Mas em relação a esse eu sinto uma aridez. A crise econômica também acaba ofuscando isso no Brasil e no mundo, porque parece que existem outras prioridades, quando no meu entendimento essa é a prioridade das prioridades. Porque nós até podemos resolver o problema econômico, mas se não resolvermos esse, teremos muitas dificuldades. Por que temos uma preocupação elevada, comparável aos países escandinavos, e lá eles traduzem isso para alguma ação prática e aqui ainda não fomos capazes de fazer o mesmo? Não fomos em termos, eu acho. Porque tudo se dá primeiro no nível da consciência. Até que isso se traduza no nível prático, há um processo de amadurecimento. Talvez até pelas experiências milenares desses povos, esse processo tenha sido mais bem metabolizado. No nosso caso, ele está em fase de metabolização. É algo que está sendo ingerido e que não tem tempo ainda de virar músculo, de ter alguma consistência prática. Agora, sinceramente, os tomadores de decisão não ajudam. Nós sabemos que, para combater a varíola, o exército teve que invadir a casa das pessoas e obrigar a tomar a vacina. Foi uma atitude autoritária, mas foi uma decisão das autoridades sanitárias da época. Eu vi grandes manifestações no Brasil, pessoas preocupadas com saúde, com meio ambiente, com educação. Os 20 centavos

eram só um pretexto. Era como se eles dissessem “me deem a vacina para um novo modelo de país, uma nova forma de prioridades, de serviços públicos. Nós nos mobilizamos para isso. Tomem uma atitude.” Não aconteceu nada do ponto de vista das grandes decisões políticas. Obviamente que você pode, no espaço da política, ser um bom educador ou um péssimo educador. Quando a Noruega se dispõe a fazer um plebiscito explicando o Fundo Amazônia, é porque eles querem convencer as pessoas de que de fato isso vai ajudar a Amazônia. Porque estava havendo uma reação. “Vai pegar o dinheiro dos noruegueses para levar para o Brasil?” Temos grupos que reagem. Mas as lideranças políticas pagaram o preço de ajudar a convencer as pessoas de que aquilo era uma coisa boa. Aqui você diz que é possível aumentar a produção por ganho de produtividade e não porque você vai expandir predatoriamente a fronteira agrícola e as autoridades políticas a primeira coisa que fazem é baixar uma Medida Provisória para acabar com as restrições às reservas legais. Então, sinceramente, o povo diz “nós temos a sensibilidade para fazer. Paguem vocês também o preço para fazê-lo.” Eu sempre fui a liderança política mais impopular do governo do presidente Lula. Eu me lembro que nas campanhas as pessoas às vezes não queriam que eu fosse a certos lugares, porque perderiam voto. Mas eu não estava ali para ganhar popularidade. Eu estava ali para fazer o que era necessário numa agenda de quem é ministro do Meio Ambiente. Acho que a população está fazendo a sua parte e tem uma parcela que ainda não entendeu que está surgindo no mundo um novo sujeito político. Que está surgindo um novo ativismo político, mas esse novo ativismo também precisa contar com alguma superfície de sustentação. Para poder prosperar, como tem prosperado em outros países do mundo. A mudança no começo, como diz Edgar Morin, é apenas um desvio. Nós temos que fazer alguns desvios prosperarem. As empresas, os políticos têm poder de fazer esses desvios prosperarem. Quando eles não fazem, é uma energia que se perde. Eu concordo, não é só uma questão de nível de educação. Um dos maiores ambientalistas, um dos maiores visionários da Amazônia era um homem que mal foi alfabetizado, chamado Chico Mendes. Então, se o critério fosse ter conhecimento técnico-científico, ele não teria sido o expoente da Amazônia. Depois o próprio Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) confirmou em suas pesquisas as intuições de Chico Mendes.

TEMA: OBSERVAÇÕES E ATRIBUIÇÃO DE CAUSAS DA VARIABILIDADE E EXTREMOS CLIMÁTICOS

TÉRCIO AMBRIZZI (USP)

Ouvinte da área de arquitetura e urbanismo – Qual o papel das cidades com todo o protagonismo que elas têm nos fenômenos de aquecimento urbano, não só na meso e grande escala, como a meteorologia trabalha, mas também nas questões da microescala, dentro dos planos de pesquisa que já foram contemplados e para os planos futuros? Como a questão das cidades pode entrar na discussão e como podemos contribuir para a discussão?

Tércio Ambrizzi – Na verdade, dentro deste nosso projeto já existiam algumas componentes nessa área, mas alguns outros projetos acabaram se destacando. O próprio Prof. José Marengo tem projetos ligados à parte de cidades. O Prof. Carlos Nobre liderou um grupo de pesquisa exatamente estudando toda a variabilidade climática dentro da cidade de São Paulo. Talvez a pergunta que pudesse ser feita é como esses resultados já conhecidos estão sendo utilizados pelos tomadores de decisão. A cidade de São Paulo, em particular, tinha um ritmo muito bom na última gestão do município. Nessa gestão atual se perdeu um pouco o interesse em relacionar a variabilidade e a sustentabilidade da cidade com as mudanças climáticas. Esperamos que agora, com esses novos estudos relacionados à parte de grandes cidades, isso possa ser retomado e muitos desses estudos que já estão feitos possam servir de base para novos trabalhos, melhorando essa interação com os tomadores de decisão.

José Marengo (CEMADEN) – A título de informação, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) está preparando um relatório especial sobre mudanças climáticas e cidades costeiras, trabalhando um pouco nessa direção.

Mariana Egler (MMA) – Como está ocorrendo a aproximação do conhecimento que vocês estão gerando com a disseminação desse conhecimento na ponta? Por exemplo, algumas questões são superinteressantes, como as frentes frontais que não avançam. Muitas vezes estamos em um período muito seco, esticado, aí eu entro no site do INPE para saber se

há alguma explicação de mais longo prazo para esse fenômeno climático e essa informação tão sofisticada ainda não está lá. Como você enxerga a possibilidade de aproximação entre essa pesquisa de ponta com a informação e a disseminação do conhecimento?

Tercio Ambrizzi – Todo mês há uma discussão climática organizada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), junto com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Dentro dessa discussão climática, em geral são convidadas algumas pessoas do próprio governo, inclusive aquelas que usam essa informação. Já é um ponto de partida. Mesmo dentro da USP, no meu grupo, todo mês fazemos uma discussão e emitimos um relatório, como faz o próprio INPE. Não fica claro para nós se os tomadores de decisão estão utilizando ou não essas informações para tomar as decisões. Eu participo de um grupo mais fechado, que está muito atento às discussões. Nesse grupo entra o Ministério das Minas e Energia, entra a Agência Nacional de Águas, o Operador Nacional do Sistema Elétrico, que está mais ligado à transmissão, eles estão lá presentes e ouvem com muito interesse a discussão do clima, sobre o que vai ocorrer nos próximos meses. Isso ficou muito ativo durante o período da crise hídrica que nós tivemos dois anos atrás. Portanto, eu acho que, de uma forma geral, para o público, tem chegado muito através dos jornais, da mídia. Para aqueles que precisam de uma informação mais específica, eles têm procurado nas páginas ou têm se dirigido especificamente a esses órgãos. Não sei se algo integrador já existe. Acho que não. É uma coisa a ser trabalhada.

Ouvinte que não se identificou – Dentro desse tema integrador, você destacaria algum trabalho voltado para o semiárido brasileiro?

Tércio Ambrizzi – Tivemos alguns, mas não muitos. Há alguns estudos na parte de modelagem, isso tem bastante. Os modelos estavam sempre dizendo que aquela é uma região que poderia ter diminuição de chuvas em cenários futuros. Alguns estudos também mostram claramente que nos últimos anos o nível de chuva na parte nordeste do Brasil tem diminuído bastante em relação a outras regiões. Então, esses trabalhos acabaram focando nisso, inclusive na parte de fluxo de umidades que vêm tanto da parte

Atlântico Tropical como Atlântico Tropical Sul, mostrando que um dos problemas de lá não é a falta de umidade. Na verdade, há fluxos de umidade passando por todo o nordeste e se dirigindo à Amazônia. O grande problema, efetivamente, é o fato de estar numa região onde há muita subsidência, o que impede que as nuvens cresçam muito. E, portanto, não há o volume de chuva que ocorre em outras regiões. Se você intensifica a convecção na Amazônia você intensifica ainda mais essa subsidência e acaba diminuindo a precipitação ali. Outro ponto, já sabemos que a variabilidade da temperatura da superfície do mar do Atlântico e do Pacífico também acaba influenciando, e alguns estudos mostraram que tem havido uma tendência de aumento dessa temperatura na parte do Atlântico Tropical Norte e nesses últimos Niños. Essa variação no Atlântico Tropical Norte faz com que a zona de convergência intertropical, que é muito importante para as chuvas do Nordeste, não desça com tanta frequência, ou desça menos. E com isso há de novo problemas ali. Então, foram vários estudos tentando explicar por que é que tem havido esse déficit mais constante de chuvas no Nordeste.

Ouvinte que não se identificou - Nós estamos trabalhando, na Secretaria de Meio Ambiente do Rio de Janeiro, no Inventário 2016 de geração de gases de efeito estufa. Eu tenho feito críticas aqui em São Paulo, sobre o Plano Diretor, e a pergunta é sobre mudanças intraurbanas. Porque no GHG Protocol e nos inventários, o uso do solo entra muito na mudança de rural para urbano e só. E nós temos mudanças significativas intraurbanas. Por exemplo, o Plano Diretor aqui de São Paulo propõe um alto grau de verticalização dispersa. Então, esses efeitos intraurbanos, eu estou buscando se há elementos ou pesquisas que aprofundem essa variação mais micro em cidades, que é onde há um grande campo para o desenvolvimento desses estudos de geração de gases.

Tércio Ambrizzi - As pesquisas nessa área ainda são muito raras e poucas. Ao longo desses últimos anos é que nós temos aumentado o nível de conhecimento sobre a variabilidade climática nas cidades. Se você me perguntar daqui a dois ou três anos, acredito que teremos avançado um pouco mais. Existem alguns projetos já submetidos, eu mesmo participei de alguns. A USP, por exemplo, criou, dentro do Instituto de Estudos Avançados, um grupo de estudos de clima e megacidades abrangendo toda a sua cadeia. O Prof. José Marengo tem liderado projetos nessa área.

José Marengo – Se você procurar os relatórios do GT-1 e GT-2 do IPCC, do Quinto Relatório, há um capítulo especial sobre áreas urbanas, tanto áreas continentais como costeiras, sobre elevação do nível do mar e tempestades. Há mais pesquisas, também dentro da Rede Clima, em uma área que trabalha com cidades.

TEMA: DESASTRES NATURAIS

REGINA ALVALÁ (CEMADEN)

Ursula Oswald Spring (Universidade Nacional do México) – Vejo que vocês distinguem claramente entre fenômenos hidrometeorológicos e geofísicos. Não obstante, tanto na América Central como no México, acontecem as duas coisas juntas. Ou seja, furacão, deslizamento de terra, terremoto e erupção vulcânica. É muito complicado porque é preciso vincular esses grupos para poder agir. Se eu tenho terrenos amolecidos e tenho um tremor, obviamente a probabilidade de um deslizamento é muito maior. A segunda pergunta é: Até onde vocês estão utilizando os sistemas modernos e os celulares para alertas antecipados, tanto em termos pessoais como em termos de televisão, para que se alcance a todos em caso de uma grande emergência? E a terceira pergunta: Como lidar com o vandalismo, que é um problema gravíssimo em todos os sistemas de monitoramento?

Regina Alvalá – Respondendo à primeira questão. Todo o esforço que estamos fazendo no Brasil pressupõe que não temos que lidar com desastres de origem geofísica. Nós não temos terremotos, temos pequeninos tremores de terra, mas não tão significativos que culminem em desastres. Da mesma forma, por exemplo, trabalhamos muito com o Japão, mas não dá para implementar os modelos que eles desenvolveram para lá porque o país não tem encostas habitadas e no Brasil nós temos. Então, é fundamental adequar metodologias de forma que possam ser aplicadas levando em conta as singularidades de cada um. Por outro lado, temos um país de dimensões continentais e isso nos traz outra problemática, que eu vou vincular com a sua terceira pergunta, que é em relação ao vandalismo na rede de observação. Nós temos cerca de 5.500 equipamentos instalados e estudamos cuidadosamente onde instalá-los. Ainda que haja vandalismo, ele é muito pequeno em termos percentuais. Mas acontecem. O que fizemos previamente

à instalação e temos feito com esse trabalho de educação é conscientizar a população, os jovens, da importância de preservar a rede. O sonho era ter pluviômetros instalados na praça e que não fossem depredados ou não tivessem componentes roubados. Com relação à segunda pergunta. No status vigente, toda essa base de informações chega ao CEMADEN em tempo real, via telefonia celular. Isso permite que os operadores olhem em tempo real os dados. Com relação a informar a população sobre a ocorrência de um desastre, no atual modus operandi não há a divulgação diretamente à população. O alerta sai do CEMADEN e vai para outro centro, que os repassa para as defesas civis. Elas é que ficam incumbidas de retirar a população da localidade se o nível de alerta demandar, pela iminência de um deslizamento ou inundação. Mas já sentimos a necessidade de avançarmos mais, não só em outros mecanismos de divulgação dos alertas propriamente ditos, mas de políticas mais robustas para que a população de fato tenha acesso à informação.

TEMA: BIODIVERSIDADE

JEAN OMETTO (INPE)

Carlos Nobre – Tanto no Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT), quanto na Rede Clima, desde o início, a pesquisa tem sido focada nos impactos. É mais difícil propor de fato estratégias de adaptação cientificamente embasadas. A minha pergunta é: Como adaptar e o que adaptar, para reduzir a perda de biodiversidade em relação à mudança climática? Eu não estou falando de fragmentação, de poluição, isso se conhece muito. Acho que tem que ser uma linha de pesquisa muito importante na segunda fase do INCT. Você mostrou todos os hotspots do Brasil, áreas que já estão ameaçadas. Aí vem a mudança climática. Vamos imaginar um cenário ruim. Aumento de 4°C, 5°C. É improvável, mas não é impossível. Há estudos que mostram que existe 15% de probabilidade de o Brasil aquecer 3°C com o cenário do IPCC de estabilização. 15% não é desprezível. O que se faz para adaptação em biodiversidade?

Jean Ometto – Essa é uma questão desafiadora, porque um dos elementos críticos da biodiversidade é o sistema ter oportunidade de reagir a um impacto. Isso passa necessariamente por uma estrutura de paisagem.

Essa estrutura de paisagem pode estar associada a áreas de proteção e tem que estar associada a elementos de conectividade. Então, a adaptação da biodiversidade à mudança do clima é um mecanismo intrínseco da biodiversidade. Dá para mexer muito pouco nisso. O que é possível trabalhar é no sentido de como é que se pode, através de uma questão de ordenamento territorial - se eu pudesse chamar assim sem entrar na questão política dessa história -, influenciar a composição da paisagem. Isso é um elemento muito crítico. Quando se pensa em biodiversidade aquática, por exemplo, esses elementos da paisagem também são relevantes, especialmente na biodiversidade de sistemas aquáticos terrestres, que no Brasil está muito mais em risco do que a terrestre. A biodiversidade aquática do Brasil está terrivelmente em risco comparada com a biodiversidade terrestre em sistemas de água doce. Os sistemas estuarinos, por exemplo, também passam por ação de redução da quantidade de poluentes, vamos dizer assim, ou de excesso de nutrientes que chegam nesses elementos. Então, ativamente, como é que se pode trabalhar com a biodiversidade para que a resiliência aconteça, eu não vejo como pode ser essa composição. O que eu entendo é como é que se criam elementos dentro do sistema que permitam que ele possa se adaptar ou se adequar a situações novas. Obviamente vai haver mudanças. Vai chegar a um outro equilíbrio em algum momento. Isso faz parte da capacidade de algumas espécies de resistir. Temos exemplos muito interessantes que são dramáticos, como o experimento Seca Floresta na Amazônia, que reproduziu um evento extremo. Aquilo ali é o extremo da seca, com uma frequência muito grande. O que se percebe é que há algumas espécies que reagem melhor ou pior, no sentido de sobrevivência àquele impacto. Então, eu vejo um pouco por aí, desenvolver experimentos que nos permitam entender um pouco mais. Por exemplo, o INCT apoiou o experimento FACE, também na Amazônia. Entender um pouco mais como a biodiversidade, nesse caso florestal, reage à mudança climática também é importante, mas isso passa um pouco por essa ordenação territorial.

Carlos Nobre – Dez anos atrás, coincidentemente, eu estava no mesmo voo de um grande líder científico brasileiro, o Dr. Warwick Estevam Kerr. E ele me disse: “A solução para diminuirmos o risco de perda da biodiversidade brasileira, da Amazônia, é preservar sementes, os germoplasmas das espécies endêmicas mais ameaçadas – ele estava falando de plantas – e transportá-los para a serra capixaba, aquela elevação no Espírito Santo que

chega a 1.000, 1.100 metros.” Eu fiquei sem resposta, porque eu não sou da área de biologia. A minha pergunta é: esse tipo de abordagem de achar um clima no futuro que vai ser parecido com o clima da Amazônia, e no entendimento do Dr. Kerr - eu nem sei se esse é o caso -, aquece 4°C, a temperatura na serra capixaba seria semelhante à temperatura da Amazônia hoje, isso tem algum fundamento?

Jean Ometto – Fundamento biológico, eu acho que até tem. Mas um dos grandes problemas da biodiversidade é espécie invasora. Isso é um fato claro, veja o exemplo do tucunaré, que é clássico. Eu sou mais da filosofia não de que se deva sair da relação com a natureza para que a natureza se vire, não é isso. Mas há elementos de relação entre os processos ecossistêmicos, que hoje já conhecemos, que na minha percepção é o que devemos buscar preservar, para que esse processo aconteça. Guardar germoplasma, sim, sem dúvida nenhuma. Mas deveríamos pensar em reorganizar a paisagem, uma paisagem natural, através de mecanismos como esse.

Moacyr Araújo (UFPE) – Vou fazer uma provocação. Existe uma crítica grande em cima da questão da definição das áreas de proteção ambiental. A minha pergunta é: nós estamos ficando com aquilo que ninguém mais quer? E a segunda, não seria interessante, e talvez isso já aconteça, essa é minha curiosidade, pensar em uma estratégia de definição de áreas de proteção que levasse em conta justamente essa macromanutenção de biodiversidade? Não algo pontual, não de uma determinada espécie. Conectividade, por exemplo. Existe isso no Brasil, nós planejamos a área de proteção ambiental pensando na manutenção da biodiversidade?

Jean Ometto – É muito difícil pensar nisso. A definição de uma área de proteção não é trivial. Porque há elementos que competem com aquilo que é essencial para nós. A produção de alimentos, por exemplo, a questão da água. Há elementos que são críticos. Precisamos ter um determinado reservatório porque precisa ter manutenção de fornecimento de água, sem falar de energia, e isso vai impactar em determinada biodiversidade. Então, não é trivial. Eu acho que passa pela sua segunda pergunta, que é na realidade a definição disso. E ela tem que partir, no meu entendimento, primeiro de um respeito a outras espécies. Isso passa pela questão da paisagem. É interessante que normalmente quando se pensa em biodiversidade, se pensa

em floresta. E nós sabemos que não é isso. Teve o problema de Mariana, que teve um impacto absurdo na biodiversidade, as pessoas se sensibilizaram por isso, mas tinha muito peixe de lagunho que morreu que não tinha nada a ver com aquela região. A manipulação do sistema pode criar problemas. A proposta de que haja uma harmonização entre o que você entende como elementos críticos da paisagem para a sobrevivência humana, seja água, seja terra, seja lazer, seja o que for, e a conservação da biodiversidade endêmica, da biodiversidade nativa, eu acho essencial. Até em construção de política pública. Se entendemos elementos de paisagem e de conectividade como importantes, eles têm que estar contemplados nessa ordenação territorial. A ideia é que nem todo elemento da paisagem que tem biodiversidade tem que ser preservado. Exatamente pelas necessidades. É preciso buscar o equilíbrio. Eu acho que tem algumas coisas acontecendo. Por exemplo, a integração agricultura-pasto-floresta não é necessariamente uma integração em prol da biodiversidade. É uma integração para aumentar a produtividade por área e ter uma relação mais equilibrada entre diversos elementos de produção e de conservação do solo. Inclusive conservação do solo é outro grande negócio. A biodiversidade do solo é enorme. Então, essas áreas que permitem que núcleos de vegetação ou núcleos de diferentes espécies coexistam e possam se conectar é muito importante. Isso é a base dos serviços ecossistêmicos. Ou seja, essa *Nature's Benefits to People* é um pouco isso. Tem ecólogos que defendem a biodiversidade sociofuncional. Você decide, a partir de elementos que são favoráveis a uma determinada atividade humana, qual biodiversidade deve ser preservada. Que elemento da paisagem tem que ser preservado. Porque não tem sentido nenhum preservar o planeta para não estarmos nele. Temos que preservar o planeta para estarmos nele, mas não podemos estar sozinhos aqui. Claro, nós não vamos ficar, mas a questão é até onde a decisão do que tem e o que não tem que ficar passa por esses elementos. Tem que ser uma co-construção. O caso da abelha é clássico. Quem planta café sabe que tem que ter abelha. Senão não fertiliza. Há uma série de outras espécies que têm a sua função, então é muito difícil definir quem fica e quem vai. A história da fumigação na Flórida foi isso. “Vamos matar esses mosquitos que têm zika.” Mas matou o resto também. Agora, para recuperar a população de abelhas que morreram é um grande problema.

APRESENTAÇÃO DA TERCEIRA COMUNICAÇÃO NACIONAL DO BRASIL À CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (TCN)

MÁRCIO ROJAS (MCTIC)

Jornalista que não se identificou – Eu gostaria de sugerir uma edição da Terceira Comunicação Nacional em linguagem voltada para o público leigo, mais acessível.

Márcio Rojas – É uma sugestão muito bem-vinda. É um desafio para a ciência de uma forma geral aprender a se comunicar melhor com a sociedade e particularmente importante para as mudanças climáticas, uma vez que muitas ações individuais, opções de consumo, por exemplo, têm um impacto considerável nessa questão. Não só com relação a emissões, mas em relação a uma série de outros esforços.

Jornalista que não se identificou – No momento em que foi preciso acionar as termoelétricas, já existia tecnologia no Brasil para utilizar a biomassa, e agora existe o biogás também. Então, não estou vendo acontecer uma integração nas ações. Parece que ainda não existe energia renovável no Brasil. Mas existe.

Márcio Rojas – Eu vou retomar o comentário altamente relevante do Prof. Carlos Nobre hoje pela manhã, que é a necessidade de interagir com os colegas do governo federal e os tomadores de decisão com relação a políticas públicas de uma forma geral, para garantir que se aproveite o melhor conhecimento científico disponível. Esses dados de impactos e vulnerabilidades que depois se tornaram um livro, quando chegamos às últimas versões, a primeira coisa que fizemos foi organizar uma série de reuniões com as pastas setoriais para expor em primeira mão os resultados que havíamos alcançado. Colocamos à disposição os consultores que haviam sido mobilizados para a execução do nosso projeto e a ideia era começar um diálogo de forma que pudéssemos compartilhar esse conhecimento, permitindo que a partir daí se avançasse nos seus devidos setores. Isso foi feito. No MMA acho que fomos duas vezes, para discutir biodiversidade e acho que recursos hídricos, com os colegas da ANA participando. Fomos ao Ministério da Saúde e expusemos o trabalho que foi feito. Fomos ao Ministério de Minas

e Energia, de onde saímos quase escoltados pelos seguranças. E fomos a diversos outros ministérios. É um desafio mesmo. Fizemos isso já com os estudos de impactos e vulnerabilidades e temos a expectativa de fazer novamente com os estudos de opções de mitigação. Para que vocês tenham uma ideia, estamos trabalhando com um modelo que, no início do estudo de opções de mitigação, trabalhava com aproximadamente 300 tecnologias. Hoje, por conta do nosso estudo, esse modelo roda com 8.000 tecnologias mapeadas. Dessas 8.000 tecnologias, entre 300 e 400 podem ser consideradas de baixo carbono. Então, temos todo esse estudo setorial já realizado, já mapeado, com os impactos, custo de abatimento e a expectativa de novo é fazer esse road show pela Esplanada e levar para o Ministério das Minas e Energia, por exemplo, uma série de tecnologias em energias renováveis. É um esforço que fazemos, de forma doméstica, sem grande repercussão de mídia nem nada, mas é uma preocupação nossa.

Ouvinte que não se identificou – Há alguma análise das causas dessa evolução de 2010 para 2013, que parece que foi o ponto alto?

Marcio Rojas – Com relação às causas das emissões, o que percebemos, grosso modo, é que a redução foi basicamente motivada pelo controle do desmatamento da Amazônia, e um pouco do Cerrado. Uso da terra foi o único setor que apresentou de fato um grande pico em 2004 e depois regrediu nas emissões. Os outros setores vão todos gradativamente aumentando, uns um pouco mais íngremes outros um pouco menos, mas a redução pelo controle do desmatamento foi tão relevante que fez com que as emissões globais de fato descessem. E aí há uma série de questões que vão impactar na curva de emissões de um país, desde recessão econômica, por exemplo - não estamos produzindo, então obviamente não estamos emitindo também. Rebanho, por exemplo, embargo à carne bovina: para de produzir, a fermentação entérica diminui e emite menos metano.

Carlos Nobre – Pode parecer um pouco defesa de um território onde eu militei durante tantas décadas, mas eu acho que tem um certo sentido. Por que o Brasil precisa de um Ministério da Ciência e Tecnologia? Todo mundo sabe que no jogo político cada lobby, cada interesse puxa para o seu lado. Então, o MCTIC também trabalha para ter mais recursos para a C&T. Agora, há também o fato de que esse ministério constituiu várias redes de

pesquisa e, para esse caso em especial, a Rede Clima. Há um corpo de pesquisadores brasileiros do melhor nível - o mérito da constituição da Rede Clima foi a excelência - participando, mas há o tempo da geração do conhecimento, que é lento. Às vezes o tempo da política é rápido. A Rede Clima é exatamente o mecanismo que facilmente conecta o conhecimento com a necessidade da informação científica relevante, de qualidade. Eu devo realmente agradecer a todos, e muitos da Rede Clima são também do INCT, é uma comunidade muito próxima. Quando nós decidimos, e isso eu estava nessa função no ministério, que desta feita o inventário seria baseado em novos dados científicos e no melhor dado científico possível, foi uma decisão política do ministério, e a Rede Clima respondeu de forma estupenda. Eu agradeço muito a coordenação do José Marengo, agradeço a todos da Rede Clima, inclusive a CETESB, que entrou na Rede Clima para fazer a parte dos resíduos. Os outros já eram participantes, a Agricultura, coordenada pelo Eduardo Assad, a Energia, coordenada pela COPPE, o Luiz Pinguelli Rosa, o Emilio (La Rovere), o Roberto (Schaeffer) também ajudou. E a parte mais complicada, de Uso da Terra, que não tinha uma instituição só, porque o Brasil tem muitos biomas, é muito complexo, nós então constituímos uma nova sub-rede, coordenada pela Mercedes Bustamante, envolvendo os melhores nomes de cada um dos biomas do Brasil. Então, o que foi esse esforço? Um esforço de dois anos foi uma resposta muito rápida, porque não foi só síntese do conhecimento existente. Foi feita muita pesquisa nesse intervalo e ela gerou o que sempre se gera quando você coloca uma alta dose de ciência em qualquer coisa: novos conhecimentos. Esses novos conhecimentos modificaram o conhecimento que tínhamos antes, que era bom, não estou fazendo nenhuma crítica ao que veio antes. Só que a qualidade dos dados melhorou muito. Corrigiram-se muitos erros, o que é normal em ciência, mas o grande diferencial é que foi a primeira vez que todo o embasamento para os números que entraram no inventário foi feito por pesquisadores. No governo, até porque ele quer muitas respostas rápidas, é comum, em qualquer lugar do mundo, contratar consultoria. E o MCTIC também contrata várias consultorias. Nesse caso, por eu estar lá e ser da comunidade científica, optamos por fazer diferente. Não era contratação de consultoria. Era contratação da Rede Clima, com seus pesquisadores pra trazer esse input. E, lógico, quando você traz a ciência de melhor qualidade - houve um enorme esforço de todos esses componentes - os números melhoraram muito. Em todos os setores. Em especial no Uso da

Terra foram descobertos alguns equívocos do relatório anterior e se trouxe novos dados que não estavam à disposição cinco anos atrás. Isso é comum em ciência. A ciência se auto renova, se auto descobre, você não pode ficar parado. E quando isso foi feito, houve uma diferença. Agora, não tem jeito de voltar atrás. Esse é o melhor número. Outra coisa importante, que tomador de decisão detesta, é quando se fala em margem de erro. Esses números têm uma enorme margem de erro ainda. E ela está lá, não está escondida de ninguém. As margens de erro estão lá todas colocadas. Por exemplo, nas estimativas de uso da terra a margem é de 21%, 22%, se não estou enganado. É uma margem de erro. Então, cientificamente se diz assim, “a emissão de usos da terra bruta, sem as remoções, é de 1 bilhão de toneladas mais ou menos 20%.” Então, é entre 800 milhões e 1 bilhão e 200. Cientificamente, é isso que você pode dizer. Não pode dizer diferente. A emissão da pecuária, que é o setor que mais emite na agricultura brasileira. Há 215, 220 milhões de cabeças de gado no Brasil. Qual é o erro das emissões da pecuária? 30%. Então, lógico, nós pesquisadores entendemos isso, nós trabalhamos com incertezas científicas da mensuração. E nós vamos sempre buscar reduzir as incertezas. Essa é uma realidade. Foi uma luta política muito grande para dizer que esses números são muito melhores e cientificamente totalmente defensáveis. Está tudo publicado, a metodologia, os dados, é tudo transparente. Houve toda essa crítica, audiências, “n” revisões, isso foi feito como nós, pesquisadores, fazemos quando submetemos um artigo científico. Revisão por pares, revisão rigorosa, mas os números eram diferentes e muda até aquela base que o Márcio Rojas mostrou no começo, que tem uma implicação política. As estratégias de mitigação para atingir 1,2 bilhão de toneladas no Brasil em 2030 nós temos que trabalhar mais. A mitigação terá que ser mais efetiva. Então, eu queria destacar esse papel, a importância do MCTIC. Eu até suspeito que se esse trabalho não tivesse sido feito dentro de um ministério onde a moeda corrente é conhecimento científico, se fosse um ministério mais finalístico eu não sei se esses dados teriam sido disseminados, divulgados e nós estaríamos nesse ponto. Penso até que talvez não. Então, eu parabeno o ministério, foi uma vitória da ciência.

José Marengo – A principal diferença entre a Segunda e a Terceira Comunicação foi justamente que, além de mostrar os cenários climáticos, mais quente, mais frio, mais seco, mais chuvoso, há toda a parte que seria a projeção de impactos, de uma forma integrada. Já existiam anteriormente

estudos de energia, saúde, mas dessa forma integrada, com o melhor e mais recente da modelagem, acho que foi uma experiência única. Esperamos na Quarta Comunicação continuar da mesma forma, usando o BESM e *downscaling* de outros modelos, para ter uma melhor amostragem e também contemplar setores que não aparecem, como elevação do nível do mar, cidades e urbanização, coisas que faltaram, pela falta de pessoal, e obviamente, como o Carlos Nobre mencionou, a comunidade científica está aí para isso.

29/09/2016

CONFERÊNCIA MAGNA – SEGURANÇA ENERGÉTICA

LUIZ PINGUELLI ROSA (UFRJ)

Carlos Nobre – Todos os planos do governo vêm respondendo à Convenção Climática desde 2009. O governo sinaliza uma diminuição radical do desmatamento da Amazônia e uma “meia estabilização” das emissões da agricultura, que são muito difíceis de diminuir. Ninguém consegue fazer o gado emitir menos. E um grande aumento da emissão da energia. Isso foi o plano de 2020, que você conhece muito bem. Eu participei do plano ativamente, a COPPE participou ativamente na época, em 2009, do que foi a preparação da proposta brasileira. A proposta que nós levamos, da Rede Clima, que era de pesquisadores da COPPE, não foi adotada pelo governo, que jogou muito mais alto na meta de 2020. As NDCs continuam com a mesma lógica, muito melhores até que a proposta de 2020, mas com a mesma lógica. Continua desacelerando o desmatamento, agora no Brasil como um todo, e não só na Amazônia. Prevê 12 milhões de restauração de florestas, o que é uma meta muito difícil, estabiliza a meta de agricultura em 2030, em 470 milhões de toneladas de CO₂ equivalente - hoje nós estamos em 430. E a emissão da energia continua subindo. Eu me pergunto, qual é a lógica embutida nisso? Porque eu acho muito mais difícil diminuir a emissão proveniente do gado do que implantar a energia renovável. Em todos esses planos governamentais há coisas muito mais difíceis. Como as emissões de pecuária, que são colocadas, mas a energia é sempre o setor onde se coloca o menor desafio. O desafio da NDC brasileira para energia me pareceu muito modesto. Um pequeno aumento do percentual de energia renovável até 2030, perto do potencial que nós temos. Eu queria que

you elaborasse um pouquinho sobre por que a energia é sempre a mais preservada nessas metas de redução.

Luiz Pinguelli Rosa – Eu acho que é porque há a ideia de que a energia é necessária para o desenvolvimento. Você se lembra no tempo da nossa discussão anterior a Copenhague, que foi quando acendeu na cabeça do governo que o Brasil podia ter uma proposta de redução? Havia discussões com o ministério do Lula, com o Lula presente. Você participou de algumas, eu participei de várias, a Suzana (Kahn), que trabalhava junto com o Carlos Minc, também, e houve uma mudança de posição dos ministros. Predominava a posição de que o Brasil não tinha que assumir nenhuma redução e o Lula enxergou, ele mesmo, que a redução do desmatamento estava ocorrendo, desde o período da Marina Silva no MMA. E isso era uma grande contribuição, e era possível de ser feito. Então, não havia porque o Brasil não se comprometer. O desmatamento já estava ocorrendo. Já a contribuição da energia era pequena, mas na medida em que o desmatamento diminuiu, a contribuição da energia não é mais pequena em termos relativos. Agora, na energia nós temos um problema porque já temos um percentual elevado de renovável. Apesar disso, nos anos recentes, o crescimento da eólica tem sido muito grande, o que dá margem novamente a uma melhoria do setor de energia. Mas ainda é muito modesto. Os percentuais de Paris foram um pouco maiores, mas ainda muito modestos. A eólica, apesar de crescer muito, ainda tem uma contribuição pequena. Mas já ultrapassou de longe a nuclear. Na solar é que estamos muito atrasados. A participação da solar ainda é muito pequena. E a participação só vai crescer quando ela se popularizar e as famílias puderem instalar coletores em casa, porque hoje o preço da energia nas casas é superior a 500 reais o megawatt/hora. Enquanto a geração elétrica de uma hidrelétrica é da ordem de 150, ou até menos. Precisa ter um plano de financiamento, porque o coletor é caro. É da ordem de 30 mil reais. Mesmo para uma família de classe média é meio pesado.

Débora, do Consórcio Intermunicipal do ABC – Como o sr. analisa o momento atual? Estamos no limiar da mudança das fontes de energia, com a possibilidade do fim da era dos combustíveis fósseis? Para o Brasil, a descoberta do pré-sal foi benéfica ou apenas chamou a atenção das grandes corporações para forçar a privatização dessas reservas?

Luiz Pinguelli Rosa - Eu acho que as energias fósseis tendem a ter um papel cada vez menor, mas ainda estão longe de acabar. Elas terão uma redução, mas uma presença por muitos anos, por décadas, no setor energético. O mais difícil é o transporte. O Brasil usa o etanol, os EUA, usam o etanol e os europeus usam o biodiesel. Mas ainda assim, o panorama é dominado pela gasolina e pelo óleo diesel. No Brasil, agrava o fato de que o sistema de transporte é todo rodoviário. A carga brasileira é rodoviária e isso é irracional, não é a melhor maneira de transportar carga. E aí o combustível fóssil terá ainda seu papel. A descoberta do pré-sal foi benéfica ou apenas chamou a atenção? A descoberta do pré-sal era inevitável. Era o caminho que a Petrobras tomou. E foi bom descobrir, ter petróleo em vez de importar, porque nós ainda importamos. Entretanto, eu creio que essa pressão sobre a Petrobras para privatizar, vender pedaços da Petrobras, você tem razão. É atraída pelo pré-sal. Há interesse das grandes empresas em entrar no Brasil. Elas já estão no Brasil. Apenas são forçadas pela lei a ter parceria com a Petrobras. Porque a Petrobras é operadora exclusiva do pré-sal. Há um projeto de lei em andamento para mudar isso, permitindo maior participação das empresas estrangeiras. Eu não acho isso bom. Eu acho que seria melhor ficar como está. Mas uma das razões para a mudança do governo da Dilma para o Temer foi exatamente essa. Poder mudar essas coisas. Provavelmente será mudado. Você tem razão.

Enio Bueno Pereira (INPE) – Com relação à energia nuclear, eu sempre fiquei intrigado, porque ela quase sumiu de cena no Brasil, como energia de baixa emissão. A questão que eu coloco é a seguinte: se nós fizermos uma integral das causalidades do impacto das usinas nucleares do mundo versus o impacto ambiental das causalidades do combustível fóssil, ao longo do tempo, me parece que o uso do combustível fóssil tem causado males muito piores ao meio ambiente do que a energia nuclear. A nuclear tem os eventos isolados de acidentes, fazendo uma analogia, por exemplo, com desastres de avião e desastres de carro. Você pode comentar isso?

Luiz Pinguelli Rosa - São males diferentes, mas ambos têm problemas. Obviamente que o combustível fóssil é a nossa discussão, certo? Ele emite gases de efeito estufa, contribui com o aquecimento global, além da poluição local, devido a respirarmos o ar contaminado pelas descargas dos veículos que causam muitas doenças e mortes. Se você computar as mortes

causadas por essa poluição atmosférica, não o aquecimento global, mas essa local, próxima, é pior do que a nuclear. A nuclear, o problema dela é o acidente nuclear, em primeiro lugar, que pode causar vítimas, como aconteceu no Japão, em Chernobyl. Não aconteceu em grande escala em Three Mile Island, mas aconteceu no Brasil, em Goiânia, não com um reator, mas com um equipamento médico. Causa mortes. De uma maneira diferente. É um acidente que faz as pessoas atingidas serem vitimadas não como em um automóvel, continuamente, mas subitamente, por ocasião do acidente. E tem o problema da guarda do combustível usado, do material radioativo, que fica perigoso por centenas de milhares de anos, e ele tem que ser isolado da população por esse período. E não há tecnologia que garanta isso. Isso é um problema não resolvido dos reatores nucleares. O primeiro problema, do acidente, pode melhorar com tecnologia. Mas o problema do rejeito radioativo não se tem conhecimento de tecnologia que o resolva. Algumas abrandam, utilizando aceleradores de partículas para bombardear o lixo nuclear, você pode provocar algumas mudanças que diminuam um pouco o seu efeito, mas não eliminam. Então, a nuclear é um problema.

TEMA: SEGURANÇA ENERGÉTICA

ENIO BUENO PEREIRA (INPE)

Ouvinte que não se identificou – Inegavelmente, a energia eólica e a fotovoltaica são vantajosas em vários aspectos. No entanto, a estimativa de custo para uma família, por exemplo, fazer uma casa e colocar painel solar, é que ela levaria em torno de 30 anos para cobrir esse custo. Como fica isso no nível nacional?

Enio Bueno Pereira – Essa é uma questão de política, a Marina Silva mencionou isso. É preciso vontade política. Qualquer forma nova de energia, por mais tecnicamente viável que seja, ela precisa romper uma barreira de conhecimento. É preciso confiança naquele tipo de energia. E incentivos do governo para ela penetrar no sistema. Eu tenho vontade de instalar uma fotovoltaica na minha casa, mas realmente, hoje o custo ainda é alto. Porque a escala de mercado não permite no Brasil. Mas na Alemanha isso é possível. Isso acontece. Mas foi subsidiado no começo. Toda energia inicial é assim. A biomassa foi assim. O Proálcool é um exemplo disso.

Ouvinte que não se identificou – Pensando um pouco nessa questão da barreira de conhecimento, a dúvida que eu tenho é a questão do Brasil, pelo menos que eu saiba, não dominar a tecnologia de silício solar. No longo prazo, a gente não tem que pensar nisso? No silício solar, no silício médico. A gente vai continuar só montando? Isso não impacta o custo? Eu sinto um vazio, ninguém discute isso. Todo mundo fala que solar é muito bom, muito bom, mas nós não sabemos fazer.

Enio Bueno Pereira – A implantação da energia solar depende de vontade política. Parece que foi implantada recentemente uma fábrica de células de silício no Nordeste. Uma coisa bem recente. Não tenho a informação precisa. Mas nós já tivemos no passado, na crise do petróleo, que o Pinguelli apontou aqui, a Heliodinâmica, que tinha toda uma infraestrutura de produção de células fotovoltaicas a partir do silício, que nós exportamos - o silício bruto. Isso foi abandonado. Então, é preciso de uma vontade de governo. O que eu mostrei aqui são potenciais. Existe essa energia para ser explorada. A tecnologia existe e está disponível. É preciso vontade política.

Ouvinte que não se identificou – Nós temos aqui uma grande oportunidade de provocação para o palestrante e para o INCT, para a rede. A produção de energia talvez seja um grande link para todos nós. Porque ela envolve questões de segurança social, segurança alimentar e segurança energética, é claro. Nesse caso, eu vejo oportunidade de nós ‘linkarmos’ o mar com o continente, e queria questioná-lo. Será que a produção de biomassa usando, por exemplo, a necessidade que as cidades têm de biorremediação da poluição ou que a aquicultura tem de biorremediação dos ambientes costeiros, enfim, uma série de circunstâncias que a rede de maneira geral vivenciou nas suas diferentes interfaces com a sociedade brasileira, com os diferentes ambientes, biodiversidade etc., será que nós não temos que inovar na produção de energia? De fato revermos a escala de produção e talvez pensarmos na utilização do que existe hoje de produção de energia através da biomassa, mas usando como fonte de biomassa alternativas que ainda não foram exploradas mundialmente, como por exemplo, produção de biomassa localmente atendendo à questão de comunidades vulneráveis?

Enio Bueno Pereira – Eu acho que o INCT tem que ser ousado. O INCT tem que propor coisas que não estão aí. Nós temos que inovar. Então,

todas as propostas são viáveis. Por exemplo, a questão da biomassa. A produção de biomassa usa o bagaço no processo. Quando você tem períodos em que se tem menos biomassa, você pode usar a solar no processo térmico. Então, essas complementaridades... Eu acho que essas energias novas, como a solar e a eólica devem entrar complementando essas energias despacháveis como a hidrelétrica e a energia de biomassa. É isso que a rede tem que fazer. Tem que propor o que não está sendo feito. Eu apresentei grandes números. Agora, a política que vai gerir isso é outra coisa.

José Galizia Tundisi (IIE) – Eu queria levantar um problema que tem sido objeto de discussões recorrentes. O problema é a construção de reservatórios hidrelétricos na Amazônia, que tem merecido investimentos intensivos do Brasil. Existem planos de longo prazo que envolvem a construção de no mínimo mais 70 hidrelétricas na Amazônia. Acho que está na hora de deflagrarmos uma discussão bastante profunda. Eu não sou contra a construção de reservatórios na Amazônia. Mas é preciso considerar que tipo de energia deve-se usar, que rios podem ser impactados ou não. Ninguém pode imaginar que se vá fazer uma represa no rio Purus, que é um rio de alta biodiversidade e complexo. Então, é preciso essa discussão, que até certo ponto não tem sido realizada no Brasil da forma como deveria. Há grupos que são totalmente contra a construção de reservatórios na Amazônia, há grupos que são favoráveis e há grupos que pensam que é possível construir reservatórios usando tecnologias avançadas, como por exemplo, menor tempo de retenção, reservatórios de menor porte, evitar cadeias de reservatórios, que é o que aconteceu aqui no rio Tietê, onde você transformou um rio inteiro em um único reservatório, praticamente. Então, essa discussão me parece fundamental. Reservatórios na Amazônia sem dúvida causam impactos, eu tenho medido com o Prof. Pinguelli a emissão de gases de efeito estufa que em alguns casos é muito intensa em alguns reservatórios, mas é muito menor do que as termoeletricas, evidentemente. De modo que eu gostaria de ouvir quais seriam as alternativas. E tem um outro problema que está afetando a Amazônia como um todo, que é a construção de PCHs (*Pequena Central Hidrelétrica*) no Peru, Equador, Bolívia e Colômbia, nos Andes Amazônicos. Já há umas 70 PCHs construídas e umas 120 programadas, que vão causar uma diminuição no aporte de sedimentos para o baixo Amazonas. Essa negociação internacional também deveria ser considerada. Queria ouvir um pouco as suas experiências sobre isso.

Enio Bueno Pereira – Eu não tenho muita experiência nisso. Eu tenho uma opinião, que é a seguinte: essas decisões políticas precisam ser embasadas com dados. A função do INCT é fornecer esses dados para que não se fique no ‘achômetro’. Vamos explorar, montar mais hidrelétricas, precisamos de dados sobre os impactos sociais, econômicos, sobre a biodiversidade, e sobre quais são as outras alternativas que nós temos. Aqui nós apresentamos alguns dados preliminares de alternativas. Solar e eólica estão aí. O custo já está baixando. Então, é preciso colocar tudo isso na mesa e discutir. Agora, simplesmente você fazer com base em decisões políticas que não são embasadas cientificamente em dados, aí fica complicado.

Carlos Nobre – Na próxima fase do INCT, o José Marengo já sinalizou, talvez os tópicos segurança energética, hídrica e alimentar tenham que ser colocados sob um grande envoltório, o Prof. Tundisi já trouxe aqui a ligação hídrica com segurança energética, o Prof. Pinguelli também. A minha pergunta é a seguinte: vamos supor que os países sejam sérios com relação ao Acordo de Paris. Realmente os menores impactos são com a temperatura em 1,5°C. Não 2, não 3, não 4. Você mostrou um dado logo no início, que é fantástico. Nós podemos descarbonizar o sistema de energia. Nós podemos tirar o combustível fóssil. Você mostrou dados muito convincentes. Só que para 1,5°C, descarbonização é um elemento, fundamental, essencial, mas não resolve, porque nós já passamos do 1,5°C. Nós precisamos ir para emissões negativas. Aí, a principal proposta de emissões negativas é a geração termoeétrica com biocombustíveis. É o que se discute muito hoje. Até meados do século descarboniza o sistema de energia, deixa o carvão enterrado etc, e aí a grande geração elétrica vai ser a que você mostrou, fotovoltaica e eólica, biomassa, oceânica, essas novas fontes, geotérmica também, mundialmente falando, os carros vão ser elétricos, mas a eletricidade virá dessas fontes renováveis, e aí vem a questão. Como retirar CO₂ da atmosfera, para a gente voltar a 360 ppm. O que tem se discutido, muitos estudos têm sido feitos é - uma das possibilidades, porque ninguém descobriu ainda um método de engenharia revolucionário - é uma coisa mais trivial: fotossíntese. Fotossíntese e depois você faz CCS – *Carbon Capture and Storage* do efluente gás carbônico da termoeétrica a biocombustível. Mas aí entra na questão de que você precisa de uma grande área para produzir biocombustíveis para uma agricultura que, ainda que muito tecnológica, usa muita água e usa muita terra. Aí vem a questão da segurança hídrica e

da segurança alimentar. Então, eu queria só que você elaborasse um pouco as suas reflexões, nessa questão das energias renováveis, como isso pode ser realmente uma maneira de atacar essa questão complexa.

Enio Bueno Pereira – Essa pergunta é difícil de responder. Emissões negativas! Eu não sei como responder isso. Eu me apaixonei pela questão da complementaridade, acho uma questão de acesso mais rápido a uma des-carbonização. Agora, fazer isso ficar negativo, ou seja, diminuir a emissão, eu não tenho resposta para você. Fica para o próximo INCT. O desafio é imenso. Temos que ter mais grupos de pesquisa.

TEMA: SAÚDE

CHRISTOVAM BARCELLOS (Fiocruz)

José Galizia Tundisi (IIE) – Eu queria fazer um comentário sobre a relação importante entre as mudanças climáticas e a qualidade da água. Está acontecendo no mundo todo e eu também tenho casos específicos em que há um aumento da temperatura das águas interiores, rios, lagos, represas, águas costeiras e esse aumento tem ensejado a distribuição de organismos invasores de alta capacidade de produção de substâncias tóxicas. Isso é um problema de saúde muito grave relacionado com os impactos. Só um comentário rápido que depois eu vou explicar na minha apresentação, mas eu queria complementar que realmente na questão das mudanças climáticas, a qualidade da água e da saúde humana tem se agravado de forma extraordinária nesses últimos dez, vinte anos.

Christovam Barcellos– Isso é um dos exemplos de complexidade. Todos esses processos estão relacionados. Falta de saneamento que faz jogar esgoto dentro do rio. Aumenta a variabilidade do rio, com a época de seca, com o acúmulo de esgoto e o aumento da insolação, porque nem sempre a insolação pode ser vista como uma coisa totalmente positiva.

Carlos Nobre – Eu tenho dois comentários. Vocês estudaram também, você escolheu não mostrar aqui, mas eu acho que vale a pena pelo menos tocar no assunto. Ainda que tudo isso seja muito complexo, se nós não controlarmos o aquecimento global e a temperatura passar de 4, 5, 6°C - e vocês fizeram esse cálculo -, começamos a atingir no Brasil os limites

fisiológicos a que o ser humano pode ficar exposto ao ambiente. Então, alguém diz, “não, mas isso não vai chegar, tem o Acordo de Paris.” Mas existe uma probabilidade diferente de zero de alguma coisa não dar certo. Então, em saúde você sempre tem uma preocupação muito maior com os riscos do que em outras comunidades. Em saúde, normalmente, vocês não admitem altas probabilidades, não gostariam de admitir. Vejam o caso da zika. A probabilidade de uma grávida ser infectada...

Christovam Barcellos – Mas a consequência...

Carlos Nobre – É isso que estou falando, a consequência não é diferente. Se você aumentar a temperatura 6°C - o Eduardo Assad depois vai cobrir o tema também em alimentos - é um desastre. Então, quer dizer, risco tem muito a ver com o valor que nós damos. Lógico, nós damos valor à vida humana mais do que qualquer outra coisa. Se a temperatura passar de 4°C de aumento – essa rede é que fez os cálculos - 8 milhões de pessoas na Amazônia, centro do Brasil e capitais quentes e úmidas não teriam condições de sobrevivência. Teriam que ficar o tempo todo em ar condicionado. Eu digo isso porque as pessoas acham que não há limites para a capacidade de adaptação humana e eu acho que há limites. Esse é o primeiro ponto. O segundo ponto é quando você mostra esses resultados das epidemias, você destacou muito bem, dengue e zika, eu acho que, para a próxima fase do INCT, vai precisar muita pesquisa, tem muito conhecimento faltante ainda. De fato, eu como pessoa da área climática, não de saúde, não consigo entender essas flutuações de epidemia. É lógico, tem o fator humano. Mas, por exemplo, sumiu o zika do Rio de Janeiro em agosto.

Christovam Barcellos – Mas vai voltar.

Carlos Nobre – Sim, mas sumiu, e nem vocês previram. Previram baixa incidência. Nós que gostamos de fazer modelagem, eu sei que para essas questões de saúde, modelagem ainda é muito limitada. Mas acho que como questão científica, talvez para continuidade, uma abordagem um pouco mais interdisciplinar de modelagem pudesse trazer alguns elementos que, ou não estão nos modelos que vocês têm ou estão, mas não estão capturando a real dimensão e o impacto que aquele fator possa ter nessa questão de epidemia. Porque eu vejo, estou acompanhando toda essa questão das

previsões, também fiquei muito preocupado quando eu vi colegas seus da Fiocruz. Aquele manifesto para adiar a Olimpíada me pareceu um exagero, mas também ninguém previa que não ia ter nenhum caso de zika. Parece que tem algum fator de variabilidade que controla essas epidemias que nós ainda não conhecemos. Então, queria que você comentasse brevemente esses dois aspectos.

Christovam Barcellos – É um bom gancho para a gente falar dessa questão de complexidade e eventos extremos. Um aumento de 1°C, 2°C, 3°C, como média, é gravíssimo do ponto de vista da variabilidade. Eu acho que a saúde tem essa preocupação, mas talvez outras áreas também tenham. 2°C em média significam mais de 5 dias com temperaturas acima do fisiologicamente suportável, que vai matar pessoas, algumas pessoas, principalmente, que não têm ar condicionado ou que foram pegas desprevenidas. Pessoas que não têm rede social, que não têm um amigo que o tire de casa, a quem avisar que está passando mal. A mortalidade na França em 2003 com a onda de calor atingiu velhinhas, velinhos, solteiros sem amigos, existe uma população alvo mais vulnerável a esses eventos. Mas a minha encomenda, já é essa. Nós gostaríamos de ter como resultado do pessoal de modelos, na verdade, não a tendência de temperatura média nem de precipitação média. Eu sei que é um sonho quase impossível, mas quantos dias consecutivos de calor acima de 30°C teremos no próximo verão? Eu sei que é difícil em termos de modelagem, mas gostaríamos disso porque é isso que impacta. A temperatura média as pessoas se safam, têm mais tempo. Mas cinco dias com temperatura maior que 30°C matam muita gente. Então, temos que repensar essa questão de eventos extremos, claro, setor por setor. Problema por problema. Mas a média acho que não está mais ajudando. Segunda coisa, a questão da complexidade. Acho que muita gente se lembra das Olimpíadas no Rio de Janeiro, uma piscina ficou verde. E teve uma pessoa que disse que a Química não é uma ciência exata! Meu Deus do céu, mas onde é que nós estamos? Eu acho que as pessoas estão levando essa ideia de complexidade longe demais. Não é exata? Sempre foi exata, mas a piscina ficou verde por causas que não conhecemos. Essa combinação de fatores, temperatura, eutroficação, cloro baixo, é uma combinação complexa de fatores, agora, não podemos também dizer que tudo virou inexato porque se a assumirmos isso, que é o caos, tudo é incerteza, não precisamos nos reunir mais. Vamos embora para casa. Perdemos nosso papel de pesquisador.

José Marengo (Cemaden) – Uma das coisas que queremos agora com o novo INCT é ver *papers* integrados, onde vocês possam trabalhar como coautores com meteorologistas que ajudem a explicar a vocês o significado da climatologia. Talvez isso dê um contexto um pouco melhor. O INCT e a Rede Clima são redes. Queremos um pouco mais esse estreitamento.

Christovam Barcellos – Eu esqueci de fazer referência a esse estudo que o Carlos Nobre falou. Fizemos um esforço enorme de mandar alguns pesquisadores ficarem sentados ao lado de vocês para produzir esses dados e depois municipalizar. O Duarte participou disso, a Sandra Hacon. Municipalizar os indicadores para poder compatibilizar com outros que tínhamos e gerar esse cálculo. Foi um estudo superinteressante e integrador.

José Marengo – Metodologia certa, mas pessoa errada. Duarte não trabalha no CEMADEN e INPE. Você pode aproveitar as experiências que fazem parte da rede.

CONFERÊNCIA MAGNA – SEGURANÇA HÍDRICA

JOSÉ GALIZIA TUNDISI (IIE)

Renato Tagnin (IMT) – Uma primeira constatação é que os estudos e pesquisas que fazemos vêm ao encontro dessas preocupações muito bem expressas pelo senhor. Uma delas eu diria que é: não há água disponível no planeta. Toda ela está cumprindo uma função. Então, eu acho que isso seria um parâmetro interessante, digamos uma conta de chegar, para começarmos a internalizar as suas sugestões, por exemplo, no campo político e econômico. A outra questão é: muito se investe, inclusive a ciência, em tecnologia para reduzir isso e aquilo, mas tendo em vista a sócio hidrologia proposta pelo senhor, eu colocaria a questão de que nós precisamos rediscutir a soberania nacional do ponto de vista de dedicação prioritária à produção de *commodities* hidrintensivas, energointensivas, que são repelidas pelos países desenvolvidos justamente porque não querem perder seus recursos e nem querem baixo valor agregado, nem desemprego nem degradação ambiental, e que nós aplaudimos aqui. Então, muita pesquisa é gasta em torno de gotejamento, irrigação, em torno de uso de agrotóxicos de x ou y, de transgênicos etc., quando a principal questão está na opção de inserção geopolítica brasileira

em sucatear a própria indústria. Jamais chegaremos à indústria 4.0 sucateando a 0.1 que temos, investindo na Samarco da vida, na soja, que é espécie invasora, vamos chamá-la de espécie invasora porque ela é, e nos agrotóxicos, para combater a biodiversidade local que insiste em ocupar o lugar da espécie invasora. Eu gostaria de um comentário seu a respeito disso.

José Galizia Tundisi – Concordo que as quantidades de água do planeta estão ficando cada vez mais comprometidas para todas as atividades, seja para as atividades humanas, seja para sustentar os sistemas. É muito difícil hoje encontrar regiões no planeta onde nós temos um excedente de água que de alguma forma não é utilizado. É evidente que se o senhor pensar em uma área como o Amazonas o senhor tem 225 mil m³/segundo de descarga de água, mas o sistema é usado intensivamente dentro das características locais e regionais. Mas eu concordo, sim, que, cada vez mais, devido à globalização, o crescimento populacional, a intensificação das atividades humanas, as quantidades de água estão ficando de certa forma comprometidas com os usos. Acho que um ponto fundamental é que além do comprometimento das quantidades existe o que eu mostrei aqui no começo, que foi o comprometimento da qualidade da água ao longo do tempo. A minha grande preocupação quando fiz esse trabalho e estou dando continuidade a ele, para a Unesco, é justamente a toxificação da biosfera, a toxificação das águas subterrâneas e superficiais, metal pesado, poluentes orgânicos persistentes que em conjunto com a água que é utilizada estão inviabilizando enormes quantidades de água que poderiam estar sendo também utilizadas. E colocando em risco biodiversidade, fauna aquática etc. A segunda questão é que eu acho que o Brasil usa muito pouco os seus conceitos de recursos naturais. Eu acho que o Brasil tem áreas de recursos naturais em que os recursos hídricos são de extrema importância, como por exemplo, a Amazônia, o Pantanal, mesmo o rio Paraná, que é um dos grandes rios das Américas. E o Brasil usa muito pouco essa base de recursos hídricos. Tem que incluir aí a questão hídrica, a questão social, a questão da produção. Então, eu acho que o país poderia se voltar mais para essa base de recursos naturais que é pouco utilizada. O Pantanal é a maior área alagada do mundo, 200 mil km² e é pouco utilizado do ponto de vista das diferentes possibilidades de utilização, de turismo, de produção de biomassa, enfim, biodiversidade etc. Eu acho que deveríamos atuar mais nesse conjunto. Concordo em parte com as suas afirmações. Não concordo

muito com a questão da tecnologia porque a questão da tecnologia vai nos levar a um outro patamar. Nós precisamos investir na tecnologia até por uma questão de independência do país na gestão das águas e na procura de processos que podem ser desenvolvidos no país. E tem um aspecto que, na minha opinião, também deve ser considerado. Todos os nossos grandes ecossistemas naturais ou mesmo artificiais, grandes represas, reservatórios do Pantanal, Amazônia, são sistemas de uma ampla dimensão educacional. Isso precisaria ser muito mais utilizado pelo país em termos de divulgação. Todo mundo ouve falar do Grand Canyon, tem Discovery Channel do Grand Canyon etc. Nós precisamos ter muito mais possibilidades de educar a nossa população utilizando essas informações e esse conjunto de dados de recursos hídricos. E não podemos esquecer uma outra coisa. O Brasil tem 8 mil km de costa e a relação entre as águas interiores e as águas costeiras, que se dá através dos estuários, também é um outro processo importante que precisa ser considerado. Há uma contaminação permanente das nossas águas costeiras a partir da contaminação dos estuários. Por outro lado, são áreas também em que poderia haver uma maior exploração em termos de educação, turismo e inserção para melhor produção.

TEMA: SEGURANÇA HÍDRICA

ALFREDO RIBEIRO NETO (UFPE)

Carlos Nobre – Comentários e sugestões para a segunda fase do INCT. Vocês melhoraram muito, aperfeiçoaram muito o acoplamento dos modelos climáticos com os modelos hidrológicos, mas ainda falta um certo trabalho. Vou apontar um aperfeiçoamento que eu acho necessário. Quando se analisa as observações das vazões na estação seca dos tributários em Rondônia, onde já houve um grande desmatamento, ao longo da BR 364, é possível notar uma diminuição das vazões. No rio Paraná e vários outros, onde já houve 60%, 70%. Mas, na simulação, quando é desmatada toda a bacia do Madeira, que é enorme, aumenta a vazão. Então, tem uma incompatibilidade. Essa incompatibilidade precisa ser resolvida. Palpite meu: os modelos não estão calculando a evaporação corretamente, porque as temperaturas que se observam nas áreas desmatadas são muito mais altas, gerando uma evaporação muito maior do que a que o modelo está apontando. É uma sugestão para vocês olharem. Porque eu olhei os dados observacionais

e vi que a temperatura é muito mais alta do que o modelo está computando na grande simulação. Outra sugestão - e aí seria uma integração com ciências sociais - que eu acho que valeria a pena vocês olharem é essa questão de políticas públicas de mitigação da seca no Nordeste. Eu acho que pela primeira vez - pelo menos na minha experiência profissional - se constituiu um grupo de trabalho na Presidência da República em que toda a ação de mitigação foi baseada no conhecimento científico existente. Desde a seca de 2012, algumas instituições de ciência - por exemplo, CEMADEN, ANA, CPRM, INPE, Embrapa - participam desse grupo. É um trabalho que se desenvolveu ao longo de muitos anos e que direcionou os recursos que até o início de 2015 já somavam 26 bilhões de reais. Não é o objetivo aqui descrever tudo o que foi feito, mas o que me parece interessante do ponto de vista de ciência é analisar a efetividade dessas políticas públicas. Você citou várias coisas na escala regional, na Paraíba, mas essa dimensão dos recursos que foram colocados nas ações de mitigação, algumas de mais longo prazo, como os poços e as adutoras, as cisternas e todo o projeto de subsídios que foram dados para a agricultura de pequena escala etc., é um rol. Esse mecanismo que permite à ciência influenciar um pouco mais, com esses institutos que participaram durante todos esses anos, a ciência dando um conselho para política pública de mitigação, tem resultado ou não? Esse estudo não foi feito. O que foi feito foi a ação. Mas o estudo científico eu acho que é muito apropriado que o INCT e a Rede Clima realizem. O INCT e a Rede Clima têm várias dimensões, têm cientistas sociais, então eu gostaria muito de ver esse estudo. Se ele mostrar que o resultado desse tipo de investimento baseado mais em ciência dá mais resultado, por exemplo, diminuiu a indústria da seca? Essa é uma pergunta importante. Então eu queria dar essas duas sugestões. Uma é mais de modelagem, mais técnica, mas essa outra eu acho que o INCT e a Rede Clima são as melhores redes para fazer esse estudo. Essa análise me parece muito apropriada, porque integra segurança alimentar com segurança hídrica, pelo menos esses dois elementos para uma região crítica que é o Nordeste. E tem esse estudo de caso, são cinco anos de seca. Nós temos todos os elementos, uma comunidade, os vários grupos do Nordeste, esse projeto é muito baseado nas instituições e universidades do Nordeste.

Alfredo Ribeiro Neto – São bem-vindas.

José Galizia Tundisi (IIE) – Eu fiz um trabalho para o governo da Bahia, faz uns cinco ou seis anos, para examinar o projeto das cisternas, que estava combinado com o Luz para Todos. E funcionou mesmo, é preciso dizer que realmente funcionou. Foi um projeto que me deixou muito animado. Esse é um testemunho que eu queria dar. Segundo, eu acho que o acoplamento desses modelos climáticos e hidrológicos é fundamental, mas seria muito importante procurar modelos que a ANA deve ter, ou dados de qualidade de água acoplados. Um dos problemas que nós temos no Brasil é justamente a separação dos modelos hidrológicos, climatológicos dos modelos de qualidade de água. Acho que se puder juntar, nas bacias em que há esses estudos, é muito importante. Seria um avanço considerável. Tem essa conexão da quantidade/qualidade que é muito importante. Valeria a pena verificar quais são as regiões onde se pode acoplar o modelo climatológico, hidrológico e os dados de qualidade de água.

Alfredo Ribeiro Neto – A questão de mudança de uso do solo eu tenho a impressão que tem escala envolvida nisso. A temperatura é um fator que eu não tinha me atentado, mas acho que pode ser. Sobre a questão da política pública, uma coisa que sempre falam no Nordeste, a diferença é brutal. Essa é a primeira seca que eu passo na região do semiárido. Mas dizem que a diferença é muito grande, comparada com as outras. Por exemplo, com ondas de imigração, os saques, e o que se coloca são os programas de governo como uma razão para essa diferença. Mas, de fato, ninguém mediu ainda. Seria necessário medir. O problema da cisterna é que ela não cabe muito para eventos como esse, que está com 4 anos. Se a gente tem 4 meses com chuva e 8 meses sem chuva, a cisterna cabe muito bem. Mas se começa a ter sequências de anos com precipitação muito baixa, ela acaba funcionando com um reservatório para receber água do carro-pipa, que no fim é gestão de crise.

CONFERÊNCIA MAGNA – SEGURANÇA ALIMENTAR

ANTÔNIO MÁRCIO BUAINAIN (Unicamp)

Ursula Oswald Spring (Universidade Nacional do México) – Você expôs uma parte do modelo de segurança alimentar. No IPCC, por pressões, se investigou quanto foi a subsistência que produzem basicamente as

mulheres em hortas familiares pequenas, porque as grandes produções são para biocombustíveis ou para alimento de gado, não para alimento humano. Em nível mundial, a metade dos alimentos se produz por mulheres em hortas familiares. No México, por exemplo, produzimos 64%. Estamos acima dos 50%. Na África chega a 95%. Minha pergunta é quanto é esta parte da outra alimentação? E a segunda pergunta: Quanto se comprometeu o Brasil com um novo paradigma de agricultura climaticamente inteligente, ou agricultura climaticamente sustentável?

Antônio Buainain – De fato, faltou muito. Não é que eu disse só uma parte, eu disse só uma ‘partezinha’, porque é um tema muito vasto e a sua pergunta é boa porque também ajuda a plateia a entender que tem muito mais do que eu falei. Sobre o papel dessa pequena produção em geral muito liderada pelas mulheres, eu tenho algum questionamento. É muito importante que seja liderada pelas mulheres, mas ao mesmo tempo isso reflete uma situação que é de profunda instabilidade, porque são as mulheres chefes de família, mulheres chefes de domicílio, com crianças e sem cônjuge, o que dá uma situação de muita instabilidade. Essa produção é de fato muito importante para dar segurança a essas famílias, mas eu discordaria, sem negligenciar a importância de estimular esse tipo de produção, da afirmação de que as grandes produções servem para energia ou para alimentar animais. Quando vemos a melhora nutricional de fato em praticamente todos os países do mundo, vemos que a principal fonte dessa melhora no plano agregado vem dessas produções. Por exemplo, é um grande equívoco atacar a soja. A soja é uma bênção para o país que a tem e para quem pode produzir. A soja, na verdade, é uma proteína vegetal que se transforma em proteína animal barata, e que pode ser cada vez mais acessível a mais camadas de populações. Nós esquecemos que a soja se transforma em carne de frango, que é mais utilizada, que se transforma em carne suína, que em muitos países é a principal fonte de proteína animal; a soja se transforma em leite, inclusive em leite em pó, que é base de muitos programas de assistência. Então, eu não vejo essa contradição, até porque os países que produzem soja ou produzem esses grandes cultivos, não estão produzindo isso em detrimento de outros alimentos. Aqui no Brasil tivemos esse debate extensivamente. E quando limpamos esse debate da ideologia que o cerca, vemos que não houve redução da produção de alimento em função da expansão da soja e nem da expansão da cana de açúcar. Então,

eu acho que nós precisamos redimensionar esse debate. Eu acho que aqui no Brasil nós estamos entrando, sim, nessa nova preocupação de produzir de uma maneira mais sustentável, mas eu quero dizer o seguinte, não deu para desenvolver, mas isso não é algo exclusivo da pequena produção. Essa clivagem pequena produção, grande produção, produção familiar e não familiar eu acho que é equivocada e não contribui para entendermos o debate. Se nós analisarmos a trajetória da evolução tecnológica ou do pacote tecnológico, como se chama, às vezes pejorativamente, nós vamos ver que esse pacote tecnológico transitou em 30 anos de algo que era extremamente agressivo à natureza a algo que em muitos setores está construindo ou reconstruindo a natureza. Por exemplo, as técnicas de cultivo mínimo que foram desenvolvidas pela Embrapa e hoje são utilizadas aqui no Brasil, na Argentina, são uma coisa espetacular. Não tem nada a ver com a agricultura do passado, que era muito predadora do meio ambiente. E eu acho que esse condicionante ambiental é tão forte que as novas tecnologias, mesmo essas que vêm dos grandes gigantes da agricultura, terão que ser ambientalmente sustentáveis. Então, eu tenho dito que no futuro, a agricultura será agroecológica, qualquer uma. Porque nós não temos escapatória. Eu venho de um seminário sobre pecuária de corte no Rio Grande do Sul. Pecuária de corte no Brasil é tida como uma das áreas mais atrasadas. Informação que eu escutei lá, de cientistas absolutamente sérios: 50% da soja plantada na região da campanha, que é onde nasceu a soja aqui no Brasil, no Rio Grande do Sul, hoje é plantada com o sistema soja-boi, ou seja, integração lavoura-pecuária. E não vai ter escapatória, no futuro terá que ser assim, porque a soja está sujeita a muita instabilidade. A integração, digamos, melhora muito a sustentabilidade, o rendimento etc. Então eu acho que essas coisas estão nascendo e têm uma grande perspectiva. Mas eu não descarto nunca a importância da pequena agricultura, da agricultura comunitária, da agricultura de subsistência, do local, tem todo um movimento de valorização do local, mas eu não creio que o problema de segurança alimentar do mundo, do 1 bilhão de pessoas que passam fome, dos 2,5 bilhões que têm insegurança alimentar, se resolverá com essa pequena agricultura.

Ouvinte que não se identificou – Comida transgênica seria uma estabilidade na segurança alimentar em curto prazo, e uma instabilidade a longo prazo, dados aqueles componentes culturais?

Antônio Buainain – Eu não tenho bola de cristal, então não sei o que vai acontecer com a comida transgênica. Até agora, do ponto de vista científico, nós não temos evidências de que os transgênicos que estão sendo produzidos provoquem danos à saúde. Não estamos livres de ter a surpresa de daqui a algum tempo descobrirmos que sim. Minha visão, muito rapidamente, é que a engenharia genética é um instrumento muito importante para ser descartado, ou por medo, ou por razões ideológicas. Evidentemente que na indústria farmacêutica há muitos problemas, mas eu sou muito grato por, por exemplo, ter remédios hoje muito avançados para asma, porque sou asmático. Para tratar um problema de quadril, eu também sou grato por usar anti-inflamatório quase permanentemente. Causam danos? Causam, mas eu digo, a minha visão é não podemos ter medo e nem tratar ideologicamente. Você resolve isso com monitoramento sério. E se você fizer isso, você reduz os riscos, reduz os danos. Eu não preciso ter um milhão de pessoas infectadas por um produto transgênico até detectar. Então, eu tenho muita tranquilidade em relação ao transgênico, mas ele pode daqui a algum tempo virar um baita problema de saúde pública e estar em um daqueles quadrinhos como fonte de insegurança por envenenamento etc.

TEMA: SEGURANÇA ALIMENTAR

EDUARDO ASSAD (Embrapa)

Ouvinte que não se identificou – Eu sou produtora de orgânicos e tenho que provar para a minha certificadora que no meu entorno não tem nenhum produtor de milho ou soja transgênico, por conta da contaminação. Essa é uma preocupação para nós, produtores de base ecológica. É uma preocupação para vocês também, produzir sementes que não tenham esse efeito dramático no tipo de agricultura que eu pratico?

Eduardo Assad – Faz parte do nosso portfólio de pesquisa, nós temos uma fazendinha agroecológica na Embrapa Agrobiologia, no Rio de Janeiro. Eu acho que a preocupação de vocês da agricultura orgânica é absolutamente real e vocês têm que fazer isso mesmo, só que eu me informaria melhor sobre qual o tipo de transgênico a ser evitado. Porque quando estamos falando de transgenia tolerante a estresse ambiental, ela é totalmente limpa de qualquer tipo de tolerância a produto químico. Ela

é diferente da tecnologia RR. É outra técnica completamente diferente. Então, eu acho que é legítimo, vocês têm que fazer isso mesmo, senão vocês perdem mercado. E é um dos mercados que mais crescem no Brasil. Hoje, a agricultura orgânica e a agroecológica estão subindo muito, exigência do mercado. Esse controle tem que ter, gostaria que tivesse em outros produtos e produtores, mas eu acho que temos que pensar no uso correto da tecnologia. Recentemente, mais de 100, se não me engano, prêmios Nobel mandaram uma carta ao Greenpeace pedindo que reveja sua posição quanto aos transgênicos. Porque não tinha sentido continuar com aquela briga e aquela guerra forte num momento em que nós temos vacinas transgênicas, remédios que vêm de bactérias e vírus que são transgênicos. Então, é importante começarmos a olhar para quê serve a tecnologia. Não é por causa de uma ou duas variedades que são colocadas no mercado que nós vamos detonar completamente uma técnica. Nós não podemos fazer isso. Eu defendo e defendo a agricultura orgânica também. Mas vamos separar bem o que é possivelmente danoso e o que não é danoso, dentro da mesma técnica. Há uma tendência muito forte em dizer que o futuro da agricultura está ligado a quatro situações, chama-se GRIN – genética, robótica, informática e nanotecnologia. São as coisas que vão garantir a nossa produção para o futuro. Eu acho que é uma boa ideia, mas nessa genética aí é quase impossível não se mexer com transgenia. As espécies que originaram os alimentos que nós temos hoje não têm a capacidade de adaptação para esse desequilíbrio que nós geramos.

Antonio Buainain (Unicamp) – Um comentário sobre a questão da agricultura familiar e das tendências. Quando fizemos aquele dado que você apresentou, de 36% da produção da agricultura familiar, naquele mesmo trabalho havia uma segmentação por tipo de agricultura familiar. Essa segmentação mostrava a evolução de 1996 para 2006, usando a mesma metodologia, para classificar a agricultura familiar e era impressionante a concentração. Quer dizer, de alguma maneira a agricultura familiar manteve a participação no valor bruto da produção, de 36%, mas no interior da agricultura familiar se observou uma enorme concentração. De tal maneira que 68%, se não me engano, do valor total da produção da agricultura familiar eram produzidos por apenas 20% dos agricultores familiares. Isso é bem importante levar em conta, lembrar que a agricultura familiar é um universo muito diversificado, a tal ponto que eu digo que comparar

um agricultor familiar do Sul do Brasil com um agricultor familiar do Nordeste é comparar alhos com bugalhos. O agricultor familiar do Sul do Brasil é muito próximo ao megaprodutor do Centro-Oeste. A única coisa que o distingue é a escala. E essa família, quando se vê livre da restrição de escala, vira um megaprodutor do Centro-Oeste. Porque todos os mega produtores do Centro-Oeste, praticamente todos, 20 anos atrás eram agricultores familiares do Sul que migraram para essas regiões de fronteira. Então, isso mostra que essa disputa ideológica entre um e outro é uma bobagem. Mas o mais importante é que quando você mostra a tendência, essa tendência é cruel, porque aponta para uma concentração ainda maior. Você lembra que o Dr. Eliseu Alves tem aquele dado famoso que mostra que 500 mil estabelecimentos agropecuários são responsáveis por 80% do valor bruto de produção da agricultura brasileira. Nesses 500 mil tem agricultores familiares. Estão esses 20% dos agricultores familiares. Mas a tendência é quando você pega o que está acontecendo com o feijão. Por que o feijão melhorou? Porque ele se deslocou da agricultura familiar para um outro tipo de agricultor, ou para o agricultor familiar que está naqueles 20%. Milho. Deixa de ser uma agricultura de quintal para ser uma agricultura comercial. Então, você tem uma concentração brutal e isso coloca a questão que envolve segurança alimentar. O que vamos fazer com 4 milhões de agricultores familiares que estão efetivamente perdendo sustentabilidade econômica e ambiental? Porque não é só econômica, é ambiental, eles estão deteriorando seus recursos, estão em áreas degradadas etc.

Eduardo Assad – O que eu gostei nesse trabalho é ele mostra que vamos vivendo dos mitos e que podemos quebrar esses mitos. Antes era o grande produtor e o pequeno produtor. Depois começou a ter o grande produtor, a classe média rural: grande produtor, com 500 mil produtores, classe média rural, com 1 milhão de produtores, e 4 milhões de agricultores familiares. Então, começou-se a buscar uma política para esses 1 milhão de produtores, e criou-se um ministério para esses 4 milhões de agricultores familiares. Mas não se fazia uma distinção entre esses 4 milhões. Esse foi o primeiro trabalho que eu vi que colocou isso realmente. Dentro dessa categoria você tem grupos que estão muito bem informados, grupos que estão produzindo um bocado e tem grupos que estão completamente desassistidos. Infelizmente, a maior categoria é a dos desassistidos. E aí eu coloco a turma dos assentamentos, essa turma que não tem o título da terra

e, portanto, não consegue chegar ao banco, aí começa a falta de assistência técnica, todas essas coisas. Mas tem grupos, sim, que conseguem ter acesso a essas coisas e quando eu digo que a informática vai ser uma das grandes revoluções é porque todo mundo hoje está acessando informações no seu iPhone, inclusive os agricultores familiares. Eles não estão fora disso. E nós estamos começando a colocar essas informações disponíveis. Os agricultores familiares são os que mais nos pressionam na Embrapa. Eles querem soluções, sabem que existem e querem isso. Eles querem a previsão de tempo online, eles querem soluções de manejo online, eles querem a variedade para a propriedade deles online, eles querem opções de diversificação, mas como não tem extensão rural, a coisa é bem complicada. O SENAR (Serviço Nacional de Aprendizagem Rural) está fazendo um trabalho bem interessante de transferência de tecnologia, que não é bem o papel dele, mas nessa ausência de transferência de tecnologia ele está fechando essa lacuna importante. E é robusto. Nós estamos tentando colocar no SENAR essas práticas agrícolas ambientalmente corretas e isso inclui Agricultura ABC. Somente em 2015 é que grupos importantes foram chamados para discutir a Agricultura ABC na agricultura familiar. Um dos signatários da Agricultura ABC foi o Ministério do Desenvolvimento Agrário, junto com o Ministério da Agricultura. Não havia o entendimento de que aquilo servia para os agricultores familiares. Fomos lá e mostramos que funciona, que aumenta a rentabilidade. Serviços ambientais, vamos começar a discutir, o Professor Tundisi falou claramente isso aqui hoje. Mas é aquilo que você falou, nós estamos passando por um momento de mudanças muito importante no Brasil. Isso vai começar a deixar bem claro todos esses perfis de agricultura e de agricultores. Se a concentração é no Sul, se é no Centro-Oeste, se é no Nordeste, se é agricultura orgânica, se é agricultura ecológica. Por exemplo, já houve uma demanda por parte dos agricultores orgânicos para que fizéssemos o zoneamento agrícola de risco climático para a agricultura orgânica. Eu confesso que não tenho a menor ideia de como se faz isso. Conseguimos fazer para a agricultura tradicional, mas para a agricultura orgânica não sabemos. Faltam alguns dados importantes, principalmente de retenção de água no solo, para podermos fazer isso. Mas é uma demanda claríssima. Queriam isso para ter acesso ao crédito no banco e acesso a um tipo de seguro. Corretíssimo. Continuem pressionando que uma hora sai. Então é isso, esses diversos extratos estão surgindo e isso está fazendo com que novos INCTs surjam e que novas dúvidas

e dados científicos apareçam para podermos solucionar. Era muito geral. Hoje já fazemos inventário de gases de efeito estufa por bioma. O Carlos Nobre sabe muito bem como é que foram os dois primeiros. Hoje já começamos a trabalhar com fitofisionomias diferenciadas. Não era assim. Graças a essa aposta na ciência brasileira é que começamos a encontrar essas coisas. Agora, o setor privado vai ser chamado a participar. A rua tem que ter duas mãos.

Carlos Nobre – Vou fazer uma provocação. Vocês, do setor agrícola, todos mostram com grande orgulho o aumento da produtividade agrícola e quanto economizou, 700 mil km², se fosse mantida a produtividade agrícola do passado. Perfeito. É um dado, é verdadeiro, ninguém discute. Mas vamos pegar as produtividades da Argentina, de soja, de milho, de gado. A Argentina de latitudes médias, subtropical, onde eles têm a força da agricultura. Todos os fatores de produtividade na Argentina são mais altos do que no Brasil. Então, vamos olhar a produtividade da Argentina, que é um país grande também, com muitas características do Brasil, nessa região agrícola subtropical, e traçar a curva de quanto teríamos que ter de agricultura no Brasil se tivéssemos a produtividade da agricultura da Argentina. Eu acho que seria uma maneira cientificamente importante de mostrar o dado. O que nós já conseguimos e o que podemos alcançar, se avançarmos mais na produtividade.

Eduardo Assad - Dos três produtos que você falou, soja, milho e gado, soja é igual, nós temos uma produtividade muito parecida, se eu pegar o Mato Grosso. O que é curioso é que no vizinho, que é o Rio Grande do Sul, a produtividade da Argentina é muito maior. No vizinho. A produtividade da Argentina é comparável à do Brasil quando você vai para o Mato Grosso. Aí você está em 3.800 quilos por hectare. O gado é disparado, ele é melhor na Argentina, em qualidade e produtividade. Mas a nossa meta é tentar introduzir o conceito de carne e carbono neutro. Então, não nos interessa chegar a produtividades altíssimas. Porque não dá, não tem equilíbrio esse negócio. Metano é muito emissor. Eu faria dois gráficos. Aceito o desafio. Vamos comparar o crescimento relativo da pecuária argentina com o crescimento relativo da pecuária brasileira, mas vamos comparar também as emissões de metano. Pra vermos como essa coisa está crescendo e ver que tipo de sustentabilidade nós vamos encontrar.

APRESENTAÇÃO DO PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA (PNA)

MARIANA EGLER (MMA)

José Marengo (Cemaden) – Acho que por ser uma primeira versão, um passo inicial, está bastante bom. Obviamente que teria sido ideal contar com os dados da Terceira Comunicação Nacional, que trabalhou a modelagem e toda essa parte de impactos e vulnerabilidades e usá-los, para não repetir os trabalhos. Eu li o PNA, mas as medidas de adaptação estão meio escondidas no final. Há mais impactos e vulnerabilidades. Então, é um plano de adaptação ou uma outra Terceira Comunicação Nacional? Faltou um pouco isso, acho que já levantei esse comentário anteriormente. E também a parte de modelagem... Modelagem não fornece adaptação. Modelagem é uma ferramenta para criar cenários e depois avaliar impactos e vulnerabilidades. Depois vem a adaptação. Que é um pouco a sequência que foi usada no PNA. Obviamente, foram poucos modelos, as incertezas ainda permanecem. Mas o que eu acho mais importante é que faltaram alguns setores. Por exemplo, desastres naturais dentro de medidas de adaptação e mapeamento de risco, para que a população não morra nessas áreas. Mas isso também tem a que ver muito com a política. Como a política vai usar esse documento. Por exemplo, o estado de São Paulo, o Rio de Janeiro. O CEMADEN mapeou isso e essas áreas não devem ser ocupadas pela população. E a população vai e ocupa. Então, isso é medida de adaptação que ninguém está cumprindo, qual é a governança da adaptação no Brasil?

Carolina Vera (Universidade de Buenos Aires) – Minha dúvida é se esse documento é um *report*, que tem muito conteúdo, se é um planejamento sobre como é a governança, e as estruturas de políticas públicas, mas se também contém estratégias participativas envolvendo a sociedade civil e o setor privado, que sejam realmente um eixo.

Carlos Nobre – Você usou a palavra ‘infelizmente’ a Terceira Comunicação Nacional só saiu mais tarde. Mas, de fato, você sabe isso muito bem, ela estava pronta em fevereiro de 2015. Ela só saiu em abril de 2016 porque o MMA não permitiu que ela saísse antes. Então, é bom deixar claro que não foi nenhuma negligência ou atraso do MCTIC. Eu falo isso porque

eu é que fui responsável, lá atrás, pelo começo desse projeto, e quando eu deixei o ministério em fevereiro de 2015, estava pronto, com o prefácio do ministro etc. Aí o MMA não concordou e atrasou 14 meses. É importante esclarecer isso. A minha pergunta vai na mesma direção. E aqui, pensando mais cientificamente. É lógico, você pode responder mais como gestora de política pública, mas para essa comunidade e para a continuação do INCT, vou ligar as duas perguntas. O foco importante é impacto e vulnerabilidade. Sem dúvida, impacto e vulnerabilidade é condição necessária para se estabelecer política. Mas não é suficiente. E o que é que eu sinto muita falta? Inclusive no próprio INCT – isso é autocrítica. Nós precisamos ter mais ciência social. Nós precisamos interligar melhor essas dificuldades de implementar o conhecimento científico em política pública. O Marengo já falou a questão das áreas de risco, zonas costeiras, tem tanta coisa que não é muito relacionada com o impacto – é lógico, decorre do impacto. Eu acho que vocês como demandantes de conhecimento científico, demandem também dessa comunidade de ciência social. Não demandem só estudos de impactos e vulnerabilidade, melhores modelos. É preciso ter mais estudos de ciência social que possam nos fazer entender as dificuldades, as inércias que existem. Por que as políticas públicas ou não se apropriam ou demoram para se apropriar do conhecimento científico? Isso é ciência social. Amanhã nós vamos ouvir um pouco de políticas públicas, um pouco do que o INCT construiu nisso. Mas vocês são os principais demandantes. Vocês têm que encomendar pesquisas para essa comunidade e para outras que possam enxergar onde estão os obstáculos, os gargalos, as inércias do sistema político.

Carolina Vera – Não só pesquisadores sociais, mas também as pessoas. Você precisa ter atividades participativas. Muitas das ações que estão sendo definidas em um Plano Nacional de Adaptação deveriam já ser parte de uma atividade social. Se não é assim, é porque há uma barreira social e cultural que está impedindo essa forma de trabalhar. Então, você precisa também convocar a sociedade civil, o setor privado, senão não vai mudar. Ainda que os pesquisadores sociais tenham um estudo, para se passar do estudo à ação, precisa envolver as pessoas.

José Marengo – O que eu senti falta também foi de mudanças que estão acontecendo agora, por exemplo, a seca da Amazônia, as enchentes.

Teve adaptação aí? Cestas básicas são adaptação? Créditos para reforma são adaptação ou é só um paliativo até acabar a crise? Então, eu acho que faltou um pouco esse contexto histórico antes de passar a avaliar o futuro, que é fundamental.

30/09/3017

CONFERÊNCIA MAGNA – DIMENSÕES HUMANAS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

URSULA OSWALD SPRING (Universidade Nacional do México)

Carolina Vera (Universidade de Buenos Aires) – Recentemente eu li que mais de 40% dos refugiados, dos seus movimentos, ocorrem dentro dos países. E esses movimentos estão escondidos, porque estão na escala subnacional. Mas representam 40% do todo. Como é possível ajudar sem afetar as soberanias nacionais?

Ursula Oswald Spring – Se somamos a esses refugiados internos os migrantes ambientais, chegamos a 80%. Aqueles que sofrem com um desastre migram internamente. Segundo as Nações Unidas, temos 120 milhões de migrantes ambientais neste momento no planeta. E temos outros 30 ou 40 milhões de refugiados por guerra. Ou seja, temos três, quatro vezes mais refugiados ambientais, mas ninguém fala sobre esse tema. Não querem usar esse termo, de refugiado ambiental. Porque se o mundo não pode lidar com os refugiados da Síria, que são 3 milhões, e já há uma oposição total, do Brexit, da extrema direita em todos os países europeus... São contra esses refugiados que em grande parte não são culpados desses conflitos, porque são conflitos por recursos naturais, em boa parte, disfarçados de conflito por “democracia”. Todo país tem que pensar em ter zonas para receber esses tipos de grupos. E não só para habitação, mas também para integração, emprego, ou seja, toda a parte cultural. No Brasil, no Nordeste, houve migrações importantes por causa da fome. É o dilema de sobrevivência, quando a minha vida tem uma possibilidade sub ótima, que é migrar. Não quero migrar, mas se fico, morro. Então, é preciso distinguir a migração ambientalmente induzida e a dos refugiados de guerra. Não existe um só plano de adaptação que gerencie as migrações internas. Este é um ponto de vista crucial para qualquer ação no âmbito da segurança humana.

TEMA: INTERFACE CIÊNCIA-POLÍTICAS PÚBLICAS EM MUDANÇAS CLIMÁTICAS

MYANA LAHSEN (INPE) E EDUARDO HADDD (USP)

Carlos Nobre – Pela primeira vez na história do INPE, em 55 anos, há alguns anos atrás, foi criado um concurso que contratou as duas primeiras pessoas da área de ciências sociais no Instituto. Uma delas é a Myanna. Então, eu não discordo da sua avaliação geral, mas tem algumas coisas estão mudando. Um instituto tecnológico de pesquisas espaciais, cheio de engenheiros, contratou uma antropóloga, contratou um sociólogo. Então, é lógico, é ainda a ponta de um iceberg, precisa descobrir esse grande iceberg, mas existe sim uma preocupação, pelo menos na construção de uma comunidade em mudanças globais, de que ciências sociais são imprescindíveis. Mas, por outro lado, eu tenho que dizer que não é fácil motivar os cientistas sociais a trabalharem nesse tema. Essa é a experiência que eu tenho, por estar nessa área há muito tempo, eu tenho que dizer a você que a maioria dos cientistas sociais que trabalham nesse tema está no INCT. Você, o Eduardo Haddad, o Jacques Marcovitch. Quer dizer, os cientistas sociais brasileiros não abraçaram ainda esse tema como eu acho que deveriam abraçar. Não discordo nada da sua conclusão e o que foi possível arregimentar no início de 2008, 2009, de fato contribuiu imensamente. Eu acho que o sucesso desse projeto é ter pelo menos em alguma medida trazido alguns cientistas sociais para trabalharem, pensarem e interagirem dentro desse tema, mas o fato de a ciência social, da grande ciência social brasileira não enxergar muito esse tema é uma realidade. Vale a pena até estudar essa resistência e o motivo. Eu fui um dos revisores do estudo WRI sobre *shifting diets*. E eu também fiquei muito preocupado ao ver as consequências. Mas me parece mais difícil mudar dieta alimentar do que mudar o padrão de uso de combustível fóssil. Dieta alimentar parece ser uma coisa enraizada na alma das pessoas. Não é uma coisa fácil. No lançamento do programa FAPESP Mudanças Climáticas, em 2008, eu estava na mesa de abertura ao lado de autoridades, presidente da FAPESP etc, e eu falei isso, que para diminuir emissões de uso da terra e de agricultura, aqueles 24% de emissões globais que vêm desse setor, precisaria mudar a dieta. Isso em 2008. Eu quase fui tirado da mesa, tal a reação. ‘Vão acabar com o churrasco no Brasil?’ Então, na minha percepção, é muito importante o que você falou, mas tem uma dimensão, uma resistência antropológica até, de *shifting diets*. É mais difícil

mudar a dieta do que caminharíamos para uma sociedade mais na linha do que o Eduardo falou, de mudar o padrão de mobilidade urbana, de reduzir o uso de combustíveis etc., e que já não será fácil.

Myanna Lahsen – Como eu falei, as pessoas têm suas próprias culturas, limitações e problemas. Também sei que há pessoas competentes que poderiam ser envolvidas. Então, temos que trabalhar para isso, para termos mais participação nos processos de definição, para sermos mais chamados para pesquisas. Se nós olharmos a FAPESP, temos um grupo com cabeças bem parecidas tomando decisões sobre essas coisas. Eu quero agradecer ao Carlos Nobre, eu estou no INPE porque você teve essa visão de que nós precisamos das ciências sociais. Com certeza eu reconheço os avanços. A minha preocupação é que está avançando muito devagar, com pouquíssimas pessoas. Mas tem pessoas. Você entende, na sua percepção, que é muito difícil mudar as dietas. Mas as pesquisas não mostram necessariamente isso. Com conhecimento, essa é uma área em que você pode ter uma mudança mais rápida de comportamento. Muito mais do que energia, onde você está preso a uma infraestrutura, sem muita escolha individual para mudar. Então, justamente esse tipo de pressuposto, que eu respeito, é o que lidera, o que influencia as decisões de agenda. Isso tem que ser colocado explicitamente na mesa. É verdade? Realmente é difícil mudar a dieta? Vamos falar sobre isso, vamos ver o que nós sabemos e trazer isso para o Brasil. E não ficarmos com esses pressupostos implícitos e que têm um efeito fundamental. Os brasileiros não querem mudar? Eu sei que adoram churrasco. Por outro lado, os brasileiros professam em todas as pesquisas internacionais, há mais de uma década, duas décadas, que estão entre os mais preocupados com as mudanças climáticas. 90% estão preocupados com mudanças climáticas e 79% falam que estão dispostos até a se sacrificar economicamente. Mas aí tem a outra dimensão. Você tem que ter as políticas públicas para apoiar, para ajudar a criar alternativas interessantes. É muito difícil ser vegetariano no Brasil. Esse é aquele caso que precisa ter uma ação *top down* para ajudar o *bottom up*.

Carolina Vera (Universidade de Buenos Aires) – Compartilho a preocupação da Myanna de que não são suficientes os pesquisadores sociais envolvidos em problemas socioambientais. Na Argentina, a comunidade de pesquisadores sociais é muito grande, mas o envolvimento nesse tipo

de estudos é muito pequeno. Os projetos exigem que haja uma dimensão humana, mas para isso não basta escrever. É preciso ter pesquisadores sociais, tem que haver o envolvimento dos *stakeholders*. Isso está mudando em escala regional. É importante encontrar ferramentas para expandir isso em escala local. Talvez por meio do apoio de instituições que fomentem atividades de formação de cientistas sociais nessas áreas. Em relação à carne, na semana passada saiu uma estatística de consumo de alimentos na Argentina. O consumo de carne baixou. Mas aumentou o de farinhas e açúcar. Então, isso pode ser bom para o problema do gado, mas é ruim para a nutrição. Eu concordo que aí tem a ver com as políticas públicas, mas se estas não forem acompanhadas de atividades participativas de codesenho e codesenvolvimento de novas estratégias de alimentação, não haverá êxito.

Myanna Lahsen – Eu sei que há cientistas sociais trabalhando nessa área, mas tem aqueles que não querem, porque se recusam a se encaixar naquela caixinha que já está definida nas chamadas. Os cientistas trabalham com muitas áreas, que vão muito além daquilo que vem sendo reconhecido atualmente. Isso tem que mudar. Tem que haver uma relação de mais igualdade na definição do *frame* dos problemas. Isso é chave para haver mudanças.

Eduardo Haddad – Eu vou contar uma história que aconteceu ontem sobre a questão da carne. Ontem eu estive no Senado Federal em um evento organizado pelo senador Cristovam Buarque, sobre economia. Muitos economistas foram convidados para falar sobre questões do seu próprio meio, mas também sobre questões do Brasil. Um dos temas abordados foi a questão de como levar o ensino da economia que é feito hoje para a gestão pública. E aí, a ex-ministra Dorothea Werneck relatou um dos casos de maior sucesso de como você, como gestor público, obtém resultados. E a história que ela narrou foi de um processo em que se buscou organizar os produtores, os pecuaristas, para aumentar as exportações brasileiras de carne. Esse foi um processo em que o Brasil saiu de 12º exportador para 2º exportador mundial e hoje é o 1º. Então, você tem várias forças atuando, não sei o que aconteceu na Argentina, quer dizer, a demanda por carne é global, do ponto de vista da Argentina pode ser que tenha reduzido o consumo, mas as exportações tenham aumentado. É muito complexo o problema que a gente quer analisar. Tem que haver uma certa coordenação e escolhas da sociedade para decidirmos juntos.

Lincoln Alves (INPE) – Vocês praticamente estão no ponto final da cadeia de processos das mudanças climáticas, eu me refiro à análise de impacto. E nessa cadeia toda há muita incerteza, desde o ponto de vista da modelagem até esse resultado final. Como vocês avaliam isso e qual seria a mensagem que vocês dariam para nós, desenvolvedores, uma vez que do IPCC AR4 para o AR5 houve algum avanço na modelagem, mas não muito significativo. Como vocês avaliam essa questão da incerteza tanto do ponto de vista de resultado econômico como da parte social, para convencer o tomador de decisão?

Eduardo Haddad – A primeira coisa é reconhecer a cascata de incertezas que há nessas integrações de modelagem. Nosso foco tem sido reduzir essas incertezas. Na minha apresentação eu mostrei alguns trechos de pesquisas, de eixos temáticos que justamente tentam integrar de uma maneira mais apropriada os modelos econômicos com os modelos de outras áreas. O exemplo que eu dei foi de transporte. Então, se eu estou vindo de clima, passando por outras áreas, eu sei que nessa ligação transporte-economia, uso da terra-economia foram feitas pesquisas para tornar menor a incerteza em relação a essa integração. O processo é muito fértil para o desenvolvedor, você tem que trabalhar interdisciplinarmente e buscar soluções metodológicas para trabalhar com essas incertezas. Por isso a gente só fala de cenários, não fala de previsões, no caso da economia.

Myanna Lahsen – Uma coisa que chama a atenção é que, nos editais, sempre em primeiro lugar vêm as previsões, os modelos, e as ciências sociais são aquela coisa que vem lá no final. Eu contesto isso. Acho que para saber o que realmente temos que fazer na agenda de pesquisa, temos que ter uma análise que olha de forma muito mais abrangente para as causas e os desafios, quais são realmente os *knowledge gaps*. E não ficar com pressupostos também sobre isso. Eu acho que deveria ser integrado, não estou dizendo que as ciências sociais devam vir em primeiro sempre, mas eu acho que isso é um problema.

Jean Ometto (INPE) – Na questão do consumo, tem métricas que estão olhando para o que se chama de “demitarian”, não é vegetariano nem carnívoro. Então, se você está abaixo de um determinado nível de proteína eleva-se esse nível de proteína, e se você está acima, diminui-se. Porque

enquanto toda essa questão climática, essa discussão ficar centrada em carbono, é um problema. A questão carne-clima-carbono é muito unilateral. Essa é uma questão muito importante. Outro ponto é a questão do envolvimento, que é séria. Nós participamos do IPBES (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*). Serviço Ecossistêmico e Biodiversidade. Tem uma interação muito grande com comunidades. O engajamento das ciências sociais não é trivial. O processo tem que ser de uma construção. Às vezes, quando vem, mesmo em chamada, é uma coisa meio *top down*. A construção dessa relação é importante. Então, os programas que já vemos acontecendo em pós-graduação, que tentam integrar ciências sociais, como o PROCAM, que conhecemos aqui em São Paulo, enfim, esses programas são muito importantes nessa construção, o que ajuda muito no engajamento.

Representante do Instituto de Estudos Avançados da USP e Instituto Oceanográfico da USP – Eu me sinto um pouco desconfortável com essas caixinhas, tanto essa de adaptação, onde os cientistas sociais só entram na caixinha de adaptação, mas também na questão das ciências sociais como uma caixinha isolada. Eu gostaria de trazer para o debate essa questão dos profissionais que transitam entre as disciplinas. Não somente a interdisciplinaridade, mas os profissionais que conseguem transitar entre as várias linguagens científicas. Como exemplo, posso dizer que tenho trabalhado em muitos grupos com cientistas sociais e eu preciso levar sempre a perspectiva das ciências naturais nesses grupos que se dizem sociais. Senão, eles não olham, simplesmente. Nos grupos de cientistas naturais eu sou aquela que tem sempre que levar as questões sociais. Então, enquanto estamos falando dos problemas de mudanças climáticas, precisamos pensar no trânsito entre as questões e no trânsito entre os profissionais e nessas linguagens, e como vamos trabalhar juntos. Eu já deixei de fazer muitos trabalhos, porque na hora H me dizem “ah, mas você não é formada em economia”, por exemplo. Ou, “mas você é cientista social ou é cientista natural?”. O que eu quero dizer com isso é que, por exemplo, a NOAA, a agência americana, tem contratado uma série de cientistas sociais e economistas. E o que vemos, conversando com os colegas da área de oceanos é que, simplesmente, essas pessoas, esses profissionais não estão interagindo. Os cientistas sociais da NOAA continuam fazendo pesquisa social. Os economistas continuam fazendo pesquisa econômica e os cientistas naturais continuam fazendo suas pesquisas.

Realmente, o que está faltando, isso é uma discussão global, dos grandes programas sobre mudanças climáticas no mundo, é justamente essa transição.

CONFERÊNCIA MAGNA – MODELAGEM CLIMÁTICA

CAROLINA VERA (Universidade de Buenos Aires)

Mariana Egler (MMA) – Estou muito curiosa sobre os resultados, talvez seja a primeira oportunidade de ver a coprodução de um sistema de informação climática, desenhado colaborativamente entre usuários e provedores da informação. Isso é um dos objetos de desejo da coordenação do GT Adaptação. Por que só o setor agrícola e de energia e não outros setores como saúde e desastres?

Carolina Vera – Tem uma explicação. Por um lado, na área de desastres na Argentina temos um projeto paralelo. Mas em uma escala muito local. Dois, três anos atrás estavam fazendo codesign e coprodução, mas em escala municipal. Estender isso para escala de continente é algo muito ambicioso. Para codesenho e coprodução é necessário que atores dos setores se comprometam por quatro anos a trabalhar conosco. Não é uma reunião para a qual eu te convido e no ano seguinte tem outra reunião e vem outra pessoa, não. Identificamos instituições em ambos os países, Argentina e Brasil, que se comprometeram com o projeto por quatro anos. Isso no setor agrícola e, a Iracema Cavalcanti pode comentar no setor hidroelétrico.

Ouvinte que não se identificou – Eu vou fazer duas perguntas. A primeira é em que grau vocês influenciaram a chamada do Belmont Forum para fazer um projeto de codesenho e coprodução? Vocês tiveram parte nessa influência para sair um edital sobre essa temática? A segunda é se o projeto Climax de vocês incorpora o setor marítimo.

Carolina Vera – A primeira pergunta, sim, influenciamos de uma boa maneira. Belmont Forum, para quem não sabe, é um consórcio de agências de financiamento do mundo. Eles fizeram uma aliança para apoiar com fundos projetos de distintos países. A América do Sul só está representada pela FAPESP. Argentina não está. Mas a França está, assim como institutos franco-argentinos. Então, em 2013 Belmont Forum teve a ideia de fazer um chamado relacionado com monções. As agências indicaram especialistas.

Eu fui indicada pela França, Tércio Ambrizzi foi pelo Brasil, e outros pesquisadores. Fazendo codesenho com representantes das agências. E ali foi que introduzimos o conceito de codesenho e coprodução. Havia outros cientistas sociais, que promoveram esta ideia. Dois anos depois, apareceu um chamado que não falava de monções, mas sim de serviços climáticos em geral. A segunda pergunta, não está incluído o setor marítimo. Porque o estudo para o setor agrícola na Argentina é na província do Chaco, é muito difícil, não para mim, porque de clima posso diagnosticar o mundo inteiro. Mas o cientista social precisa de pessoas em campo, uma interação em longo prazo. Eu escolhi do ponto de vista de onde há maior previsibilidade. Para ter mais êxito. A província do Chaco.

Carlos Nobre – Eu estava no início do projeto Future Earth e introjetei muito desse conceito de *co-design, co-production e co-delivery*. E tive a oportunidade de, não que isso tenha sido planejado, como vocês estão fazendo. Mas aqui no Brasil aconteceu um experimento em *co-design e co-production* que não foi planejado. Que foi o fato de que no Brasil nós tivemos desde 2011 uma sequência de desastres naturais de escala regional, deslizamentos em 2011, 5 anos de seca no Nordeste, seca no Sudeste, inundações na Amazônia, secas na Amazônia. E no âmbito do governo federal foi constituído, no nível mais alto, com ministros presentes, um grupo de trabalho que se reunia quinzenalmente e que reuniu as agências científicas relevantes, o INPE, o CEMADEN, o Geological Survey do Brasil, a Agência Nacional de Águas, e às vezes até semanalmente se fazia uma análise da situação e quais as políticas de mitigação. E sempre se começava com a ciência. Foi muito interessante o experimento, primeiro porque não foi uma coisa de meses. Foram quatro anos interagindo com os tomadores de decisão no nível político mais alto. Em algumas reuniões eram ministros, algumas reuniões foram até presididas pela presidente. Agora, quase sempre com pessoas com um nível abaixo do ministro, que é o nível das pessoas que operam. Lógico, isso não é política de sustentabilidade com relação aos objetivos de desenvolvimento sustentável ou com relação à mudança climática. Era mitigação de desastres naturais. Mas é um exemplo. O que eu observei quatro anos trabalhando nisso é, primeiro: cientistas têm que diminuir muito o nível de arrogância. Nós naturalmente somos arrogantes com quem não é da comunidade científica. Nós não nos percebemos como arrogantes. Mas o estilo professoral, isso impede muito a comunicação. Segundo: depois de muitos anos

trabalhando juntos, eu acho que vocês devem estar tendo essa experiência também, você começa a encontrar a linguagem comum. Não é no primeiro dia. Então, é muito ligado ao que você falou sobre a linguagem da previsão climática. Mas é um processo interativo, não é o usuário da informação que desenha para você – “eu quero essa linguagem”. Tem que se encontrar isso trabalhando junto. Terceiro: é em muito longo prazo que o *co-design* se transforma em *co-production*. Porque no início os usuários, como não sabem os limites da ciência, têm a tendência de querer muito. Então, demora muito tempo e só depois de dois anos, e esse é um caso brasileiro que não pode ser generalizado, mas levou dois anos para os tomadores de decisão, principalmente em nível de ministros, entenderem que os cientistas não são um lobby a mais. Porque no início estávamos lá, uma coisa constituída pela Presidência da República, ninguém vai discordar, mas eles enxergam qualquer aspecto, qualquer demanda como mais um lobby. Demorou muito tempo para eles enxergarem a neutralidade da ciência. Não que a ciência seja neutra, a ciência não é neutra. Mas a neutralidade pelo menos do grupo de pessoas ali trabalhando. Não era um lobby. Então, é um processo muito lento. E, é lógico que, infelizmente, quando a coisa é nesse nível mais alto, de ministros, sofre o ciclo eleitoral. Então, esse experimento não continuou, mas eu acho que ele deixou muito aprendizado. Eu tenho ainda um outro exemplo, caso vocês não estejam estudando isso. Existe uma comunidade que já vem fazendo *co-design* e *co-development* há muito tempo. E eu só descobri isso mais recentemente. É a comunidade de saúde. A comunidade de saúde, quando tem uma epidemia, é *co-design*, eles vão ao local, falam com os *practitioners* de saúde, descobrem o que precisa, como aconteceu com o ebola, como está acontecendo com o zika, aí voltam para a comunidade científica, é um trabalho interativo que eles já fazem há muitas décadas. Então, isso me levou a concluir que talvez nessas áreas de sustentabilidade, exceto a saúde, que já atingiu esse ponto, nós tenhamos que fazer com que as pessoas, os tomadores de decisão entendam o risco da mudança climática, da mudança ambiental global, da mesma maneira que as pessoas percebem os riscos da saúde.

Carolina Vera – Deixe-me te contestar. Estou completamente de acordo com o fato de que codesenho e coprodução, de uma maneira informal, os cientistas de países em desenvolvimento têm já experimentado. Por quê? Porque estamos mais perto dos problemas. Na área de clima, ao menos,

ou de ambiente, a divisão entre básica, aplicada e prática é muito difusa. Então, essa experiência que nós temos, eu percebi no Future Earth, não existe em outros países. Com respeito aos setores, resulta evidente que é mais fácil nos setores afetados por extremos, por situações de desastres. Mas qual é a diferença entre isso e essas experiências? Essas experiências e as conclusões a que você chegou são conclusões pessoais de um pesquisador de clima. É válido, mas é a sua experiência pessoal e se você não a contasse a mim, seguramente teria se perdido. Então, esse tipo de projeto é para formalizar. Nós somos pesquisadores, então, é incluir as práticas de codesenho e coprodução com rigorosidade nos projetos. Ali os cientistas sociais têm um papel enorme. Porque eles são os que vão analisar com suas metodologias o êxito ou não dessas estratégias. Vamos publicar sobre essa estratégia. E depois aprenderemos e veremos como seguir. Essa é a oportunidade que temos agora, que é formalizar cientificamente essa prática que nós estamos fazendo e na qual temos experiência. Isso é o ideal. E o outro ponto é esse, é o tempo que leva. Para chegar a esse projeto, faz sete anos que venho interagindo com os cientistas sociais e com os serviços meteorológicos, com o setor agrícola, e leva muito, muito tempo. Por isso não podemos ser muito ambiciosos.

TEMA: MODELAGEM DO SISTEMA TERRESTRE E INTERAÇÕES BIOSFERA-ATMOSFERA

PAULO NOBRE (INPE)

Carlos Nobre – Eu queria fazer mais um comentário e elaborar um pouquinho a pergunta que você fez logo no início. Por que um país como o Brasil resolve, precisa de um esforço desses? Não seria mais fácil, mais barato ir ao banco de dados que você mesmo mostrou aqui, e pegar tudo pronto, dos países desenvolvidos que têm esse tipo de modelagem? Essa é uma questão importante. Esse projeto foi iniciado há alguns anos e foi parte de um esforço grande para que o Brasil pudesse desenvolver um modelo dessa categoria seguindo um padrão muito conhecido, que é o que os países desenvolvidos têm. É um laboratório governamental, federal que opera o modelo e numa grande rede de participação da comunidade científica nacional principalmente, mas também internacional e principalmente baseada nas universidades. Nos Estados Unidos é assim, eles têm dois modelos nessa categoria, o NCAR e o GFDL, a Alemanha tem um, o Reino Unido

tem um, a China tem um e assim por diante. São poucos países que têm essa capacidade. É muito caro, é muito difícil? Eu acho que o mais importante é porque só mesmo quando se desenvolve o modelo é possível adquirir a inteligência do conhecimento sobre o funcionamento do sistema terrestre. Se você só pega os resultados, ótimo, você pode aplicar muito bem. Você pode pegar os resultados, saber o que vai acontecer com a mudança climática daqui a dez anos, cem anos, e tem uma série de utilidades. Agora, você ter a capacidade no país, inteligência para entender o relacionamento mais profundo das relações do sistema terrestre, significa uma comunidade científica que conhece muito mais a natureza. E tem que ter curiosidade de conhecer a natureza. O tipo de pergunta que nós fazemos para um aluno de doutorado que está envolvido num projeto desses é uma pergunta mais profunda. Como funciona? E, lógico, hoje esses esforços internacionais são sempre cooperativos. Não existe um país, um modelo que quer fazer tudo. Todo mundo colabora com todo mundo. Então, aqui nós vamos melhorar alguns elementos. O BESM já traz uma série de melhorias, por exemplo, no papel do fogo, que é uma coisa muito comum ainda na América do Sul Tropical. O próprio Paulo e outras pessoas corrigiram um erro sistemático, ele mostrou um deles, corrigiram outros também, das circulações oceânicas forçadas pelo vento, que eram erros que se propagavam em muitos modelos globais e foram corrigidos. Agora essas correções estão sendo implementadas em outros modelos. Então, é uma arte, mas na verdade o desafio é intelectual. O desafio é ter no Brasil e eu espero na América do Sul - e a Argentina é muito forte, Chile, México, Uruguai, Colômbia, têm pesquisadores muito bons nessa área - uma união de esforços no sentido de ter capacidade de modelagem aqui. Não só de usar resultados de modelos. É a inteligência mais profunda, você conseguir implementar uma nova representação - eu estou tentando aqui mudar um pouco a linguagem para não usar muito o jargão da área. Mas você colocar uma representação do entendimento de um processo quantitativo da natureza, seja um ciclo biogeoquímico, seja o funcionamento do oceano, seja até coisas que têm uma interação e é a parte mais difícil da ciência do sistema terrestre hoje, é como você coloca a dimensão humana de forma quantitativa. O Paulo mostrou também os modelos do uso da terra, essa parte é ainda muito primitiva. A decisão do agricultor da Amazônia de utilizar o fogo ou não, como é que você quantifica isso? Você pode prever isso? Tem previsibilidade? Então, são questões muito importantes. Do meu ponto de vista, e por isso essa

comunidade se reuniu e é hoje uma comunidade muito grande, com muitas universidades participando, é um desafio intelectual, antes de mais nada. E o INCT e a Rede Clima entenderam que precisavam apoiar esse desafio intelectual. Você ter uma comunidade que tenha coragem de atacar essas questões mais profundas do funcionamento do sistema terrestre. E para isso precisa quantificar, infelizmente não dá só para observar. Observar é fundamental. Mas é importante transformar a observação em entendimento. E para isso precisa quantificar e o modelo nada mais é do que a ferramenta onde você coloca aquele entendimento quantitativo. Desculpe me alongar, mas eu queria explicar um pouquinho porque é que nós estamos envolvidos em uma coisa cara, uma coisa que precisa de supercomputador de ponta, não é fácil, porque a comunidade não é tão grande quando a gente compara a comunidade em modelagem do Brasil com outros países. Ela é normalmente um décimo, um vigésimo, então é um esforço – e não estou falando dos Estados Unidos, estou falando de outros países. É uma comunidade pequena, parabéns a toda essa comunidade do BESM que conseguiu chegar ao ponto que chegou.

Paulo Nobre – A sua fala me inspirou a lembrar de alguns pontos que eu deixei descobertos. Nós já fizemos quatro ou cinco escolas de verão com recursos da FAPESP, com recursos do INCT, com recursos da Rede Clima. E essas escolas de verão trouxeram alunos da Índia, da África do Sul, do Uruguai, do Chile, Cabo Verde. Quer dizer, esse exemplo, nós fizemos em 2011, novamente em 2013, em 2014. Agora em 2016 a Índia fez uma escola de verão na qual tivemos participação de alunos brasileiros. Então, essa necessidade que o Carlos colocou, de que haja um aumento do número de jovens cientistas que se engajem nisso e percam o medo do modelo... o modelo é só um conjunto de equações. A gente fala “só”, mas é o que contempla o nosso conhecimento.

Ouvinte que não se identificou – Pode ser uma pergunta ingênua mas eu gostaria de saber um pouco mais sobre como os modelos capturam o comportamento humano dentro desse sistema terrestre. Se é apenas – apenas não, mas se é pela projeção de gases de efeito estufa, se é desejável melhorar isso, qual o caminho.

Paulo Nobre – Como o Carlos mencionou, esse é o grande desafio da comunidade de modelagem. É contemplar o comportamento humano nos seus detalhes, nas equações do movimento do vento, da temperatura etc. Hoje os modelos ainda são muito, eu diria, grotescos ou brutos, no sentido de que a presença humana é detectada, por exemplo, no nosso modelo, através de um número. Que é a concentração de gases de efeito estufa, de CO₂. Ele desconsidera, por exemplo, o tipo de uso do solo. Ele desconsidera as emissões de gases de uma grande metrópole. E assim por diante. Ou de água. Aliás, uma coisa muito interessante é que não é possível falarmos em mudança climática se não conseguirmos incorporar nos modelos a variação da quantidade de recursos naturais que nós estamos usando. Ao longo dessa linha, o Lucc-ME, o modelo de uso do solo, é uma primeira tentativa. É um modelo ainda simples, vamos dizer, de contabilidade praticamente, não integra as equações do movimento, o que gera uma instabilidade, mas ele traz o conceito do que você acabou de mencionar. Será que um fazendeiro, se ele decidir fazer um determinado tipo de manejo, que usa ou não o fogo, qual o impacto daquilo na saúde? Esse é o nosso desejo. Qual é o impacto daquilo na economia, no rendimento escolar das crianças? E a gente pode brincar assim, mas todas essas coisas estão interligadas. Contudo, nós só conseguimos pensar em chegar lá se tivermos uma compreensão de como é que esses modelos funcionam, para podermos ao longo do tempo introduzir conhecimento da economia, da saúde, da agricultura, que foi a ideia da Rede Clima na sua concepção e do INCT para Mudanças Climáticas. Então, esses dois grandes projetos ansiavam um dia ter uma resposta à sua pergunta. Qual é a quantificação da ação humana no clima.

ENTENDA OS CENÁRIOS DO IPCC

Produto de sistemas dinâmicos bastante complexos, as emissões futuras de gases de efeito estufa (GEE) são determinadas por forçantes tais como desenvolvimento socioeconômico, mudança tecnológica e crescimento demográfico. Como existem as incertezas em relação à sua evolução ao longo dos séculos, os cenários climáticos são uma ferramenta apropriada para analisar as diferentes possibilidades de como o futuro poderá se desdobrar e como as atividades humanas podem influenciar as emissões futuras. Além de possibilitar avaliações das incertezas associadas, auxiliam nas análises das mudanças climáticas, incluindo modelagem do clima e avaliação de impactos, vulnerabilidade, adaptação e mitigação.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) foi criado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio-Ambiente (PNUMA) para avaliar periodicamente os impactos e os aspectos científicos e socioeconômicos das mudanças climáticas, bem como as opções de mitigação e adaptação. O IPCC fornece, a pedido, informações científicas e técnicas para a Conferência das Partes (COP) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês) e seus órgãos.

Em resposta a uma avaliação realizada em 1994 acerca dos antigos cenários de emissões do IPCC (IS92), de 1992, foi solicitada a elaboração de um Relatório Especial de Cenários de Emissões, os SRES (*Special Report on Emissions Scenarios* - Nakicenovic et al., 2000). Os SRES foram utilizados

nos relatórios TAR (Third Assessment Report) de 2001 e AR4 (Fourth Assessment Report) de 2007, terceiro e quarto relatórios do IPCC, e são baseados em um conjunto de suposições coerentes e fisicamente consistentes sobre suas forçantes, tais como demografia, desenvolvimento socioeconômico e mudanças tecnológicas.

Assim, os relatórios IPCC TAR e AR4 utilizaram os cenários SRES os quais foram construídos em função do futuro socioeconômico da humanidade, com diferenças na economia, tecnologia e população, mas não incluíram explicitamente as políticas de redução de emissões. Uma ampla variedade de cenários foi desenvolvida utilizando um número de modelos de avaliação integrados (IAM), e seis projeções de emissões particulares com base em tramas selecionadas foram selecionadas como cenários “marcadores” para avaliações. Os quatro cenários centrados no desenvolvimento econômico são indicados por “A”, enquanto os outros dois cenários voltados para a sustentabilidade ambiental são indicados por “B”. A outra dimensão básica descreve o grau de orientação global ou regional.

Os quatro cenários globais recebem o número “1”, enquanto os dois cenários mais regionalmente motivados recebem o número “2”. Com essas duas dimensões, deveríamos ter apenas quatro cenários, mas o cenário econômico/global (“A1”) é subdividido em três cenários distintos. Um é intensivo em combustíveis fósseis (“A1F1”), outro equilibra os combustíveis fósseis e não-fósseis (“A1E”), e o terceiro acabará fazendo a transição para combustíveis não-fósseis (“A1T”). Embora nunca afirmado explicitamente, esse tratamento especial de um dos cenários parece indicar que “A1” é, de fato, o cenário mais conservador, embora essa vantagem se perca rapidamente devido à subdivisão adicional do cenário “A1”.

SRES A1: O contexto e a família de cenários A1 descrevem um mundo futuro de crescimento econômico muito rápido, com a população global atingindo um pico em meados do século XXI e declinando em seguida, e a rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes. As principais questões subjacentes são a melhoria no nível de formação em todo o planeta e o aumento das interações culturais, sociais e comerciais, redução substancial nas diferenças regionais e na renda per capita. Nesse cenário, ocorrem elevadas emissões.

A família de cenários A1 se desdobra em três grupos que descrevem direções alternativas da mudança tecnológica no sistema energético, ou

seja, adoção de diferentes tecnologias de geração e uso de energia. Os três grupos A1 distinguem-se por sua ênfase tecnológica: i) intensiva no uso de combustíveis fósseis; ii) fontes energéticas não-fósseis; ou iii) um equilíbrio entre todas as fontes.

SRES A2: O contexto e a família de cenários A2 descrevem um mundo muito heterogêneo. O tema subjacente é a autossuficiência e a preservação das identidades locais. Os padrões de fertilidade entre as regiões convergem muito lentamente, o que acarreta um aumento crescente da população. O desenvolvimento econômico é orientado primeiramente para a região, e o crescimento econômico per capita e a mudança tecnológica são mais fragmentados e mais lentos do que nos outros contextos. Nesse cenário, também ocorrem elevadas emissões.

SRES B1: O contexto e a família de cenários B1 descrevem um mundo com o pensamento orientado no sentido de reduzir as emissões de GEE. A população atinge o pico em meados do século XXI e declina em seguida, como no cenário A1, mas com uma mudança rápida nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informação, com reduções da intensidade material, ou seja, menos matéria-prima na produção de bens e serviços, e um maior uso de tecnologias limpas e eficientes. A ênfase está nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, considerando a responsabilidade de cada região econômica. Nesse cenário, ocorrem baixas emissões.

SRES B2: O contexto e a família de cenários B2 descrevem um mundo em que a ênfase está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo em que a população global aumenta continuamente, a uma taxa inferior à do A2, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida e mais diversa do que nos contextos A1 e B1. O cenário também está orientado para a proteção ambiental e a equidade social, mas seu foco são os níveis local e regional. Nesse cenário, também ocorrem baixas emissões.

No seu Quinto Relatório de Avaliação de 2014 (Fifth Assessment Report - AR5), o IPCC usou os novos cenários RCPs (Representative Concentration Pathways - Moss et al., 2010, na sigla em inglês). Estes são

os chamados “Caminhos Representativos de Concentração”, e cada um dos quatro cenários considera o histórico evolutivo de diversos fatores, como a forçante radiativa na atmosfera, emissão de gases, concentração de gases de efeito estufa, e informações de tipo de cobertura terrestre, para as projeções.

Nos RCPs, o balanço de radiação é calculado pela razão entre a quantidade de radiação solar que entra e que sai da Terra e, de acordo com as concentrações de gases de efeito estufa e aerossóis, se obtém o quanto de energia ficou armazenada no sistema terrestre. As projeções dos RCPs fazem parte do conjunto de simulações do CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, Taylor et al., 2012) e a escala de projeções vai de 2.6 (cenário otimista) a 8.5 (cenário pessimista).

RCP 2.6: Foi desenvolvido pela equipe de modelagem IMAGE (Integrated Model to Assess the Global Environment) da PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. Neste cenário, o mais otimista, o crescimento da radiação atingiria seu pico no meio do século e depois recuaria. Seu nível de forçamento radiativo primeiro atinge um valor de cerca de 3.1 W/m² até meados do século, e retorna para 2.6 W/m² até 2100. Para alcançar tais níveis de forçamento radiativo, as emissões de gases de estufa (e indiretamente emissões de poluentes atmosféricos) são substancialmente reduzidas ao longo do tempo (van Vuuren et al., 2007).

RCP 4.5: Este RCP foi desenvolvido pela equipe de modelagem do JGCRI (Pacific Northwest National Laboratory’s Joint Global Change Research Institute) dos Estados Unidos. É um cenário de estabilização em que a forçante radiativa total é estabilizada pouco depois de 2100, sem ultrapassar o nível alto do longo termo do forçamento radiativo (Clarke et al., 2007; Smith e Wigley, 2006; Wise et al., 2009).

RCP 6.0: Desenvolvido pelo time de modelagem AIM do NIES (National Institute for Environmental Studies) do Japão. É um cenário de estabilização em que a forçante radiativa total é estabilizada pouco depois de 2100, através da aplicação de uma série de tecnologias e estratégias para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (Fujino et al., 2006; Hijioka et al., 2008).

Nos casos dos RCPs 4.5 e 6.0 haveria uma estabilidade. A diferença entre eles é que no RCP 4.5 o aumento de radiação se estabilizaria antes de

2100, enquanto no segundo cenário essa estabilidade ocorreria apenas em 2100. Em ambos os casos a estabilidade seria pela diminuição na emissão de gases de efeito estufa. O valor, nesse caso, dobraria no cenário equilibrado melhor e triplicaria no equilibrado pior.

RCP 8.5: Com armazenamento em torno de 8.5 W/m^2 adicionais em 2100, é o mais preocupante cenário, com aumento constante na taxa de radiação provocada pelo crescimento na emissão de GEE e em uma maior concentração. Foi desenvolvido usando o modelo MESSAGE e pelo quadro de avaliação integrada do IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) da Áustria. Este RCP, um cenário pessimista, é caracterizado pelo aumento das emissões de gases estufa ao longo do tempo, representando cenários da literatura que levam a altos níveis de concentrações. (Riahi et al., 2007).

A elevação da temperatura do planeta em 2100 seria entre $0,3$ até $1,7^\circ\text{C}$ no RCP 2.6; $1,1$ até $2,6^\circ\text{C}$ no RCP 4.5; $1,4$ até $3,1^\circ\text{C}$ no RCP 6.0 e entre $2,6$ e $4,8^\circ\text{C}$ no RCP 8.5 (IPCC, 2014).

Referências

Clarke, L., Edmonds, J., Jacoby, H., Pitcher, H., Reilly, J., & Richels, R. (2007). Scenarios of greenhouse gas emissions and atmospheric concentrations. *US Department of Energy Publications*, 6.

Fujino, J., Nair, R., Kainuma, M., Masui, T., & Matsuoka, Y. (2006). Multi-gas mitigation analysis on stabilization scenarios using AIM global model. *The Energy Journal*, 343-353.

Hijioka Y, Matsuoka Y, Nishimoto H, Masui T, Kainuma M (2008) Global GHG emission scenarios under GHG concentration stabilization targets. *J Glob Environ Eng* 13:97-108.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

Nakicenovic, N., & Swart, R. (2000). *Special report on emissions scenarios*. Special Report on Emissions Scenarios, Edited by Nebojsa Nakicenovic and Robert Swart, pp. 612. ISBN 0521804930. Cambridge, UK: Cambridge University Press, v1. July 2000.

Nobre, C. A., Reid, J., & Soares, A. P. (2012). *Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas*. São José dos Campos: INPE.

Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., ... & Meehl, G. A. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756.

Riahi, K., Grübler, A., & Nakicenovic, N. (2007). Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(7), 887-935.

Smith, S. J., & Wigley, T. M. L. (2006). Multi-gas forcing stabilization with Minicam. *The Energy Journal*, 373-391.

Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485-498.

van Vuuren, D., M. den Elzen, P. Lucas, B. Eickhout, B. Strengers, B. van Ruijven, S. Wonink, R. van Houdt, 2007. Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Climatic Change*, doi:10.1007/s10584-006-9172-9.

Wise M, Calvin K, Thomson A, Clarke L, Bond-Lamberty B, Sands R, Smith SJ, Janetos A, Edmonds J (2009) Implications of limiting CO₂ concentrations for land use and energy. *Science* 324:1183–1186.

PRINCIPAIS ABREVIATURAS E SIGLAS UTILIZADAS NESTE LIVRO

ACAS – Água Central do Atlântico Sul
AERONET – *Aerosol Robotic Network*
AMAZALERT – *Raising the about critical feedbacks between climate and land use change in Amazonia*
ANA – Agência Nacional de Águas
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
AOD – *Aerosol Optical Depth*
AOT – *Aerosol Optical Thickness*
APP (a) – Área de Proteção Permanente
APP (b) – Águas da Pluma do rio da Prata
AR4 - *IPCC Fourth Assessment Report*
AR5 - *IPCC Fifth Assessment Report*
ARM - *Atmospheric Radiation Measurement*
ARPA – Programa Áreas Protegidas da Amazônia
BDD – *Boron Doped Diamond*
BEM – Balanço Energético Nacional
BESM – *Brazilian Earth System Model*
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAR – Cadastro Ambiental Rural
CCN – *Cloud Condensation Nuclei*
CCST – Centro de Ciência do Sistema Terrestre
CDP – *Carbon Disclosure Project*

CEBIMAR/USP - Centro de Biologia Marinha da Universidade de São Paulo

CEDEPLAR/UFGM - Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Universidade Federal de Minas Gerais

CEILORS - Centro de Estudos Integrados Liminológicos e Oceanográficos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CEPAL - Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe

CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres

CEPEDES - Centro de Estudos e Pesquisas em Emergências e Desastres em Saúde

CERES - *Clouds and the Earth's Radiant Energy System*

CGE - Centro de Gerenciamento de Emergências da Prefeitura de São Paulo

CH - Circulação de Hadley

CHM-DHN - Centro de Hidrografia da Marinha-Diretoria de Hidrografia e Navegação

CHUVA - Processos de Nuvens Associados aos principais Sistemas Precipitantes no Brasil: Uma contribuição a Modelagem da Escala de Nuvens e ao GPM (Satélite Medida Global de Precipitação)

CLA - Camada Limite Atmosférica

CLC - *Chemical Looping Combustion*

CLP - Camada Limite Planetária

CMIP5 - *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*

COMBINE - *Comprehensive Modelling of the Earth System for Better Climate Prediction and Projection*

COMPON - *Comparing Climate Change Policy Networks*

CONAR - Conselho Nacional de Autorregulamentação Publicitária

COP 21 - 21ª Conferência do Clima (Conferência das Partes)

COPPE - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro

COV - Compostos Orgânicos Voláteis

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CRED-UNIDSR - *Center for Research on the Epidemiology of Disasters of the United Nations Office for Disaster Risk Reduction*

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo

DPI/INPE - Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

DSC – Doenças Sensíveis ao Clima
EDDA – Estimador de Densidade de Descargas Elétricas Atmosféricas
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMCB – Estudo Econômico das Mudanças Climáticas do Brasil
ENOS – El Niño Oscilação Sul
ENSO - *El Niño Southern Oscillation*
ENSP – Escola Nacional de Saúde Pública
ESM – *Earth System Model*
ETRs – Estações Totais Robotizadas
FA – Fundo Amazônia
FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FAPEAP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amapá
FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FBDS – Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável
FEA-USP – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da
Universidade de São Paulo
FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz
FREL – Nível de Referência de Emissões Florestais
FSC – *Forest Stewardship Council*
FUNAI – Fundação Nacional do Índio
FURG – Universidade Federal do Rio Grande
GEE – Gases de Efeito Estufa
GEM – Grande Ecossistema Marinho
GLOSS-BRASIL – *Global Sea Level Observing System*
GOAMAZON – Green Ocean Amazon
GPCP – *Global Precipitation Climatology Project*
GRI – *Global Reporting Initiative*
GT – Grupo de Trabalho
HRU – *Hydrological Response Units*
IAG/USP – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da
Universidade de São Paulo
IAM – Modelos de avaliação integrados
IAPM – Instituto Almirante Paulo Tamandaré
IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBIS – *Integrated Biosphere Simulator*
ICICT – Instituto de Informação e Comunicação em Saúde
ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IDDDRI – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Relações Internacionais
IIRC – *International Integrated Reporting Committee*
IMAGE – *Integrated Model to Assess the Global Environment*
IMBER – *Integrated Marine Ecosystem Biogeochemistry and Ecosystem Research*
IN – *Ice Nuclei*
INCLINE – Núcleo de Apoio à Pesquisa – Mudanças Climáticas da Universidade de São Paulo
INCT – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
iNDC – Contribuição Pretendida Nacionalmente Determinada (*intended Nationally Determined Contribution*)
INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INSA – Instituto Nacional do Semiárido
IO – Instituto de Oceanografia da USP
IOC – Comissão Intergovernamental de Oceanografia da Unesco
IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPSL – *Institute Pierre Simon Laplace da Universidade de Paris*
IRD -- Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento da França
IRGA – *Infrared Gas Analyser*
ISDR – Estratégia Internacional para Redução de Desastres
ISE – Índice de Sustentabilidade Empresarial
ISO – *International Organization for Standardization*
JGCRI – *Joint Global Change Research Institute*
LABOMAR – Instituto de Ciências do Mar
LABREN – Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia
LAI – Índice de Área Foliar
LAPBIO – Laboratório de Biogeoquímica Ambiental
LBA - Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia
LCP – Laboratório de Combustão e Propulsão
LES – Modelos de Simulação de Grandes Vórtices
LiDAR – Light Detection and Ranging
LULUCF - Land Use, Land-Use Change and Forestry
MAVEN – Monitor Avançado de Enchentes
MC – Mudanças Climáticas

MCG – Mudanças Climáticas Globais
MCGA – Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDT – Modelo Digital do Terreno
MEC – Ministério da Educação
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectrometer*
MPE – Ministério Público Estadual
MPEG – Museu Paraense Emílio Goeldi
NAMA – Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas
NCAR – *National Center for Atmospheric Research*
NCEP – *National Centers for Environmental Prediction*
NDC – Contribuição Nacionalmente Determinada (*Nationally Determined Contribution*)
NEB – Nordeste Brasileiro
NEE – *Net Ecosystem Exchange*
NIES – *National Institute for Environmental Studies*
NMM – Nível Médio do Mar
NPP – Produtividade Primária Líquida
OAGCM – Modelo Oceânico-Atmosférico de Circulação Global
OAS – Oceano Atlântico Sul
ODP – Oscilação Decenal do Pacífico
OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMM – Organização Meteorológica Mundial
PBL – *Netherlands Environmental Assessment Agency*
PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PELD – Programas Ecológicos de Longa Duração
PELD – Projeto Riscos Costeiros, Pesquisas Ecológicas de Longa Duração
PIB – Produto Interno Bruto
PNA – Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima
PNMC – Plano Nacional sobre Mudança do Clima
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PPA – Plano Plurianual
PRB – Produto Regional Bruto
PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira

PRODES – Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélites
ProGD – Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
PRONAF - Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PSA – *Pacific South American Oscillation*
PSE – Pagamento por Serviços Ecossistêmicos
PTNG – *Permanent Tide Network for Geodesy*
RAFA – Relatório de Atividades do Fundo Amazônia
RAIS – Relação Anual de Informações Sociais
RCP – *Representative Concentration Pathways*
ReBentos – Rede de Monitoramento dos Habitats Bentônicos Costeiros
REDD – Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal
REHMANSAs – Rede de Estudos Hidrodinâmicos, Ecológicos e de Monitoramento de Qualidade Ambiental em Sistemas Aquáticos
RINDAT – Rede Nacional Integrada de Descargas
RMR – Região Metropolitana do Recife
RMRJ – Região Metropolitana do Rio de Janeiro
RMSP – Região Metropolitana de São Paulo
SABESP – Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SALVAR – Sistema Automático de Visualização de Riscos
SAMBBA - *South AMerican Biomass Burning Analysis*
SAN – Política de Segurança Alimentar e Nutricional
SCOR – *Scientific Committee on Oceanic Research*
SiMCosta – Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira
SIN – Sistema Interligado
SinBiota – Banco de Dados da Biodiversidade Marinha
SRES – *Special Report Emission Scenarios*
SREX – Relatório Especial sobre Gerenciamento de Riscos de Eventos Extremos e Desastres para Promover Adaptação à Mudança do Clima
SUS – Sistema Único de Saúde
TAR – *Third Assessment Report*
TCN – Terceira Comunicação Nacional
TSM – Temperatura da Superfície do Mar
UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense
UFAL – Universidade Federal de Alagoas
UFCE – Universidade Federal do Ceará
UFES – Universidade Federal do Espírito Santo
UFMA – Universidade Federal do Maranhão

UFPA – Universidade Federal do Pará
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UHE – Usina Hidrelétrica
UKMO – *Met Office Hadley Center*
UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá
UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo
UNISDR – Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres
USP – Universidade de São Paulo
VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado
VCE – Variável Climática Essencial
WMO – Organização Meteorológica Mundial
ZCIT – Zona de Convergência Inter Tropical

SOBRE OS AUTORES

Alexander Turra

Possui graduação em Ciências Biológicas pela UNICAMP e mestrado e doutorado em Ecologia pela UNICAMP. É professor associado do Instituto Oceanográfico da USP, atuando nas áreas de Ecologia Marinha e Gerenciamento Costeiro, nos seguintes temas: manejo integrado e conservação marinha; impacto ambiental marinho; mudanças climáticas; lixo nos mares e ecologia de populações e comunidades marinhas. É membro do Grupo de Trabalho do GESAMP (Grupo de Peritos sobre Aspectos Científicos da Proteção do Ambiente Marinho) sobre “Fontes, destinos e impactos dos microplásticos no ambiente marinho – uma avaliação global”, e atuou no grupo de assessoramento para estudos sobre lixo nos mares e microplásticos do Programa das Nações Unidas sobre Meio Ambiente (2015-2016). Participa da continuidade da Avaliação do Milênio na Rede de Avaliações Sub-Globais e é membro do grupo de especialistas do Processo Regular de Avaliação do Meio Ambiente Marinho junto às Nações Unidas. É coordenador do Programa de Políticas Públicas do IOUSP, membro da Rede Clima e do INCT para Mudanças Climáticas, representante da academia junto ao Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro no âmbito da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar, relator de Ciências da Vida no Grupo de Avaliação Ambiental do Programa Antártico Brasileiro e membro do Conselho do Projeto de Áreas Marinhas e Costeiras Protegidas (Projeto

GEF-Mar/MMA). É autor de diversos textos científicos (artigos, livros e capítulos) e de divulgação científica. Participou e organizou eventos científicos como o 5th Brazilian Oceanography Symposium (Santos, Brasil/2011), 2nd International Ocean Research Conference (Barcelona, Espanha/2014), Third International Symposium on the Effects of Climate Change on the World's Oceans (Santos, Brasil/2015), VII International Sandy Beach Symposium (Ilhabela, Brasil/2015) e as séries de eventos do IOUSP denominadas Seminário de Manejo Integrado e Oceanos e Sociedade, além de coordenar projetos e redes de pesquisa como a Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros (ReBentos) e o Projeto Biota/Fapesp-Araçá (2012-2017).

Alfredo Ribeiro Neto

Possui graduação em Engenharia Civil pela UFPI, mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela UnB e doutorado em Engenharia Civil pela COPPE/UFRJ. É professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, onde desenvolve pesquisas envolvendo avaliação de impactos de mudanças do clima sobre os recursos hídricos, assim como medidas de gestão adaptativa dos recursos hídricos para enfrentamento de mudanças do clima. Na área de simulação matemática, desenvolve atividades em modelagem hidrológica e hidrodinâmica em sistemas de rios visando à avaliação e controle de cheias ribeirinhas. Atua na coordenação a sub-rede Recursos Hídricos da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima) desde 2009.

Alisson Barbieri

Possui graduação em Ciências Econômicas pela UFMG (1995), mestrado em Demografia pela UFMG (2000) e doutorado em City and Regional Planning pela University of North Carolina at Chapel Hill (2005). É professor associado do Departamento de Demografia da UFMG; Pesquisador do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (CEDEPLAR/UFMG); professor do Programa de Mestrado em Práticas de Desenvolvimento Sustentável da UFRRJ; e coordenador da sub-rede Cidades e Urbanização e Membro do Comitê Científico da Rede Clima (MCTIC). Foi Associate Faculty do Department of International Health da Johns Hopkins University (JHU), e diretor do Comitê Consultivo (Steering

Committee) do Population and Environment Research Network (Columbia University, New York). Tem experiência na área de Demografia, com ênfase em distribuição espacial da população, atuando principalmente nos seguintes temas: mobilidade populacional (interna e internacional), população e ambiente, dinâmica demográfica na Amazônia e no meio urbano, planejamento regional e urbano, métodos de pesquisa.

Ana Paula Aguiar

Doutora em Sensoriamento Remoto pelo INPE (2006), mestre em Sensoriamento Remoto pelo INPE (1991) e Bacharel em Ciência da Computação pela UNICAMP (1987). Trabalha no Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Atua na área de desenvolvimento de modelos e cenários de mudanças do uso da terra e emissões de gases do efeito estufa em múltiplas escalas, com a finalidade de explorar trajetórias para a sustentabilidade. Responsável pelo desenvolvimento das ferramentas LuccME (luccme.ccst.inpe.br) e INPE-EM (inpe-em.ccst.inpe.br). Interesse em processos de desflorestamento, desertificação, transição florestal, urbanização e intensificação da agricultura e pecuária.

Ana Paula Soares

Doutoranda em Ambiente e Sociedade no Nepam/IFCH/UNICAMP (2016). Mestre em Divulgação Científica e Cultural pelo Labjor/IEL/UNICAMP (2013). Jornalista pela Universidade Metodista de São Paulo (1986), com especialização em Jornalismo Científico pelo Labjor/UNICAMP (2011). Atuou de março de 2004 a julho de 2010 no setor de Gestão de Comunicação Institucional do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), na área de divulgação científica e popularização da ciência e tecnologia. De agosto de 2010 a setembro de 2014, foi coordenadora de Comunicação e Divulgação Científica da Rede Clima (Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais) e do INCT para Mudanças Climáticas. Integra a equipe responsável pelo desenvolvimento de projetos de divulgação científica e difusão do conhecimento no INPE. Tem experiência na área de Comunicação, com ênfase em Comunicação Pública de Ciência, principalmente nas áreas ambiental e espacial; Comunicação

Institucional; Jornalismo Científico; Divulgação Científica; desenvolvimento de projetos na área de difusão do conhecimento e atividades de popularização da ciência e interação com a comunidade; produção de conteúdo para materiais educacionais multimídia.

Antonio H. F. Klein

Possui doutorado em Ciências do Mar (Geologia Marinha) pela Universidade do Algarve, Portugal. É professor adjunto III da Coordenadoria Especial de Oceanografia, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, da Universidade Federal de Santa Catarina. Por 16 anos foi docente do Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar da Universidade do Vale do Itajaí. É coordenador do Curso de Mestrado em Oceanografia da CFH/UFSC, professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do CFH/UFSC, membro da Associação Brasileira de Oceanografia e da Associação Brasileira de Geofísica. Recebeu bolsa para desenvolver atividades como pesquisador visitante no Hanse-Wissenschaftskolleg (HWK) (Hans Institute for Advance Studies, Delmenhorst, Alemanha (2006/2007). Recebeu bolsa para desenvolver atividades de Ensino e Pesquisa junto ao programa de mestrado Coastal and Marine Engineering and Management - Erasmus Mundus na TU Delft, Holanda em 2008/2009. Atua na área de Oceanografia Geológica, com ênfase em Evolução e Morfodinâmica Costeira (EMC), Geoacústica e Geofísica de Rasa e Ultrarasa.

Áurea Maria Ciotti

Possui graduação (1984) e mestrado (1990) em Oceanografia Biológica pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG) e doutorado em Biological Oceanography pela Dalhousie University, no Canadá (1999). Trabalhou como professora assistente doutor RDIDP da UNESP, no Campus do Litoral Paulista em São Vicente de 2005 a 2011. É professora doutora MC3 RDIDP desde 2011 no Centro de Biologia Marinha da USP. Tem experiência em áreas sobrepostas de oceanografia física e biológica, com ênfase em propriedades ópticas da água do mar e em ecologia do fitoplâncton marinho, especialmente em regiões de plataforma continental e oceânicas. Nos últimos anos, tem conduzido trabalhos em ambientes costeiros. Participa de grupos internacionais para estudos globais sobre mudanças do clima e para a caracterização de grupos funcionais de fitoplâncton nos oceanos.

Beatriz Fátima Alves de Oliveira

Possui graduação em bacharel em Enfermagem pela UNEMAT (2007), mestrado e doutorado em Ciências da Saúde pela Escola Nacional de Saúde Pública no Programa de Saúde Pública e Meio Ambiente pela Escola Nacional de Saúde Pública/FIOCRUZ (2009-2015). Atualmente é professora do Instituto de Estudos em Saúde Coletiva da UFRJ e bolsista de Desenvolvimento Tecnológico Industrial do CNPq - Nível A da Rede Clima. Professora colaboradora no Programa de Saúde Pública e Meio Ambiente da Escola Nacional de Saúde Pública e do Programa de Mestrado e Doutorado em Ciências Ambientais da UNEMAT. Tem experiência na área de Saúde Coletiva, com ênfase em Epidemiologia Ambiental, atuando como pesquisadora em diversos projetos interdisciplinares na área de exposição a agentes químicos, físicos e biológicos e efeitos associados na saúde humana, especialmente em efeitos relacionados à exposição à poluição atmosférica, mudanças climáticas e mercúrio.

Carlos A. Garcia

Obteve o bacharelado em Física pela UNICAMP em 1977 e o título de mestre e doutor em Oceanografia pela University of Southampton, em 1986 e 1989, respectivamente. É professor titular de Oceanografia Física do Instituto de Oceanografia da FURG. Ao longo de sua carreira acadêmica na FURG, desempenhou as funções administrativas de chefe do Departamento de Física (1982-1984 e 1994-1996), reitor da Universidade (1997-2000) e diretor do Instituto de Oceanografia (2008-2013). Atua na área de Oceanografia, com ênfase em Oceanografia Polar, Sensoriamento Remoto dos Oceanos, Oceanografia Costeira e Oceanos & Clima. Foi membro do Comitê Nacional de Pesquisas Antárticas (CONAPA/MCTI) e do Ocean Colour Team da NASA. É membro do Comitê Nacional de Ciências do Mar (CCM/MCTI). Coordenou as ações da sub-rede Zonas Costeiras da Rede Clima e do INCT de Mudanças Climáticas entre 2008 e 2014. Coordena o Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SiMCosta). Revisa periodicamente artigos científicos submetidos a jornais nacionais e internacionais na área de oceanografia e sensoriamento remoto dos oceanos.

Carlos A. Nobre

Coordenador do INCT para Mudanças Climáticas. Engenheiro Eletrônico pelo ITA (1974) e doutor em Meteorologia pelo MIT (1983). Foi presidente da CAPES, secretário de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento do MCTI, criador e diretor do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e chefe do Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do INPE. Implantou e foi coordenador geral do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE. Coordenou diversos programas científicos nas áreas de ciências atmosféricas, clima, meteorologia, Amazônia e modelagem climática, interação biosfera-atmosfera, mudanças climáticas e desastres naturais, entre eles o Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA). Em 1991, propôs a hipótese de “*savanização*” da floresta tropical em resposta ao desmatamento. Orientou mais de 35 teses de doutorado e dissertações de mestrado. Publicou mais de 200 trabalhos científicos como autor ou coautor. Presidiu o Conselho Diretor da Rede Clima e é presidente do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Foi membro do “High Level Scientific Advisory Panel on Global Sustainability” do Secretário Geral da ONU (2013-2016) e é membro do “Joint Steering Committee” do “World Climate Research Programme (WCRP)”, do “Rockefeller Foundation Economic Council on Planetary Health”, do Conselho Consultivo da Conservation International-Brasil, do Conselho Deliberativo da WWF Brasil e da Coalização Clima, Floresta e Agricultura. É membro estrangeiro da National Academy of Sciences (NAS) dos Estados Unidos e membro titular da Academia Brasileira de Ciências e da Academia Mundial de Ciência (TWAS). Participou como autor de vários relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Em particular, foi um dos autores do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC, o qual, em 2007, foi agraciado com o Prêmio Nobel da Paz. Recebeu diversos prêmios e condecorações de reconhecimento científico, entre eles a Von Humboldt Medal da European Geophysical Union (EGU) em 2010 e o Volvo Environmental Prize em 2016.

Christovam Barcellos

Possui graduação em Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1983), graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1985), mestrado em Ciências Biológicas (Biofísica) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1991) e doutorado em Geociências (Geoquímica) pela Universidade Federal Fluminense (1995). É pesquisador titular do ICICT, Fundação Oswaldo Cruz. Trabalhou como sanitaria da secretarias estaduais de saúde do Rio de Janeiro (1986-1995) e Rio Grande do Sul (2001-2003). Professor e orientador dos programas de pós-graduação em Saúde Pública (ENSP) e informação e comunicação em saúde (PPGICS-ICICT). Atua na pesquisa e ensino de Geografia da Saúde com ênfase em vigilância em saúde, desigualdades socioespaciais, saneamento e saúde, e mudanças ambientais e climáticas globais, usando técnicas de geoprocessamento, análise espacial, e indicadores de saúde.

Diego Ricardo Xavier

Mestre em Epidemiologia pela Escola Nacional de Saúde Pública (2014). Graduação em Enfermagem pela Universidade do Estado de Mato Grosso (2009). Técnico em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com ênfase em saúde pública. Pesquisador bolsista pela Fundação Oswaldo Cruz no Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica. Atua na pesquisa e ensino de Geografia da Saúde. Experiência na área de Geociências nos seguintes temas: sistemas de informação de saúde, geoprocessamento, sistema de informações geográficas, cartografia e indicadores de saúde.

Douglas Gherardi

Possui graduação em Oceanologia pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande (1986) e doutorado em Geologia Sedimentar pelo Royal Holloway University of London (1996). É pesquisador da Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), desenvolvendo pesquisa em aplicação de dados de sensoriamento remoto nas áreas de gerenciamento costeiro, modelagem ecológica e oceanografia pesqueira.

Eduardo Delgado Assad

Formado em Engenharia Agrícola em 1979 pela Universidade Federal de Viçosa. Fez mestrado e doutorado em Montpellier, França, concluído em 1987. Trabalhou nos laboratórios do INRA de Avignon e do CIRAD em Montpellier. Especializou-se em sensoriamento remoto no CNES (Centre National d'Études Spatiales) em Toulouse, no ano de 1982. É pesquisador da Embrapa desde 1987, atuando inicialmente no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC). Foi coordenador da Área de Recursos Naturais da Embrapa Cerrados, Secretário Executivo do Programa de Recursos Naturais da Embrapa e chefe de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Cerrados. De 1993 a 2006, foi o coordenador técnico nacional do Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos do Ministério da Agricultura, e nesse período criou e coordenou a Rede Nacional de Agrometeorologia. Coordenou vários projetos em rede nacional e foi chefe da Embrapa Informática Agropecuária no período 2005 a 2009. Coordena projetos na área de mudanças climáticas e seus impactos na agricultura. Criou e coordenou a sub-rede Agricultura da Rede Clima do MCTI, até 2013. É membro do Comitê Científico do Painel Brasileiro de Mudanças climáticas. Em 2011 foi Secretário de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente. Professor do curso de mestrado em agronegócio da Fundação Getúlio Vargas.

Eduardo Haddad

Professor Titular e chefe do Departamento de Economia da FEA/USP, lecionando cursos na área de Economia Regional e Urbana e Equilíbrio Geral Aplicado. Sua principal linha de pesquisa inclui-se no campo de análise regional, com especial interesse na especificação, implementação e aplicação de modelos econômicos inter-regionais. Utiliza esses instrumentais analíticos para formulação e avaliação de políticas econômicas, com especial interesse no caso brasileiro. A questão regional, em que se consideram a distribuição da atividade e da renda no espaço econômico nacional e suas interações espaciais, tem sido a linha mestra de sua produção acadêmica. Foi consultor de agências internacionais de desenvolvimento, tais como Banco Mundial, Banco Interamericano de Desenvolvimento, OECD, Nações Unidas (PNUD, PNUMA) e Joint Africa Institute. É autor

do livro “Regional Inequality and Structural Changes: Lessons from the Brazilian Experience” (Ashgate, 1999) e de publicações, nacionais e internacionais sobre análise de insumo-produto inter-regional, modelos de equilíbrio geral computável e vários aspectos do desenvolvimento regional brasileiro. Também possui contribuições relevantes nas áreas de ciência regional e desenvolvimento econômico. Foi Coordenador de Pesquisas (2002-2005) e Diretor de Pesquisas (2005-2013) da FIPE. De janeiro de 2014 a julho de 2015 desenvolveu pesquisa na International Economics Section do Departamento de Economia da Universidade de Princeton, e na Edward J. Bloustein School of Planning and Public Policy, na Universidade Rutgers. É membro do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.

Eduardo Siegle

Oceanólogo pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG – 1996), mestre em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS – 1999) e doutor em Ciências Marinhas pela Universidade de Plymouth (Reino Unido – 2003). É Professor Associado (Livre Docente) do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO/USP), onde coordena o Laboratório de Dinâmica Costeira (<http://ldc.io.usp.br>).

Eliane Ignotti

Graduada em Enfermagem e Obstetrícia pela UEL (1985), mestre em Saúde Pública pela Escola Nacional de Saúde Pública - Fundação Oswaldo Cruz (1999), doutora em Saúde Pública pela Escola Nacional de Saúde Pública - Fundação Oswaldo Cruz (2004). Realizou pós-doutorado no Instituto de Medicina Social da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2009). Foi pesquisadora visitante na Universidade do Norte do Texas em 2004 e na Escola Nacional de Saúde Pública em 2009/2010. Coordenadora do Programa de Mestrado em Ciências Ambientais da UNEMAT. Professora de Epidemiologia do Departamento de Enfermagem e do Programa de Mestrado em Ciências Ambientais da UNEMAT. Professora colaboradora do Programa Doutorado em Ciência da Saúde da UFMT. Tem experiência em estudos epidemiológicos, atuando principalmente em vigilância epidemiológica e ambiental.

Enio Bueno Pereira

Graduado em Física pela USP e doutor em Geociências pela W. M. Rice University, nos Estados Unidos. É pesquisador titular sênior do INPE, onde coordena o Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia do Centro de Ciência do Sistema Terrestre. Publicou mais de 180 artigos científicos nacionais e internacionais e oito livros. É assessor *ad-hoc* da FAPESP, CNPq, FAPESB e revisor de várias revistas científicas nacionais e internacionais. Concentra suas atividades na área de Ciência do Sistema Terrestre, com ênfase em estudos de levantamentos de recursos de energias renováveis e os impactos das mudanças climáticas. Outras áreas de atuação são: sensoriamento remoto da atmosfera, radiação solar, aerossóis e traçadores atmosféricos e desenvolvimento de instrumentação. Faz parte dos corpos docentes de pós-graduação em Meteorologia e de Ciência do Sistema Terrestre, ambos no INPE. É líder de diversos projetos e convênios de P&D com financiamentos nacionais e internacionais.

Gilberto Fisch

Possui bacharelado em Meteorologia pela USP (1981), mestrado em Meteorologia pela USP (1986) e doutorado em Meteorologia pelo INPE (1995). É pesquisador titular e foi chefe da Divisão de Ciências Atmosféricas (2013-2017) do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), ligado ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) do Comando da Aeronáutica e professor doutor da UNITAU. É professor colaborador no Programa de Mestrado e Doutorado em Meteorologia do INPE, responsável pelas disciplinas de Camada Limite Planetária e Micrometeorologia. Participa do Programa de Mestrado Profissionalizante em Ciências Ambientais da UNITAU, na disciplina de Processos Atmosféricos e Variabilidade Climática. Participa da pós-graduação em Ciência e Tecnologia Espacial no ITA como professor da disciplina Meteorologia Aeroespacial. Publicou mais de 120 artigos em revistas especializadas nacionais e internacionais e orientou aproximadamente 40 alunos de mestrado e doutorado. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Meteorologia, atuando principalmente nos temas: Amazônia, camada limite planetária, clima, floresta e pastagem, radiossondagem, micrometeorologia, ciclo da água, modelagem atmosférica, perfil de vento, meteorologia aeroespacial. Participou

de vários experimentos científicos na Amazônia, como os Projetos ARME (1983-1986), ABLE (1985 e 1987), ABRACOS (1989-1995), LBA (1996 até o presente), GoAmazon 2014/2015 e ACRIDICON (2014). É pesquisador principal do projeto CHUVA (FAPESP). É *expert reviewer* do IPCC para o AR5. Autor colaborador do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. É professor conferencista da Escola Superior de Guerra (Ministério da Defesa) desde 2007, no tema de Cenários Climáticos Globais. Assessor científico da CAPES, CNPq e FAPESP.

Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti

Possui graduação em Física pela Unesp (1973), mestrado em Meteorologia pelo INPE (1981) e doutorado em Meteorologia pela University of Reading (1991). Foi pesquisadora do INPE de 1982 a 2016 e atualmente é professora no curso de Meteorologia do INPE. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em climatologia dinâmica, sinótica, simulações climáticas com modelos globais e regionais, atuando principalmente nos seguintes temas: teleconexões, variabilidade interanual e intrasazonal da atmosfera, modelos atmosféricos, anomalias climáticas, extremos em precipitação e temperatura, simulação climática e mudanças climáticas, com ênfase sobre a América do Sul.

Jacques Marcovitch

Professor da USP, dedica-se ao estudo do pioneirismo empresarial, estratégia e inovação com foco no crescimento econômico, na distribuição de renda e na sustentabilidade ambiental. Desde 2002, tem pesquisado as políticas de implantação da Convenção do Clima com ênfase na redução dos gases de efeito estufa na atmosfera. Master of Management pela Vanderbilt University (EUA), doutor em Administração pela FEA/USP, e pós-doutorado pelo International Management Institute (Suíça). Foi reitor da USP (1997 a 2001), diretor do Instituto de Estudos Avançados, presidente das Empresas de Energia do Estado de São Paulo (CESP, CPFL, Eletropaulo e Comgás) e secretário de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo. Atualmente, além das atividades acadêmicas, é membro do Conselho Deliberativo da Biblioteca Brasileira Guita e José Mindlin em São Paulo e do Conselho Superior do Graduate Institute of International

and Development Studies (IHEID) em Genebra. Recebeu vários reconhecimentos, entre eles: l'Ordre Nationale de la Legion D'Honneur (França), Prêmios Jabuti, Grã-Cruz da Ordem de Rio Branco, e Grã-Cruz da Ordem Nacional do Mérito Científico.

Jean Ometto

Engenheiro agrônomo, graduado pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da USP (ESALQ/USP), com especialização na França, mestre pela ESALQ/USP, doutor pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP). Possui pós-doutorado pela Universidade de Utah, Estados Unidos. Com interesse nas áreas de ecologia de ecossistemas terrestres e aquáticos continentais, ciclagem de carbono e nitrogênio, mudança no uso e cobertura do solo, segurança alimentar e indicadores de sustentabilidade. Pesquisador titular e coordenador do Centro de Ciência do Sistema Terrestre do INPE. Coordenou o Convênio de Colaboração e Apoio ao International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) e Global Land Project (GLP), no Brasil. Coordenou o Programa de Pós-graduação do CCST/INPE, onde é docente permanente, na cadeira de Ciclos Biogeoquímicos. Credenciado no programa de pós-graduação em Ecologia da UFJF e professor colaborador no NEPAM/UNICAMP. Nomeado review editor no Assessment Report 5 do IPCC (WGII); lead author no IPCC Task Force on Greenhouse Gases Emissions Inventories; no IPBES on Regional and Subregional Scope Evaluation Assessment e no Climate and Clean Air Coalition to Reduce Short-Term Climate Pollutants (CCAC) in Latin America. Representante brasileiro na Conferência das Partes e no Conselho Executivo do Inter-American Institute for Global Change Research (IAI); Diretor Regional do International Nitrogen Initiative (INI); Membro da Coordenação do Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais; Vice-coordenador da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima).

José A. Marengo

Vice-coordenador do INCT para Mudanças Climáticas. Possui graduação em Física y Meteorologia (1981) e mestrado em Ingenieria de Recursos de Agua y Tierra (1987), ambos pela Universidad Nacional Agraria em Lima, Peru. Doutorado em Meteorologia - University of Wisconsin - Madison

(1991), EUA. Fez pós-doutorado na NASA-GISS e Columbia University, em Nova York, e na Florida State University, na Florida, EUA, em modelagem climática. Foi coordenador científico da previsão climática do CPTEC/INPE. É pesquisador titular e chefe de Pesquisa no CEMADEN, onde trabalha com eventos extremos, desastres naturais e redução de risco aos desastres. É professor na pós-graduação do INPE. É membro de vários painéis internacionais das Nações Unidas (IPCC, WMO, UNISDR) e de grupos de trabalho no Brasil e no exterior sobre mudanças de clima e mudanças globais, desastres naturais e redução e gerenciamento de risco. É consultor de estudos ambientais de mudanças globais, impactos, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas e parecerista de diversas revistas científicas e de agências financiadoras nacionais e internacionais. É autor de mais de 250 artigos, capítulos de livros, livros, relatórios técnicos e trabalhos de congressos. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Meteorologia e desastres naturais, atuando principalmente nos seguintes temas: Amazônia, clima, mudança de clima, e modelagem de clima, estudos de impactos-vulnerabilidade-adaptação aos extremos da variabilidade e mudanças de clima e em estudos de avaliação e redução de risco de desastres naturais de origem hidrometeorológica. Foi coordenador do Centro de Ciência do Sistema Terrestre do INPE (2011-2014) e atualmente é coordenador geral de Pesquisa e Desenvolvimento do CEMADEN. Membro do Comitê Científico do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, CLA y RE dos Relatórios do IPCC AR4 GTs 1 e 2, AR5 e SREX e membro titular da Academia Brasileira de Ciências e da Academia de Ciências do Estado de São Paulo.

José Almir Cirilo

Graduado em Engenharia Civil pela UFPE (1977), com mestrado em Engenharia Civil pela UFRJ (1979) e doutorado em Engenharia Civil pela UFRJ (1991). Atualmente é Professor Titular da UFPE, Campus Acadêmico do Agreste. Tem coordenado diversos projetos financiados pelo CNPq, CAPES e instituições internacionais. Exerceu as seguintes funções de gestão nas áreas de recursos hídricos, meio ambiente e ciência e tecnologia no Governo de Pernambuco: Secretário Executivo de Recursos Hídricos da Secretaria de Desenvolvimento Econômico (2015-2016); Secretário Executivo de Coordenação Geral da Secretaria de Infraestrutura (2014); Secretário de Recursos Hídricos e Energéticos (2012-2013); Secretário

Executivo de Recursos Hídricos (2007-2011); Diretor de Recursos Hídricos e Secretário Adjunto de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (1995-1998). Secretário Executivo (1998, 2007-2011; 2014-2016) e Presidente (2012-2013) do Conselho de Recursos Hídricos. Participou do CTHIDRO-Comitê Gestor do Fundo de Recursos Hídricos do Ministério de Ciência e Tecnologia, primeiro como representante da comunidade científica (2001-2004) e depois como presidente do Comitê Gestor (2005-2010). Coordena projetos de pesquisa, como a sub-rede Recursos Hídricos da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima) (até 2014), e projetos de cooperação internacional. É ex-presidente da ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, da qual hoje é conselheiro. Foi membro da diretoria do comitê da bacia do rio São Francisco, representando até 2006 a comunidade científica, e posteriormente o Governo de Pernambuco (2007-2016). Foi membro titular do Conselho Nacional de Recursos Hídricos em 2001. Sua experiência é voltada à engenharia civil, atuando principalmente nas seguintes áreas: hidrologia, hidráulica fluvial, macrodrenagem, geoprocessamento, gestão de recursos hídricos, otimização e sistemas de suporte à decisão. É comendador da Ordem Nacional do Mérito Científico e membro da Sociedade Brasileira de Cartografia.

Karen de Oliveira Silverwood-Cope

Possui graduação em Ciência Política pela Universidade de Brasília (2002), mestrado em Ciência Política pela Universidade de Brasília (2005) e mestrado em Social Policy and Development pela London School of Economics (2006). Tem experiência em Políticas Públicas, atuando como especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental no governo federal. Atualmente, é coordenadora geral de Projeto do Departamento de Monitoramento, Apoio e Fomento de Ações em Mudança do Clima do Ministério do Meio Ambiente.

Luiz Antonio Martinelli

Professor Titular da USP, lotado no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Campus de Piracicaba. Tem experiência na área de Ecologia, com ênfase em Dinâmica de Ecossistemas Tropicais utilizando isótopos estáveis como traçadores dos ciclos do carbono, nitrogênio e água.

Luiz Claudio Costa

Professor titular aposentado do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, desde 1983, atuando na graduação e na pós-graduação. Graduação em Matemática (UFV), mestre Meteorologia Agrícola (UFV) e PhD em Meteorologia Agrícola pela Universidade de Reading, Inglaterra. Na UFV exerceu as funções de coordenador do curso de pós-graduação em Meteorologia Agrícola (1994 a 1999); chefe do Departamento de Engenharia Agrícola (2007 a 2009), pró-reitor (2000 a 2004) e reitor (2008-2011). Líder da equipe de especialistas em mudanças climáticas da Organização Meteorológica Mundial (OMM) da Organização das Nações Unidas (ONU), de 2006-2010. Revisor do AR5 do IPCC. É autor de mais de 300 trabalhos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais e anais de congresso. Orientou cerca de 60 teses de mestrado, doutorado e trabalhos de Iniciação Científica. Membro do Conselho Nacional de Educação (janeiro de 2011 a fevereiro de 2012). Presidente da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia (2007-2009). Pesquisador do CNPq (2004-2013). Vice-presidente do Comitê do PISA (Program for International Student Assessment) da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE 2012-2016)). Eleito representante, com mandato de dois anos, 2016-2018, dos países da América Latina e Caribe, no Comitê Diretivo da Agenda 2030 de Educação da UNESCO. Foi Secretário de Educação Superior do Ministério da Educação (2011-2012); presidente do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) (2012-2014). Ex-secretário executivo do Ministério da Educação.

Manoel Cardoso

Bacharel em Física e mestre em Meteorologia pela USP e Doutor em Earth and Environmental Science pela University of New Hampshire, Estados Unidos. Trabalha atualmente no Centro de Ciência do Sistema Terrestre do INPE. Seus principais tópicos de pesquisa são a modelagem computacional da dinâmica dos ecossistemas terrestres e a observação das interações entre a superfície e a atmosfera.

Márcia R. Denadai

Possui graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1994), mestrado (1997) e doutorado (2001) em Ciências Biológicas (Zoologia) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, pós-doutorado (Fapesp) em Ecologia Marinha (2001-2005) pela Universidade Estadual de Campinas e pelo Programa de Jovem Pesquisador em Centro Emergente (FAPESP) junto ao Centro Universitário Módulo/UNIMÓDULO (2007-2009), de Caraguatatuba, SP. É presidente executiva do Instituto Costa Brasilis - Desenvolvimento Socioambiental.

Margareth da Silva Copertino

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), mestre em Ecologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e doutora em Ecologia Marinha pela University of Adelaide (Austrália). Atualmente é professora adjunta-DE do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Atua nas grandes áreas de oceanografia biológica, ecologia de populações e comunidades marinhas, vegetação costeira, macroalgas e mudanças climáticas. É pesquisadora da Rede Clima e INCT para Mudanças Climáticas (coordenadora da sub-rede Zonas Costeiras), da Rede de Monitoramento dos Habitats Bentônicos Costeiros (ReBentos) e do programa Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) da FURG. Integra o Scientific Working Group do programa internacional The Blue Carbon Initiative. Trabalhos publicados dentro dos temas específicos de ecologia bentônica, ecologia de populações e comunidades, produção primária, fotofisiologia, efeito de alterações hidrológicas e impacto das mudanças climáticas. Crescente interesse pelos diversos aspectos interdisciplinares relacionados com mudança do clima e suas implicações para as políticas públicas e sociedade.

Mercedes Bustamante

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1984), mestrado em Ciências Agrárias (Fisiologia Vegetal) pela Universidade Federal de Viçosa (1988) e doutorado em

Geobotânica - Universitat Trier (1993). Atualmente é professora associada III da Universidade de Brasília e tem experiência na área de Ecologia, com ênfase em Ecologia de Ecossistemas, atuando principalmente nos seguintes temas: cerrado, mudanças no uso da terra, biogeoquímica, mudanças ambientais globais. Co-coordenadora do capítulo “Agriculture, Forestry and Other Land Uses” do 5º Relatório do Working group 3 (Mitigation) do Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2011-2014). Co-coordenadora do Grupo de Trabalho “Mitigação” do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, responsável pela elaboração do relatório técnico sobre Mitigação de Mudanças Climáticas no Brasil (2011-2014). Representante da América Latina na International Nitrogen Initiative (2010-2013). Membro do Comitê Científico N2O Report - United Nations Environment Programme (UNEP) (2013) e do Comitê Científico do International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) (2007-2012). Coordenadora Geral de Gestão de Ecossistemas (2011-2012) e Diretora de Políticas e Programas Temáticos do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2012-2013).

Moacyr Araujo

Engenheiro Civil pela UFPE (1985), com mestrado em Hidráulica e Saneamento pela USP (1991), Especialização (D.E.A.-1992) e doutorado (DSc.-1996) em Physique et Chimie de l'Environnement pelo Institut National Polytechnique de Toulouse, França. Atualmente é professor associado do Departamento de Oceanografia (DOCEAN) e coordenador do Centro de Estudos e Ensaios em Riscos e Modelagem Ambiental (CEERMA) da UFPE. Tem experiência nas áreas de Mecânica dos Fluidos e Oceanografia, atuando principalmente nos seguintes temas: Turbulência em sistemas geofísicos; Interação oceano-atmosfera; Modelagem matemática e simulação numérica da hidrodinâmica e dos ciclos biogeoquímicos de sistemas hídricos superficiais. Co-chair do projeto Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic e membro do Scientific Steering Committee (SSC-PIRATA). Co-coordenador do Grupo de Trabalho 1 Base Científica das Mudanças Climáticas do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, e membro de seu Comitê Científico. Coordenador da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais - Rede Clima e membro de seu Comitê Científico. Membro do Comitê de Ciências do Mar

(CCM/SEPED/MCTIC). Membro do Conselho Técnico Científico (CTC) do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Membro do Conseil d'Orientation Stratégique e Scientifique de la Flotte Océanographique Française (COSS-FLOTTE). Membro do CLIVAR-Atlantic Research Panel (ARP) of the World Climate Research Programme's Climate Variability and Predictability (WCRP/CLIVAR) Project. Membro do International Scientific and Technical Advisory Board (ISTAB) do EU Horizon 2020 project AtlantOS: Optimizing and Enhancing the Integrated Atlantic Ocean Observing System. Membro do Author Team for the Atlantic Ocean Observing System Blueprint 2019.

Myanna Lahsen

Pesquisadora titular do Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brasil, e Professora Associada na Wageningen University, Holanda. Tem experiência em antropologia e estudos de ciência, tecnologia e políticas públicas, estuda a interface ciência-políticas públicas, mudanças climáticas, sustentabilidade e segurança alimentar, democracia, governança da geoengenharia climática e o papel das mídias de comunicação e da participação pública em processos de decisão. É assessora da revista *Nature Climate Change* e editora-executiva do *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* e do *WIREs Climate Change*. Antes de assumir seu cargo no Brasil, em 2009, ocupou cargos como Social Science Officer no Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP), como pesquisadora associada em CIRES na Universidade de Colorado e como *lecturer* em Ciência Ambiental e Políticas Públicas na Universidade de Harvard, onde também usufruiu de duas bolsas de pós-doutorado na JF Kennedy School of Government. Recebeu os prêmios Jacob K. Javits Fellowship e EPA “STAR Fellowship” nos EUA, onde também fez pós-doutorado no Programa de Estudos Avançados do Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica. Tem atuado em painéis de revisão na Fundação Nacional de Ciência dos EUA e em grupos de peritos aconselhando as Nações Unidas sobre as dinâmicas da interface ciência-política e a formação de um relatório de sustentabilidade global, resultado da Rio+20.

Osmar Möller

Graduado em Oceanologia pela Universidade Federal do Rio Grande (1975). Obteve o título de mestre em Oceanografia na Universidade de Southampton (UK) e de doutor em Oceanografia na Universidade de Bordeaux I (1996). É professor da área de Oceanografia Física na FURG desde 1976 sendo, atualmente, professor titular. Tem experiência na área de circulação de estuários e de plataforma continental.

Oswaldo Moraes

Graduado em Física pela UFRGS (1979) e doutorado na mesma instituição (1989). É diretor do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais desde 2015. Foi diretor de Política e Programas Temáticos da SEPED/MCTI (2013-2014), coordenador geral do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE (2011 a 2013) e diretor científico da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (2009-2011). É professor associado da UFSM. Ocupou o cargo de diretor científico da Sociedade Brasileira de Meteorologia. Coordenou o Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFSM e o Programa de Pós-Graduação em Física da mesma universidade. Coordenou o Comitê Assessor de Ciências Ambientais do CNPq (2009-2010). Sua experiência é na área de Geociências, com ênfase em Micrometeorologia, tendo publicado mais de 60 artigos e orientado mais de 40 teses e dissertações de pós-graduação.

Patrizia Raggi

Graduação em Economia (UFV/1987), mestrado em Economia Rural (UFV/1990), doutorado em Economia Aplicada (ESALQ-USP/1999) e pós-doutorado em Economia Pesqueira (Fisheries Centre - University of British Columbia, Canadá / 2005-2006). Professora titular do Instituto de Economia da FURG, ministrando aulas na graduação e pós-graduação. Atua na área de Economia, com ênfase em Economia dos Recursos Naturais, Economia Ambiental Costeira, Análise Econômica, Economia Pesqueira, Política Pública, Mudanças Globais e Efeito sobre Ecossistemas Costeiros. Responsável pela rede temática “Uso e Conservação da Biodiversidade

Costeira e Marinha, Subsídios à Formulação de Política Pública para o Mar”, do Programa INCT-Mar/COI e pesquisadora da Rede CLIMA. Coordena Projeto CAPES-Pró-Integração/AUXPE3166. Representa o MEC no GT-UCAM/SECIRM. Atua desde 2013 como Diretora do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Trabalhos publicados nos temas de economia costeira e marinha, economia pesqueira e desenvolvimento costeiro sustentável.

Paulo Antunes Horta

Bacharel em Ciências Biológicas – USP (1996), PhD em Ciências Biológicas - USP (2000) e pós-doutorado - Ecologia Marinha da Universidade de Plymouth, Reino Unido (2013). Foi professor da Universidade Federal da Paraíba (2004) e é professor associado da Universidade Federal de Santa Catarina. Revisor de várias revistas sobre Ficologia e Biologia Marinha. Trabalha em programas de graduação e pós-graduação em Biodiversidade (Botânica, Ecologia e Oceanografia), como professor e supervisor nas áreas de ecologia e ecofisiologia de algas marinhas com enfoque aplicado ao estudo do impacto da mudanças climáticas e desenvolvimento de mecanismos de mitigação e adaptação. Coordenador de projetos relacionados com macroecologia, impactos ambientais relacionados às mudanças climáticas e poluição marinha.

Paulo Artaxo

Possui doutorado em Física Atmosférica (1985) pela USP. Trabalhou na NASA (Estados Unidos) e universidades de Antuérpia (Bélgica), Lund (Suécia) e Harvard (Estados Unidos). É professor titular do Departamento de Física Aplicada do Instituto de Física da USP. Trabalha com física aplicada a problemas ambientais, atuando principalmente nas questões de mudanças climáticas globais, meio ambiente na Amazônia, física de aerossóis atmosféricos, poluição do ar urbana e outros temas. É membro titular da Academia Brasileira de Ciências (ABC), da World Academy of Sciences (TWAS) e da Academia de Ciências do Estado de São Paulo (ACIESP). Publicou mais de 405 trabalhos científicos e apresentou mais de 1100 papers em conferências científicas internacionais. É membro do IPCC e de sete outros painéis científicos internacionais. É coordenador do Programa

FAPESP de Mudanças Climáticas, e membro do INCT para Mudanças Climáticas. É representante da comunidade científica no CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Em 2006 foi eleito fellow da American Association for the Advancement of Sciences (AAAS). É membro da equipe do IPCC que foi agraciada com o Prêmio Nobel da Paz de 2007. Em 2009 foi agraciado com o título de Doutor em Filosofia Honoris Causa pela Universidade de Estocolmo, Suécia. Em 2010 recebeu o prêmio Fissan-Pui-TSI da International Aerosol Research Associations. Também recebeu em 2010 a Ordem do Mérito Científico Nacional, na qualidade de comendador. Em 2016 recebeu o Prêmio Almirante Álvaro Alberto, outorgado pelo CNPq, Marinha, MCTI e Fundação Conrado Wessel. É Pesquisador Emérito do CNPq.

Paulo C. Lana

Graduado em Ciências Biológicas (Zoologia) pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1977), mestre em Oceanografia Biológica (1981) e doutor em Ciências (Oceanografia) pelo Instituto Oceanográfico da USP (1984). Trabalha desde 1981 no Centro de Estudos do Mar da Universidade Federal do Paraná (CEM/UFPR), onde ocupa atualmente o cargo de professor titular. Participou dos comitês de implantação e atuou como coordenador ou vice-coordenador dos cursos de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento (de 1993 a 2009), graduação em Oceanografia (desde 2000) e pós-graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos (desde 2006) da UFPR. Foi membro do Comitê Assessor de Oceanografia do CNPq em duas oportunidades. Foi presidente da International Polychaetological Association (triênio 2010-2013). Foi vice-coordenador do projeto Uso e Apropriação de Recursos Costeiros (RECOs) do Instituto do Milênio. É vice-coordenador do projeto INCT COI-Mar. Orientou ou coorientou cerca de 80 mestres e doutores, além de 20 monografias de conclusão de curso. Suas principais áreas de atuação são ecologia bêntica, ecologia de manguezais e marismas, taxonomia, biologia e ecologia de anelídeos poliquetas, avaliação de impactos ambientais e gestão ambiental costeira.

Paulo H. G. O. Souza

Possui graduação (2004) e mestrado (2007) em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará e doutorado (2013) e pós-doutorado (2016) em Oceanografia pela Universidade de São Paulo. É Professor Visitante no Instituto de Desenvolvimento Rural (IDR) da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). Tem experiência na área de Oceanografia, com ênfase em Oceanografia Geológica, atuando principalmente nos seguintes temas: mudanças climáticas da zona costeira, dinâmica costeira, ordenamento territorial, geoprocessamento e vulnerabilidade da zona costeira.

Paulo Moutinho

Pesquisador Sênior do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), do qual foi um dos seus fundadores. Trabalha na Amazônia há mais de 20 anos. Seus estudos estão relacionados com a dinâmica do desmatamento e seus efeitos sobre a biodiversidade, clima e os habitantes da região. Executou pesquisas inéditas sobre os processos de recuperação florestal em áreas degradadas na Amazônia, bem como sobre os impactos da mudança climática sobre a floresta e o seu funcionamento. Publicou, com vários colegas, artigos científicos sobre o papel das áreas protegidas sobre a redução do desmatamento amazônico e ainda produziu documentos sobre o papel de mecanismos de pagamento de serviços ambientais como alavanca de desenvolvimento de uma economia de baixa emissão de carbono. Participa desde 2000 das discussões internacionais sobre mudança do clima no âmbito da Convenção da ONU de Mudança Climática e é um dos autores da proposta de redução compensada do desmatamento, pela qual se pleiteia uma compensação financeira internacional aos países em desenvolvimento que fizerem esforços de redução de desmatamento. Tal proposta contribuiu para a base do mecanismo conhecido como REDD (Redução de Emissões de Desmatamento e Degradação Florestal) em discussão no âmbito da Convenção de Clima da ONU. Contribuiu diretamente para a criação do Fundo Amazônia e a elaboração da Política Nacional de Mudança Climática. É também pesquisador associado ao The Woods Hole Research Center, nos EUA.

Paulo Nobre

Possui graduação em Meteorologia pela USP (1980), mestrado em Meteorologia pelo INPE (1984), doutorado em Meteorologia pela University of Maryland (1993) e pós-doutorado pela Columbia University (1999). É pesquisador do INPE, responsável pelo Grupo de Modelagem Acoplada Oceano-Atmosfera do CPTEC e coordenador do desenvolvimento do Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre – BESM. Revisor do Journal of Climate, Climate Dynamics e Nature, e presidente do Comitê Nacional do Projeto PIRATA Brasil. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Meteorologia, atuando principalmente nos seguintes temas: modelagem acoplada oceano-criosfera-atmosfera; oceanografia do Atlântico Tropical; previsibilidade climática sazonal e mudanças climáticas globais.

Plínio Alvalá

Possui graduação com Bacharelado em Física pela PUC de São Paulo (1985), mestrado em Geofísica Espacial pelo INPE (1990) e doutorado em Geofísica Espacial pelo INPE (1995). Durante o mestrado desenvolveu pesquisa relacionada à propagação de ondas de VLF na região Antártica, participando da primeira expedição de inverno na Estação Antártica Comte. Ferraz. O doutorado teve como tema o estudo da emissão de metano na região do Pantanal Sul Mato-grossense. É pesquisador titular do INPE, desenvolvendo pesquisas envolvendo gases de efeito estufa, química atmosférica, ciclos biogeoquímicos, em especial do metano, óxido nitroso e do carbono. Também desenvolve projetos relacionados com a queima de biomassa e poluição urbana, a produção de ozônio e seus precursores. Realiza pesquisa utilizando várias plataformas, com equipamentos embarcados em aeronaves, balões e estações fixas. É responsável pelo Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do CCST/INPE, onde também são desenvolvidas pesquisas sobre radiação UV e camada de ozônio.

Regina Alvalá

Possui graduação em Engenharia Cartográfica pela Unesp (1982), mestrado em Meteorologia pelo INPE (1987) e doutorado em Meteorologia pelo INPE (1993). É pesquisadora, coordenadora de Articulação Institucional

e diretora substituta do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) do MCTIC e professora titular dos programas de pós-graduação em Meteorologia e em Ciência do Sistema Terrestre do INPE. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Micrometeorologia e Sensoriamento Remoto da Superfície, e na Área de Ciências Ambientais, com ênfase em Vulnerabilidades e Desastres Naturais. Coordena o subprojeto Desastres Naturais do INCT para Mudanças Climáticas e o subprojeto Desastres Naturais do INCT-II. É líder do grupo de pesquisa Interação Vegetação-Atmosfera em Modelos Meteorológicos do CNPq e coordenadora da sub-rede Desastres Naturais da Rede Clima.

Renata Gracie

Cursando o doutorado no Instituto de Estudos em Saúde Coletiva-IESC/UFRJ, possui mestrado em Saúde Pública na subárea Endemias Ambiente e Sociedade pela Escola Nacional de Saúde Pública da FIOCRUZ (2008), graduação em Bacharelado em Geografia pela UFF (2004) e graduação em Licenciatura em Geografia pela UFF (2001). É tecnologista em Saúde Pública no Laboratório de Geoprocessamento do Laboratório de Informações em Saúde do Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica-ICICT da FIOCRUZ. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Sistema de Informações Geográficas para ambiente e Saúde Pública, atuando principalmente nos seguintes temas: geoprocessamento, indicadores, território, sistema de informações geográficas, vigilância em saúde, análise espacial e ambiente.

Renato de Aragão Rodrigues

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), especialização em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), mestrado e doutorado em Geociências (Geoquímica Ambiental) pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Pesquisador da Embrapa Solos, na área de Mudança do Clima. Atuou na Embrapa Agrossilvipastoril de 2010 a 2015, onde implantou a área de pesquisa em gases de efeito estufa e mudança do clima da unidade e foi supervisor do Núcleo de Pesquisa em Recursos Naturais (2011-2015). Professor e orientador do programa de pós-graduação em Engenharia de

Biosistemas da UFF. Professor e orientador do MBA em Planejamento e Gestão Ambiental na Universidade Veiga de Almeida. Membro do Comitê Gestor das Estratégias da Embrapa. Secretário-executivo do Portfólio de Projetos de Pesquisa em Mudanças Climáticas da Embrapa. Foi coordenador do setor de Agricultura no Terceiro Inventário Brasileiro de Emissão de Gases de Efeito Estufa. Coordenador da sub-rede Mudanças Climáticas e Agricultura, da Rede Clima. Membro do IPCC - Emission Factor Data Base (EFDB/IPCC) (2011-2015). Membro permanente do painel de especialistas da UNFCCC para revisões técnicas dos Inventários de Gases de Efeito Estufa das Partes Incluídas no Anexo I da Convenção, no setor de Agricultura, e segundo as normas do Protocolo de Quioto. Representante do Brasil nas negociações do Cropland Group da Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases. Foi coordenador técnico substituto da Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Renato David Ghisolfi

Possui graduação em Engenharia Química (1988) e Oceanologia (1990) pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande, mestrado em Sensoriamento Remoto pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1995) e doutorado em Physical Oceanography - University of New South Wales (2001). Desde junho de 2004 é professor da Universidade Federal do Espírito Santo. Após o PhD, trabalhou por dois anos como Analista Ambiental no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis com atividade relevante na Coordenação Geral de Petróleo e Gás. Com dedicação na área oceanográfica, tem desenvolvido trabalhos com ênfase em Modelagem Numérica, atuando principalmente nos seguintes temas: modelagem numérica da dinâmica oceânica, dispersão de óleo e planos de contingência e obtenção e interpretação de dados in situ.

Ruy P. K. Kikuchi

Possui graduação em Geologia pela Universidade de São Paulo (1986), mestrado em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (1994) e doutorado em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (2000). É professor associado da Universidade Federal da Bahia. Tem experiência na área

de Oceanografia, com ênfase em Oceanografia Geológica, atuando principalmente nos seguintes temas: recifes, corais, Abrolhos, conservação de ecossistemas e mudanças climáticas globais. Coordena o Laboratório de Recifes de Corais e Mudanças Globais (RECOR). Integra o subprojeto Zonas Costeiras do INCT para Mudanças Climáticas Globais e sub-rede Zonas Costeiras da Rede Clima e coordena o grupo de trabalho Recifes e ambientes coralinos no INCT Ambientes Marinhos Tropicais.

Sandra Hacon

Graduação em Ciências Biológicas pela UFRJ (1974), mestrado em Controle da Poluição Ambiental pela Manchester University, Reino Unido (1981) e doutorado em Geociências (Geoquímica Ambiental) pela UFF (1996). Está lotada na Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, integrante dos programas de pós-graduação de mestrado e de doutorado em Ciências Ambientais da UNEMAT e da Escola Nacional de Saúde Pública da FIOCRUZ. Atua na área de Avaliação de Risco à Saúde Humana, Ecotoxicologia, Gestão Integrada de Saúde e Ambiente e Avaliação de Impactos à Saúde das Mudanças Climáticas e de Grandes Empreendimentos. Coordena vários projetos de pesquisa financiados pelo CNPq, FAPERJ, FINEP, CAPES, setor privado, atua como pesquisadora em projetos interdisciplinares com a UNEMAT, INPE, UnB, USP, UFRN, USP, PUC/RJ, UFCE, FIOCRUZ, projetos internacionais com a Universidade de Exeter no Reino Unido, Instituto Tropical de Epidemiologia e Saúde Pública de Basel e a Universidade de Basel na Suíça. Na área acadêmica, é responsável por disciplinas nos cursos de pós-graduação da ENSP/FIOCRUZ, orientadora de mestrado e doutorado nos cursos de pós-graduação de Saúde Pública e Meio Ambiente da ENSP/FIOCRUZ e do Programa de Ciências Ambientais da UNEMAT. Representante do Brasil no GT do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, referente ao Programa de Monitoramento da Implementação da Convenção de Stockholm por indicação do Ministério do Meio Ambiente. Integrante da parceria FIOCRUZ-Opas/OMS do Centro Colaborador em Saúde Pública e Ambiental da Organização Pan-Americana da Saúde/Organização Mundial da Saúde (Opas/OMS).

Simone Ferraz

Graduada em Física (Bacharelado e Licenciatura) pela UFPR (1997), mestre em Meteorologia pela USP (2000) e doutora em Meteorologia pela USP (2004). Possui pós-doutorado em Meteorologia pela USP (2005). É professora associada da UFSM e orientadora no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFSM. Tem experiência na área de Ciências Atmosféricas, com ênfase em Meteorologia, atuando principalmente nos seguintes temas: precipitação, variabilidade climática, oscilações intrasazonais e previsão climática.

Sin C. Chou

Possui graduação em Meteorologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1985), mestrado em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (1990) e doutorado em Meteorologia pela Universidade de Reading, Grã-Bretanha (1993). É pesquisadora titular do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Tem experiência na área de Meteorologia, com ênfase em Modelagem Atmosférica regional, atuando principalmente nos seguintes temas: Modelo Eta, previsão de tempo, modelo de área limitada, parameterização de convecção cumulus, avaliação de modelo, modelagem climática regional, geração de cenários de mudanças climáticas sobre América do Sul. Docente em dois programas de pós-graduação do INPE, no programa de meteorologia e no programa de ciência do sistema terrestre. Coordena projetos de pesquisa em modelagem regional e aplicações. Contribuiu como autora (*lead author*) do Capítulo 9 do Grupo de Trabalho 1 (Working Group 1) do Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Contribuiu como autor principal do Capítulo 8 do Grupo de Trabalho 1 do Primeiro Relatório de Avaliação Nacional (RAN1) do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, em 2011. Coordenou a geração de cenários regionalizados de mudanças climáticas no Brasil para apoiar a Terceira Comunicação Nacional a UNFCCC e Projeto Brasil 2040.

Stoécio Maia

Possui mestrado em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela UFC (2004) com período na UFV. Doutor pela ESALQ - USP com doutorado sanduíche na Colorado State University (2009). Pós-doutorado em Ciências pelo CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura (2010). Atualmente é professor do Instituto Federal de Alagoas (IFAL), Campus Marechal Deodoro. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em matéria orgânica do solo e meio ambiente, atuando principalmente nos seguintes temas: sequestro de carbono, inventário de gases do efeito estufa, análise de incertezas (método de Monte Carlo). Atua também na área de Manejo e Conservação do Solo e Microbiologia do Solo, com ênfase na dinâmica da matéria orgânica e nutrientes em agrossistemas no semiárido, e avaliação da qualidade do solo. É coordenador da sub-rede Mudanças Climáticas e Agricultura da Rede Clima (MCTIC), e coordenador do Setor de Agropecuária do Quarto Inventário Brasileiro de Emissão de Gases de Efeito Estufa.

Tércio Ambrizzi

Concluiu o doutorado em Meteorologia pela Universidade de Reading em 1993. Foi diretor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (2009-2013) e é professor titular do Departamento de Ciências Atmosféricas em Dedicção Integral no IAG/USP. Foi chefe do Departamento de Ciências Atmosféricas (1997/1999 e 2001/2005). Membro da Comissão de Pesquisa do IAG e do Conselho de Departamento. Publicou mais de uma centena de artigos em periódicos especializados, capítulos de livros e trabalhos em anais de eventos. Orientou várias dissertações de mestrado, teses de doutorado e pós-doutorado, além de ter orientado trabalhos de iniciação científica na área de Geociências. Tem coordenado projetos nacionais e internacionais de pesquisa. Atua na área de Ciências Atmosféricas, com ênfase em Meteorologia Dinâmica, Modelagem Numérica da Atmosfera e Climatologia e Mudanças Climáticas. É o coordenador do Grupo de Estudos do Clima - GrEC no IAG/USP. Foi revisor do Relatório de Impactos do IPCC em 2007 e 2013. Coordenou o Grupo de Trabalho 1 - Base Científica das Mudanças Climáticas do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, vinculado ao governo federal, compondo também

o Comitê Científico. É coordenador do INCLINE (INter-disciplinary CLimate INvestigation cEnter), Núcleo de Apoio à Pesquisa em Mudanças Climáticas da USP. Membro do Conselho Científico da Rede Clima. Membro Titular da Academia Brasileira de Ciências (ABC).

Turíbio Gomes Soares Neto

Possui graduação em Engenharia Química pela UFSM (1981), mestrado em Química pelo Instituto Militar de Engenharia (1987) e doutorado em Engenharia Química pela UNICAMP (1998). Atualmente é pesquisador titular do Laboratório Associado de Combustão e Propulsão (LABCP) do INPE. Tem experiência na área de Catalisadores Metálicos Suportados e emissão de gases na queima de biomassa, atuando principalmente nos seguintes temas: desenvolvimento de catalisadores mono e bimetálicos à base de Ir, Ru e Ir-Ru para sistemas propulsivos de satélites e geradores de gases utilizando a decomposição catalítica da hidrazina; análise de gases atmosféricos emitidos por queimadas de florestas; análise de propelentes líquidos.

O Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT) foi constituído para fazer frente às demandas do país por pesquisas nessa área, considerando a grande relevância de o país desenvolver capacidade própria de gerar conhecimentos científicos sobre mudanças climáticas, em função do potencial impacto no desenvolvimento sustentável do Brasil.

Espelhando-se na estrutura do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), o INCT para Mudanças Climáticas se estruturou em três eixos científicos: (i) base científica das mudanças ambientais globais; (ii) impactos-adaptação-vulnerabilidade; e (iii) mitigação. Incluiu também esforços de inovação tecnológica através do desenvolvimento de modelos computacionais do sistema climático, geo-sensores para medir a concentração de gases de efeito estufa e sistema de prevenção de desastres naturais. Os principais resultados obtidos por essa abrangente rede de pesquisas interdisciplinares em mudanças climáticas são apresentados neste livro.

APOIO



CAPES



REALIZAÇÃO



MINISTÉRIO DA
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**



ISBN 978-85-7917-463-6



9 788579 174636