

ERHA 7039

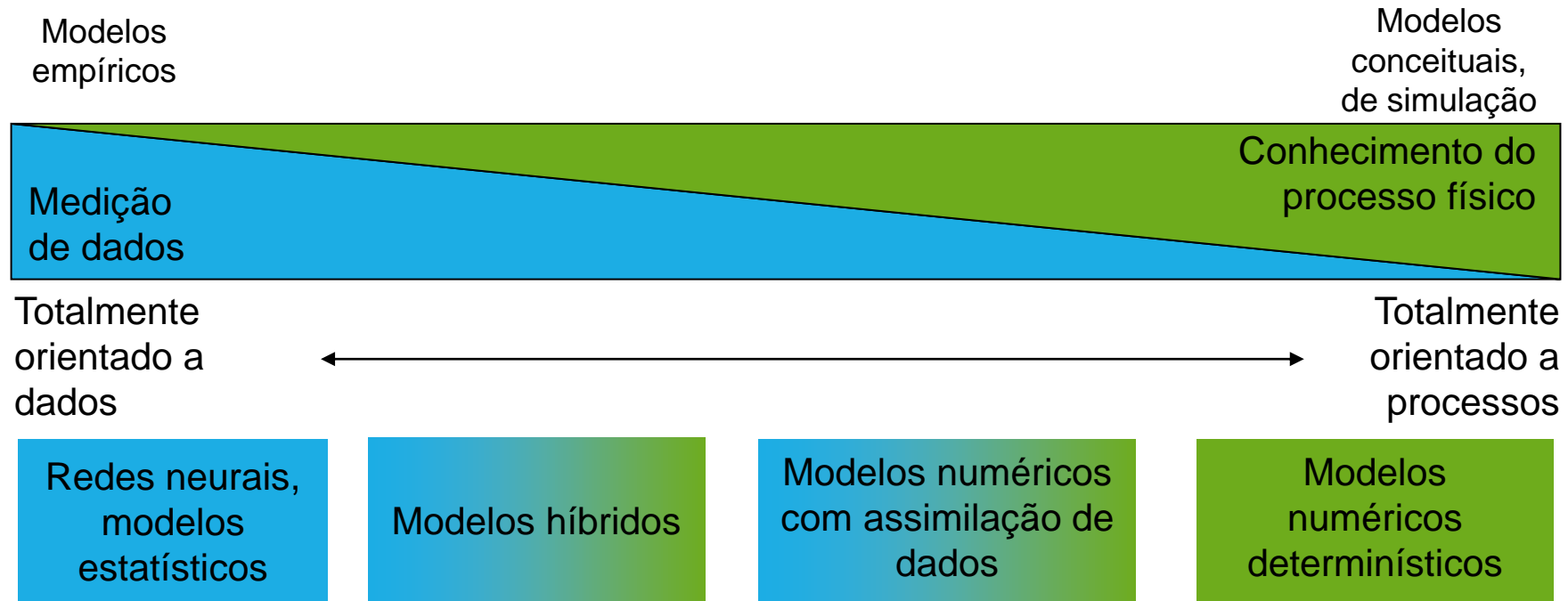
Princípios da Modelagem e Controle da Qualidade da Água Superficial

REGINA TIEMY KISHI

<http://www.ufpr.br/~rtkishi.dhs/ERHA7039>

4 – Etapas da Modelagem

Classificação dos modelos



Modelos são representações de sistemas e processos, que dependem dos dados de entrada e são reflexos de como eles são construídos (processos considerados ou método de construção)

Modelos matemáticos de simulação

Modelo = Representação do sistema (parte da realidade)

Simulação = “Imitação” do sistema modelado

Descrevem os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no ecossistema aquático através de formulações matemáticas.

Escolha:

- máxima simplicidade
- com adequado grau de precisão e detalhe



Atender:

META

ÁREA DE ESTUDO

Elementos da modelagem

Variáveis de estado

- Descreve o estado do ecossistema
→ é o que se quer modelar

Variáveis externas

- Variáveis de natureza externa que influencia o estado do ecossistema
- Exemplo: carga de poluente, temperatura, radiação solar, precipitação.

Constantes universais

- Muitos modelos contêm constantes universais
- Exemplo: constante do gás, peso molecular, etc.

Elementos da modelagem

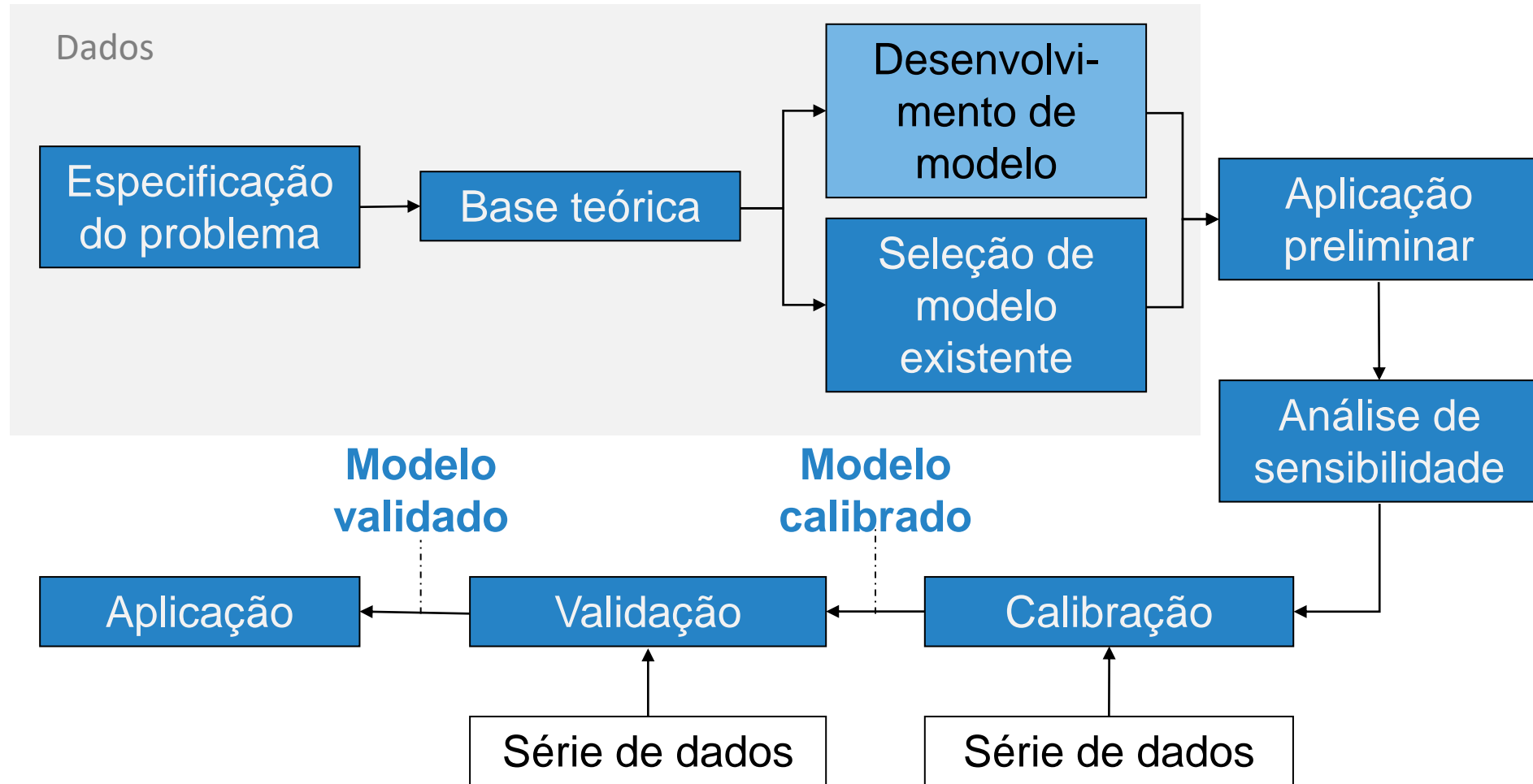
Equações matemáticas

- Os processos físicos, químicos e biológicos no ecossistema são representados por equações matemáticas.
- Relação entre variáveis externas e variável de estado

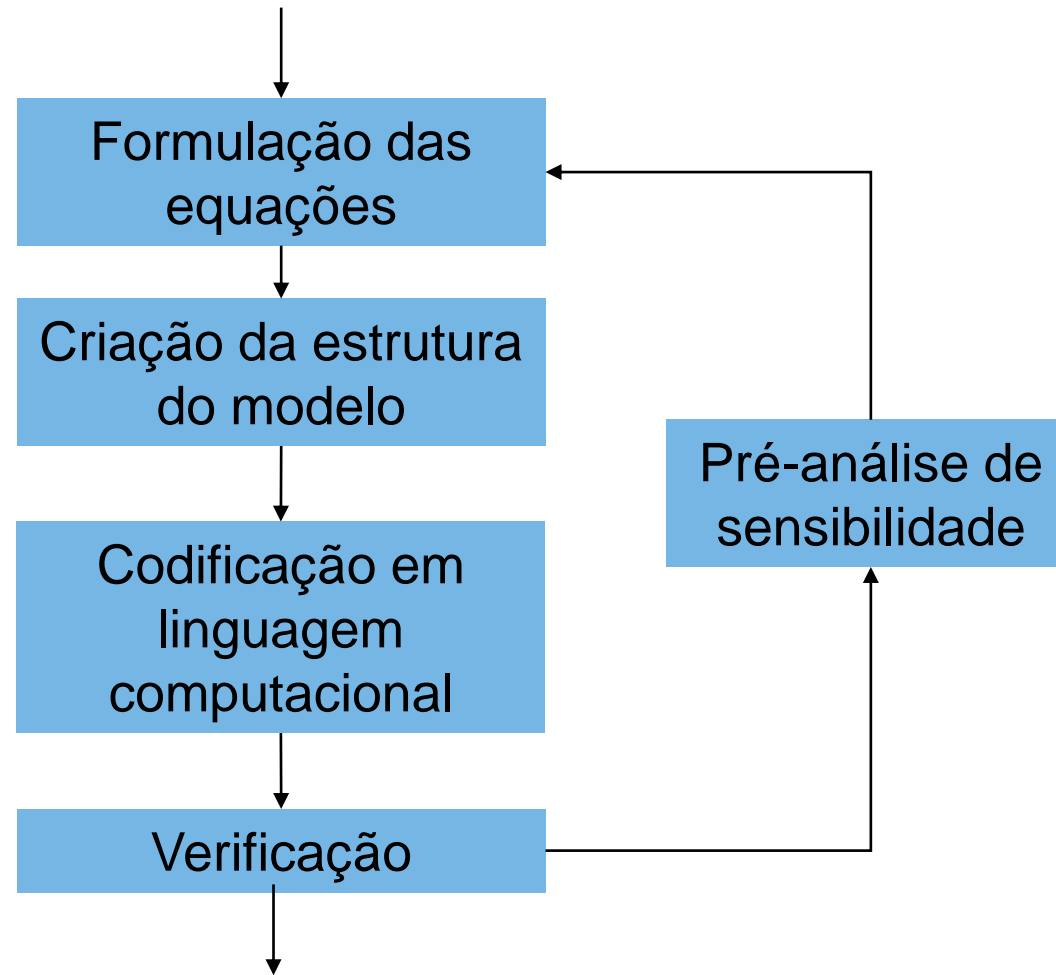
Parâmetros

- Representação matemática apresenta coeficientes ou parâmetros
- Podem ser considerados constantes para um ecossistema específico ou parte dele.
- Muitos parâmetros são conhecidos dentro de uma faixa → calibração
- Exemplo: coeficiente da taxa de reação, taxa de reaeração.

Procedimentos de modelagem



Desenvolvimento de modelos



Modelos existentes - hidrodinâmico

MODELO	DELFT 3D	ECOMSED	MIKE 3	RMA 10-11	SYSBAHIA
Origem	Delft Hydraulics, Holanda	HydroQual, Inc., U.S.A.	DHI Water & Environment, Dinamarca	Resource Modelling Associates, EUA	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Modelo de turbulência	$\kappa - \varepsilon$, $\kappa - \ell$, AEM	Mellor- Yamada 2.5	Smagorinsky, $\kappa - \varepsilon$	Smagorinsky, Mellor- Yamada 2.5	Filtragem / Fechamento Algébrico
Método numérico	Diferenças finitas	Diferenças finitas	Diferenças finitas	Elementos finitos	Elementos finitos
Modelagem de morfologia	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Modelagem de qualidade da água	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Pré e pós-processamento	Possui softwares próprios	Outros softwares	Possui softwares próprios	Possui softwares próprios	Outros softwares comerciais
Sistemas operacionais	Windows, Unix, Linux	Windows, Unix, Linux	Windows, Unix	Windows, Unix	Windows
Custo aproximado*	€ 95.000,00	Gratuito	US\$ 120.000,00	R\$ 21.340,00	Gratuito

Modelos existentes – qualidade da água

Parâmetros	HEC	CE-QUAL-W2	DELFT3D	CAEDYM	DYRESM-WQ	MIKE 11	RMA 11	QUAL2K	WASP5
Dimensões	1D	2D	1D/2D/3D	1D/2D/3D	1D	1D	1D/2D/3D	1D	1D
Temperatura	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
OD	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
DBO	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Nitrogênio	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fósforo	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fitoplâncton	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
SS - coesivos	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não
SS - não coesivos	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não

NOTA: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; SS – Sólidos Suspensos.

Solução numérica utilizada

Processos considerados

Aplicação preliminar

Objetivos:

- Conhecer o modelo.
- Identificar informações necessárias
- Identificar parâmetros mais importantes

Análise de sensibilidade

Objetivos:

- Fornecer uma medida de sensibilidade da variável de estado para um determinado parâmetro
- Analisar a magnitude relativa da mudança na predição do modelo dada uma determinada mudança nos parâmetros do modelo.
- Identificar componentes sensíveis ao modelo

Coeficiente de sensibilidade

Orlob, 1983:

$$S_{ij} = \frac{\Delta C_i / \bar{C}_i}{\Delta \beta_j / \bar{\beta}_j}$$

\bar{C}_i } Valor de referência para normalizar a relação
 $\bar{\beta}_j$ }
 $\Delta \beta_j$ } Em geral, são pequenas mudanças em torno de $\bar{\beta}_j$

C é a variável dependente (saída do modelo) do parâmetro β

Classe de sensibilidade (Lenhart et al., 2002)		Coef. Sensibilidade (%)
I	Pequena, negligenciável	0-5
II	Média	5-20
III	Alta	20-100
IV	Muito alta	>100

Calibração

Objetivos:

- Ajustar a predição aos dados observados.

Consiste em:

- Variar parâmetros do modelo para obter melhor ajuste do valor predito com o valor observado.

Obs.: Nem sempre é possível calibrar modelo para todas as situações. Modelo pode ser calibrado somente para certa época ou para certa faixa de valor, etc.

Cálculo do erro

Diferentes possibilidades estatísticas, por exemplo:

a) Root Mean Square Error

$$\text{RMS - erro} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}}$$

b)

$$\lambda^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$



$$\lambda^2 < 0,5$$

Bom resultado

$$0,5 < \lambda^2 < 0,8$$

Resultado satisfatório

$$\lambda^2 > 1$$

Modelo apresenta
erros

Validação

Objetivos:

- Aumentar a confiabilidade nos resultados do modelo para uso em planejamento e tomadas de decisão.

Consiste em:

- Aplicar o modelo calibrado para uma situação onde tenha dados disponíveis e comparar resultados entre valores predito e observado.
- Se a resposta do modelo se ajusta bem ao valor observado, o modelo é dito **VALIDADO**.

Referência bibliográfica

CHAPRA, S.C.. 1997. Surface water-quality modeling. Boston: McGraw-Hill. 844p.

ORLOB, G.. 1983. Mathematical modelling of water quality: streams, lakes and reservoirs. California: Davis. 518p.

JAMES, A.. 1978. Mathematical models in water pollution control. New Castle: John Wiley. 420p

Kishi, R.T.. 1991. Avaliação Ambiental da Lagoa Negra/RS-Índices e Modelagem Matemática. Porto Alegre: UFRGS-Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, 248p. Diss. Mestr. Engenharia Civil.

Lenhart et al. 2002. Comparison of two different approaches of sensitivity analysis. Physics and Chemistry of the Earth, n.27, p.645-654.