

ERHA 7039

Princípios da Modelagem e Controle da Qualidade da Água Superficial

REGINA TIEMY KISHI

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

8 – Cargas externas de poluentes

Grandezas: Massa & Concentração

Concentração: $C = m/V$

Variáveis

Sólidos dissolvidos totais, salinidade: $g/l = kg/m^3 = 10^{-3} = ppt^*$

OD, DBO, nitrogênio $mg/l = g/m^3 = 10^{-6} = ppm$

Fósforo, clorofila a, tóxicos $\mu g/l = mg/m^3 = 10^{-9} = ppb$

Tóxicos $ng/l = \mu g/m^3 = 10^{-12} = ppt$

Densidade da água $\approx 1g/cm^3$

$$\frac{g}{m^3} = \frac{g}{m^3 * (1g/cm^3) 10^6 cm^3} = \frac{g}{10^6 g} = 1ppm$$

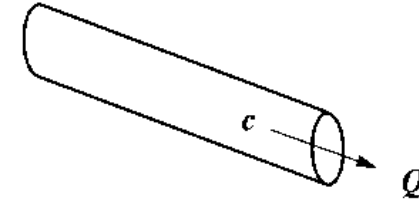
Taxas

Carga de massa:

Taxa de massa de poluente num determinado período t

$$W = m/t$$

$$W = Q * C$$



Fluxo volumétrico:

Equação da Continuidade

$$Q = u * A_t \rightarrow A_t = \frac{Q}{u}$$

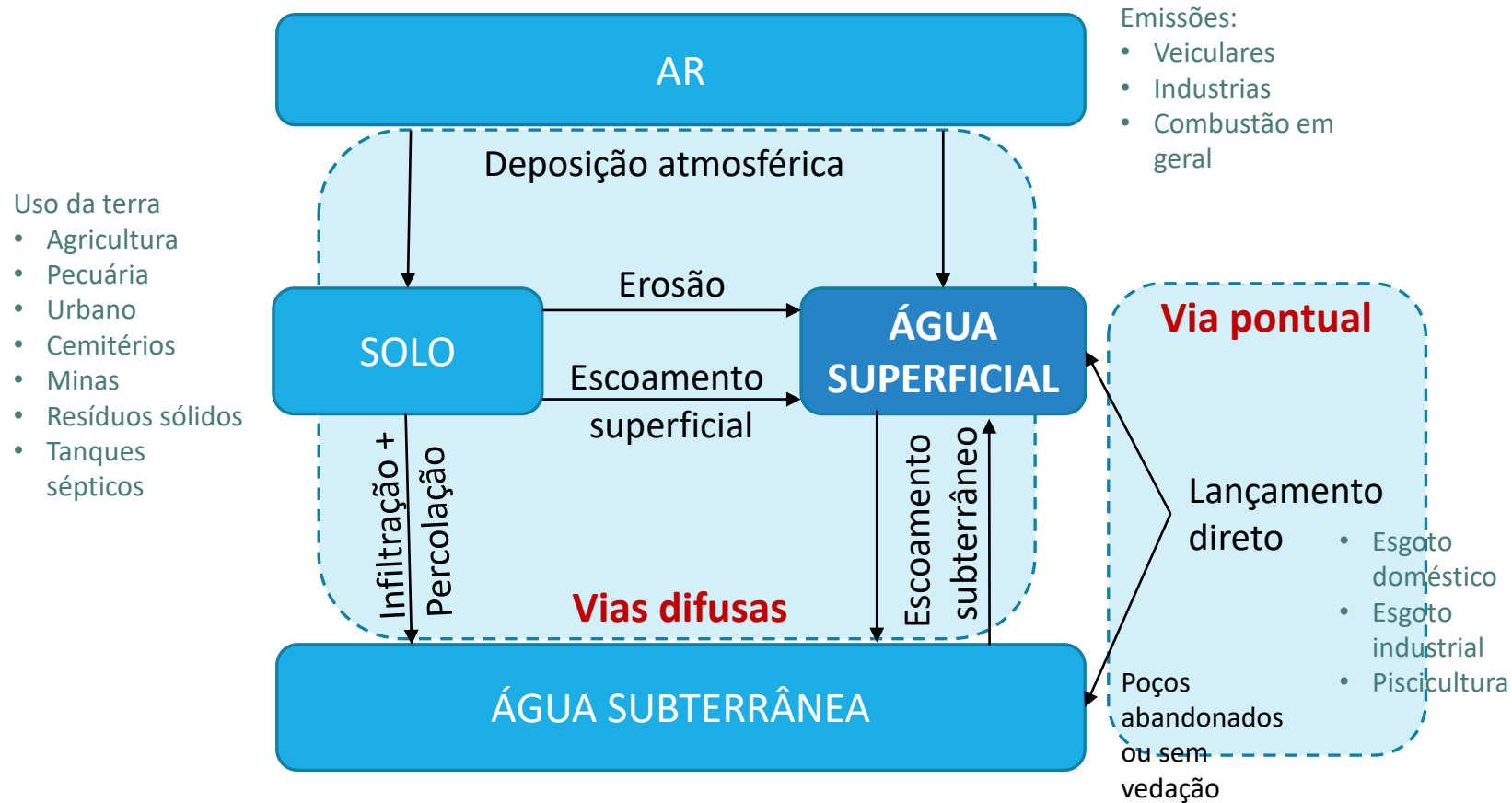
Fluxo de massa:

taxa de movimento da massa normalizado pela área

$$J = \frac{m}{t * A_t}$$

$$J = u * C$$

Vias de poluição dos corpos hídricos



Cargas externas de poluentes

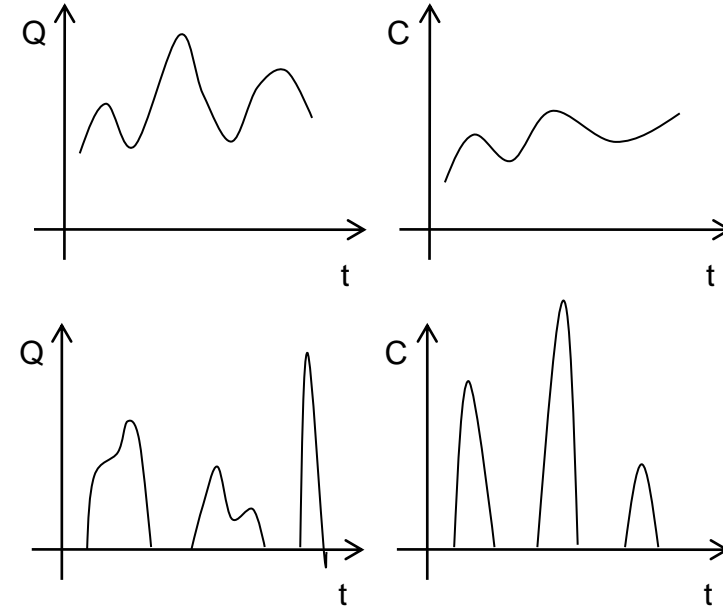
❑ Fontes pontuais

- ✓ Descarga contínua
- ✓ Esgoto doméstico
- ✓ Esgoto industrial

❑ Fontes difusas

- ✓ Descarga não contínua
- ✓ Escoamento superficial
- ✓ Deposição atmosférica
- ✓ Sistema de drenagem pluvial urbana*

❑ Tributários

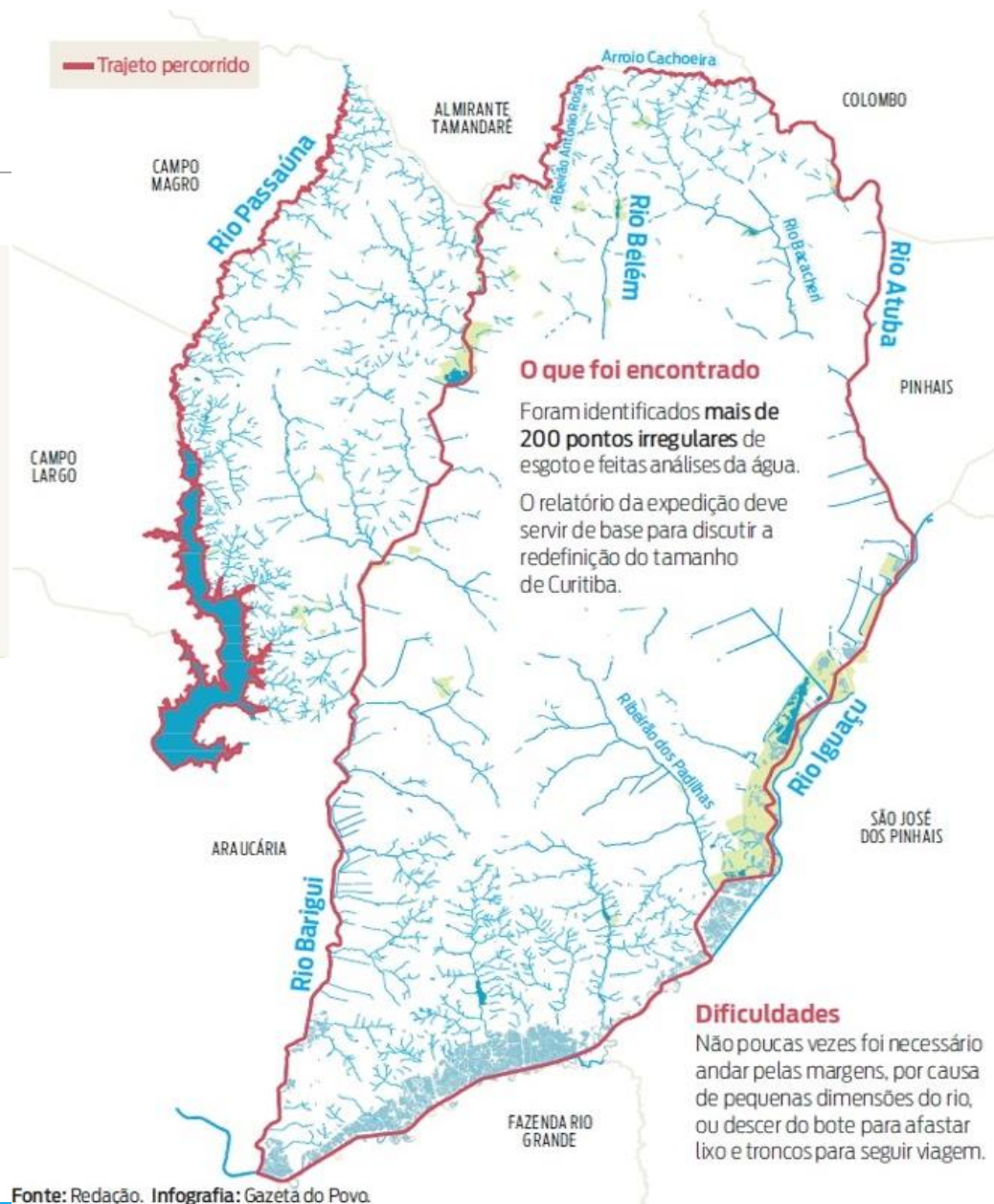


NAVEGANDO CURITIBA

Com o auxílio do Corpo de Bombeiros, a expedição Navegando Curitiba percorreu os cinco principais rios que estabelecem os limites de Curitiba: Iguaçu, Atuba, Belém, Passaúna e Barigui, além de alguns arroios e ribeirões.

12 dias
entre 10 e 27
de junho

142 km
navegados
em um bote



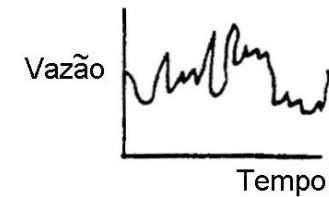
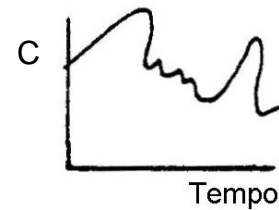
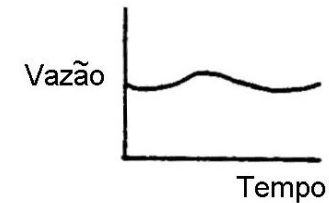
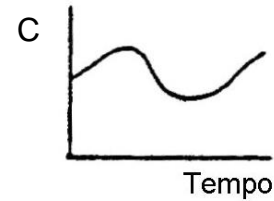
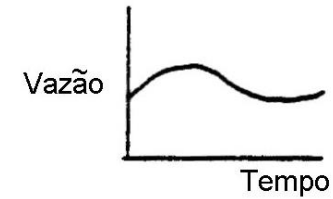
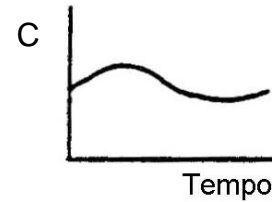
Fonte: Redação. Infografia: Gazeta do Povo.

Cargas de Fontes Pontuais

a) Cargas de fontes pontuais



$$W(t) = Q(t) \times C(t)$$



Esgoto doméstico

- Atlas ESGOTO – ANA
- Licenciamento Ambiental
- Dados de Censo (população) * Carga per capita
- Área urbana * densidade populacional * carga per capita

Características do esgoto doméstico bruto:

Parâmetro	Contribuições per capita	Fonte
DBO	54 g/d	Von Sperling. 1996
Nitrogênio total	8 (6 a 112) g/d 9,3 g/d	Von Sperling. 1996 Jorgensen, 1989
Fósforo total	2,5 (1,0 a 4,5) g/d 3,6 g/d 2,7 g/d	Von Sperling. 1996 Jorgensen, 1989 Salas & Martino, 1991, <i>apud</i> PNUMA/CITA, 1991
Coliformes fecais	2000 .10 ⁵ org/d	Chapra, 1997

Exercício 01

A vazão média do efluente de uma ETE é 2200 L/s. Sabendo-se que a concentração do efluente bruto é de 300mg/L de DBO e que esta ETE tem eficiência de 90% em relação a esse parâmetro, calcule a carga diária que está sendo lançada no corpo receptor.

Exercício 2

Sabendo-se que cada indivíduo contribui com ca. 180 L/d de efluente e 54 g/d de DBO, pergunta-se:

- qual a vazão de descarga (m^3/s) e a carga de DBO gerada por uma cidade com 100.000 habitantes?
- Qual a concentração de DBO no efluente dessa cidade?

Indústria x Efluente Líquido

- Licenciamento Ambiental
- Parâmetros controlados no efluente industrial

	Alumínio	Amônia	AOX	Arsênio	Aumento da temperatura	Cádmio	Chumbo	Cianeto	Cloro	Cobre	Coliforme	Compostos de Fenóxi	Cromo (hexavalente)	DBO	DQO	Fenol	Ferro	Fluoreto	Fósforo	Hidrocarbonetos	Merúrio	Metais Totais	Níquel	Nitrogênio Inorgânico	Óleo e Graxa Organoclorada	Sulfitos	TSS	Uréia	Zinco
Produção de alumínio	x				x										x			x									x		
Base Metal e Mineração de Ferro				x		x	x	x		x			x			x					x	x	x				x		x
Produção de Cloro e soda cáustica			x						x						x											x	x		
Produção de Tinta			x							x			x	x	x	x											x		x
Cervejarias		x			x									x	x												x		
Fábrica de Laticínios					x						x				x	x								x			x		
Processamento e Distribuição de Carne											x			x	x									x			x		
Processamento de Óleo Vegetal					x									x	x									x			x		
Formulação de Pesticidas			x	x						x		x	x								x				x	x	x		x
Fertilizantes de N para Plantas	x				x																						x	x	

Os tipos de poluentes e suas respectivas quantidades dependem do tipo da indústria que usa determinadas substâncias como insumo ou matéria-prima que contêm os poluentes. Podem ser tóxicos ou não. Podem estar ou não em significativas quantidades. Na tabela é mostrada alguns exemplos de indústria e parâmetros significativos em seus efluentes.

Cargas de tributários

b) Carga de tributários

Fonte: Thomann & Mueller, 1987

Q: Vazões medidas continuamente
(há maior registro)

C: Registros em certos intervalos
(registros escassos)

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	...
Q	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	...
C	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	

Se aplicar: $W=Q \times C$ somente quando houver dados.

O que acham?

Pode-se estar:

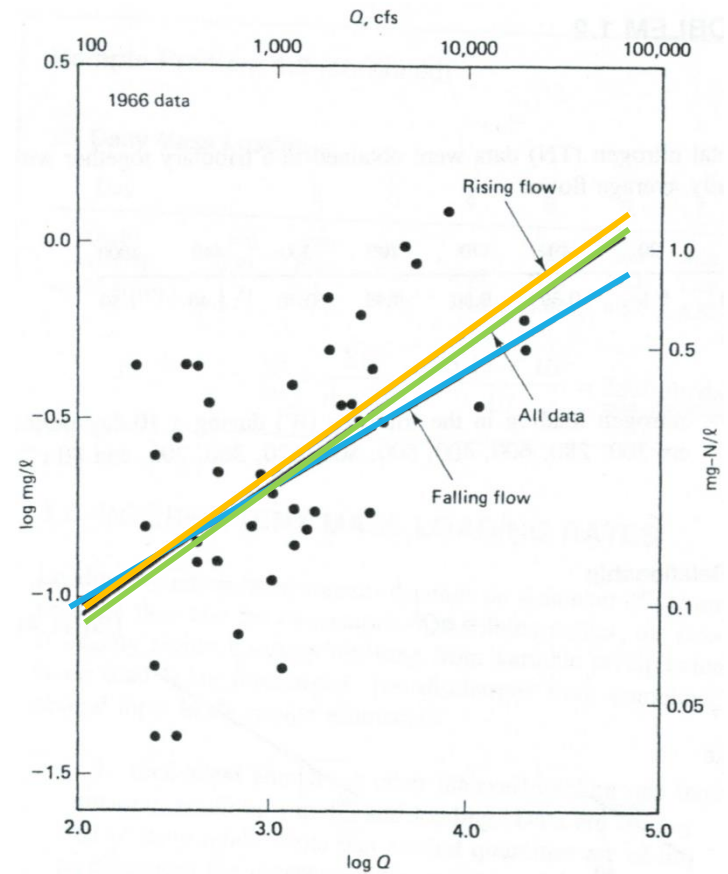
- Superestimando ou
- Subestimando

Qual solução vocês sugerem?

Preenchimento de falhas:

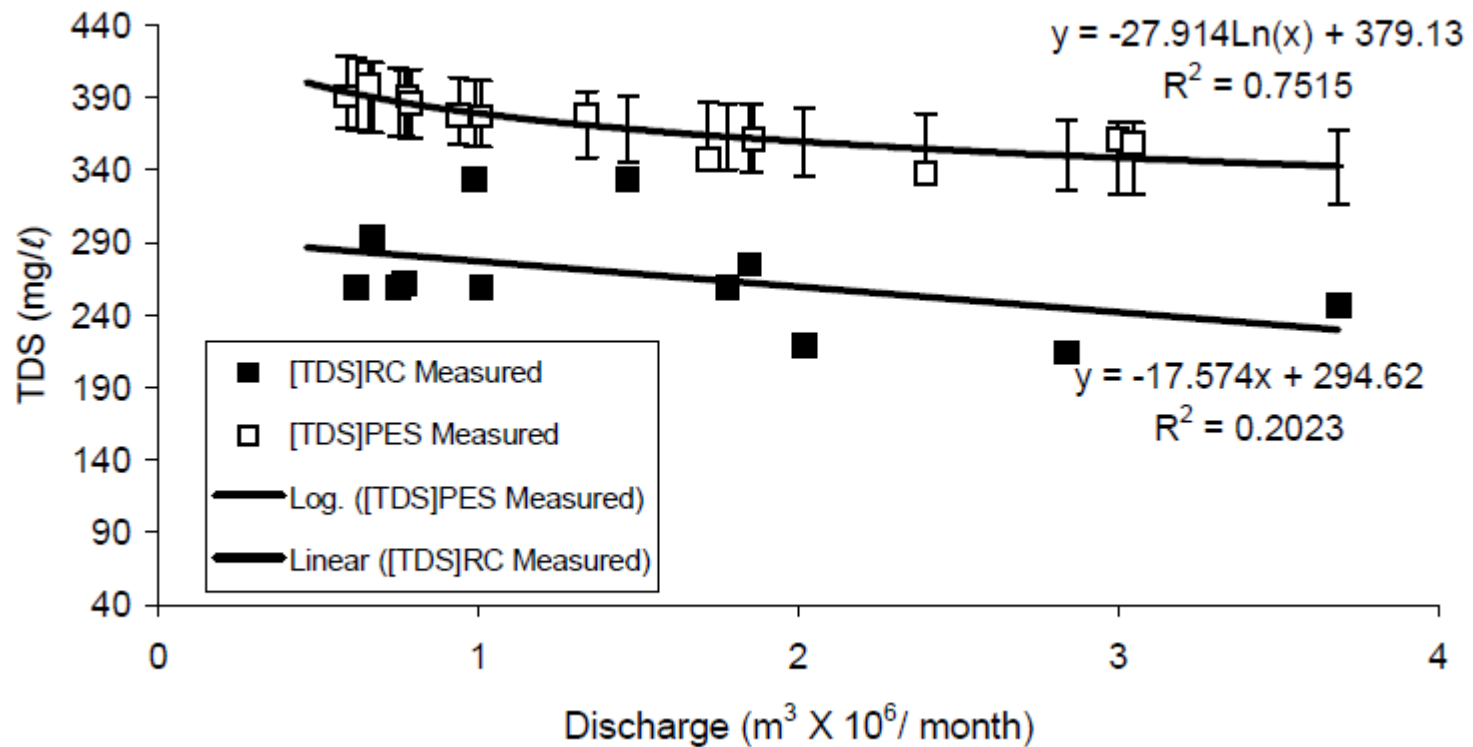
- Achar relação $C=f(Q)$
- Preencher falhas

Quais parâmetros de qualidade da água espera-se obter melhor relação $Q \times C$?



Relação log-log de nitrato e nitrito com a vazão do rio Potomac em Paw Paw - Md

THOMANN, R.V. e
MUELLER, J.A. 1987

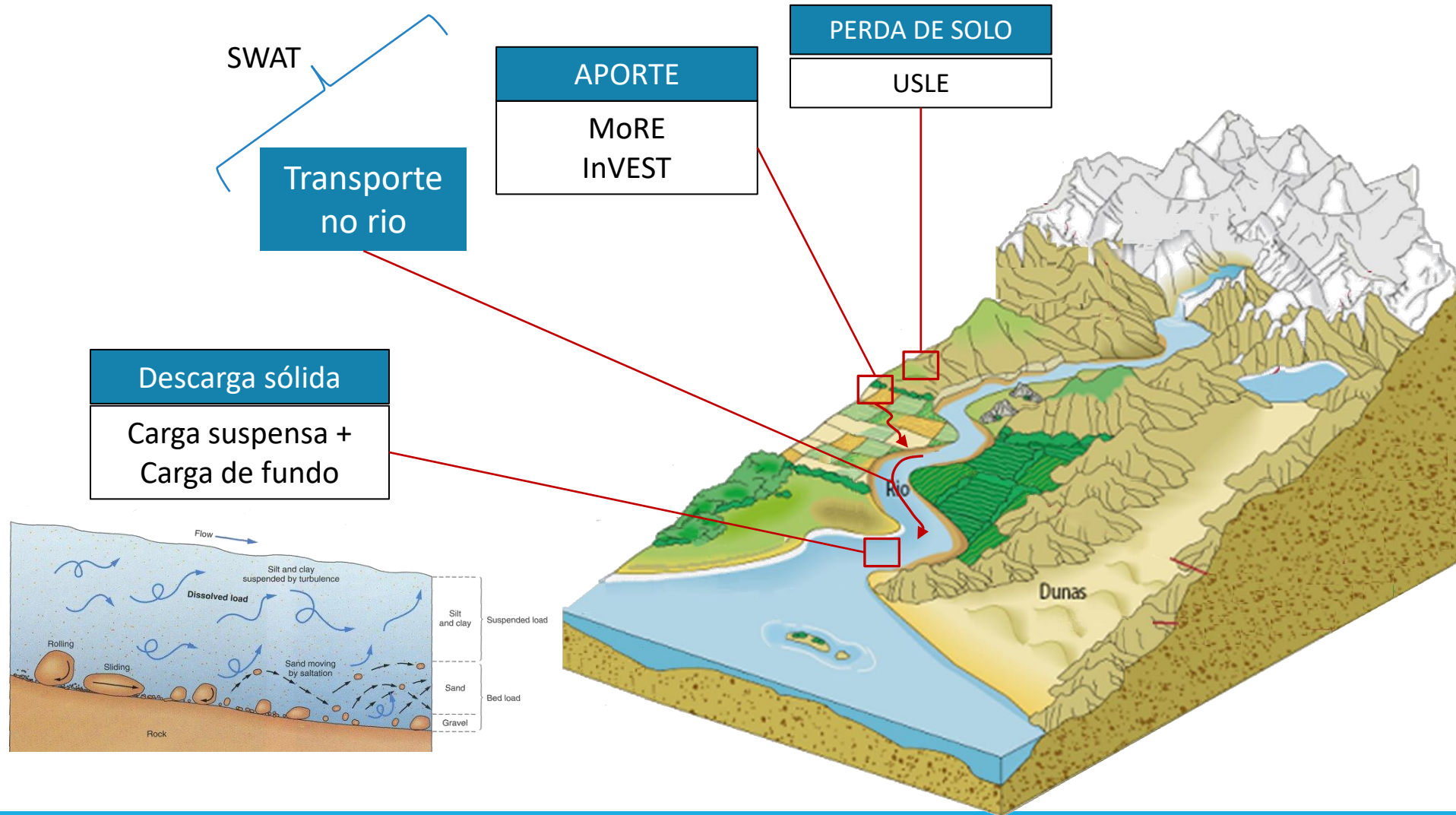


Malan et al. A simple flow-concentration modelling method for integrating water and water quantity in rivers. Water SA Vol. 29 No. 3 July 2003

Q-C plot for TDS in Water Quality Reach 1 on the Pienaars River. Measured reference condition (RC) and present ecological state (PES) concentrations of TDS are shown. Also shown are the regression lines exhibiting the highest r^2 value, the equations describing these relationships and the 95% confidence interval for the present ecological state.

Cargas de fontes intermitentes

Definições, processos e modelos



c) Cargas de fonte intermitente (difusa)

c.1) Carga média por evento (Di Toro, 1979)

$$W_R = C \times Q_R$$

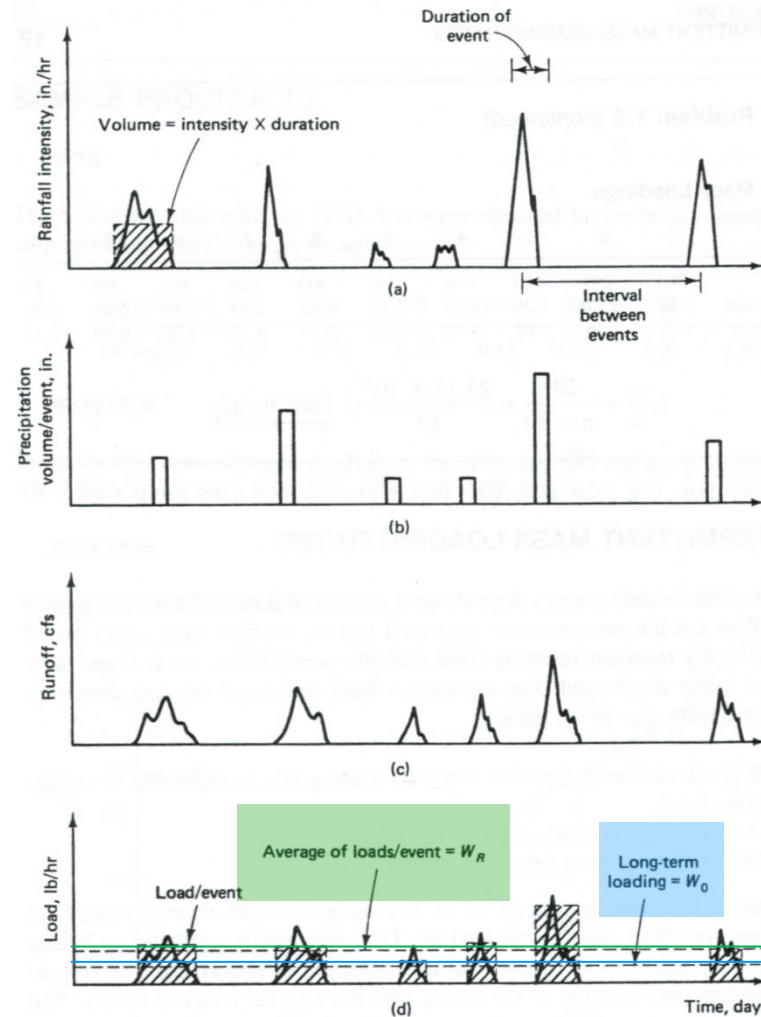
C: Concentração média (M/L³)

c.2) Carga média longo período

$$W_A = \frac{W_R D}{\Delta}$$

D: Duração média dos eventos (T)

Δ : Intervalo médio entre eventos (T).
Pelo menos 5 anos de dados.



Escoamento superficial

Fórmula racional (método mais simples, atentar para as considerações, simplificações e limitações do método)

Vazão de escoamento superficial

$$Q = C \times I \times A$$

Q: Vazão de pico de escoamento superficial do evento (L^2/T)

C: Coeficiente de escoamento superficial = f(uso do solo, densidade população, grau de permeabilidade do solo)

I: Intensidade da precipitação (L/T)

A: Área de drenagem (L^2)

Obs.: Existem outros métodos e modelos para estimar escoamento superficial

Método Racional

$$Q = ciA$$

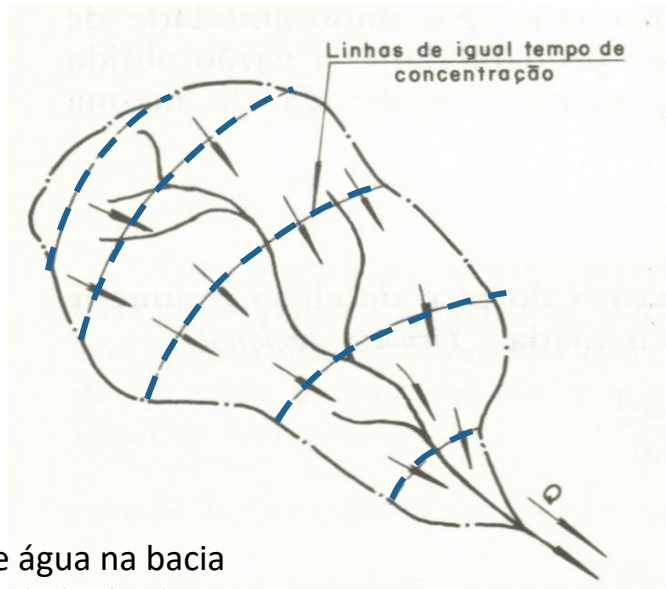
Máxima vazão provocada por uma chuva de intensidade uniforme.
Ocorre quando toda a bacia passa a contribuir para a seção em estudo.
Tempo necessário para que isso ocorra: t_c

Q: vazão de pico

c: coeficiente de deflúvio

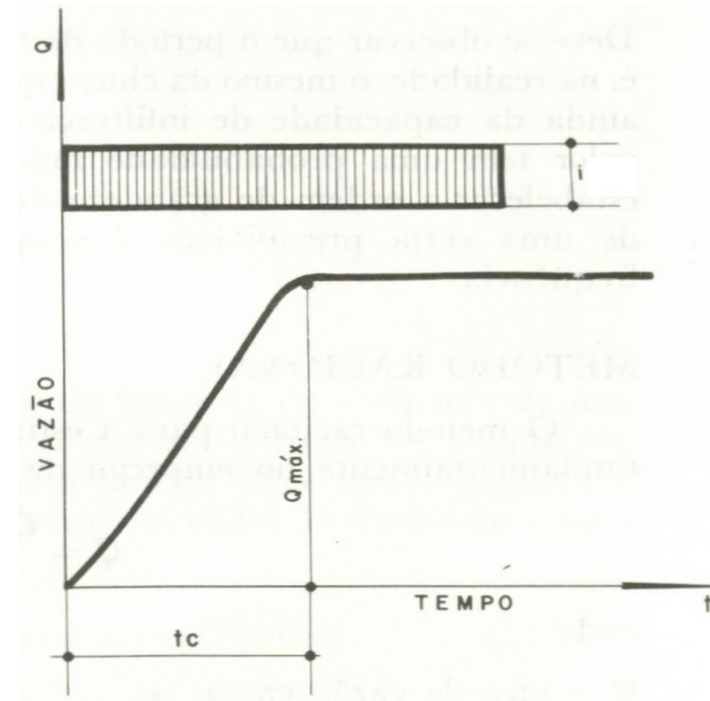
i : intensidade média da precipitação sobre toda a bacia , de duração igual ao t_c

A: área da bacia



Desconsideram-se:

- Armazenamento de água na bacia
- Variações da intensidade de chuva
- Variações do coeficiente c



- Uso com cautela, pois envolve várias simplificações
- Quanto maior a área \rightarrow mais impreciso o método

Aplicação para bacias:

$A \leq 5 \text{ km}^2$ (Linsley & Francini)

Erosão hídrica

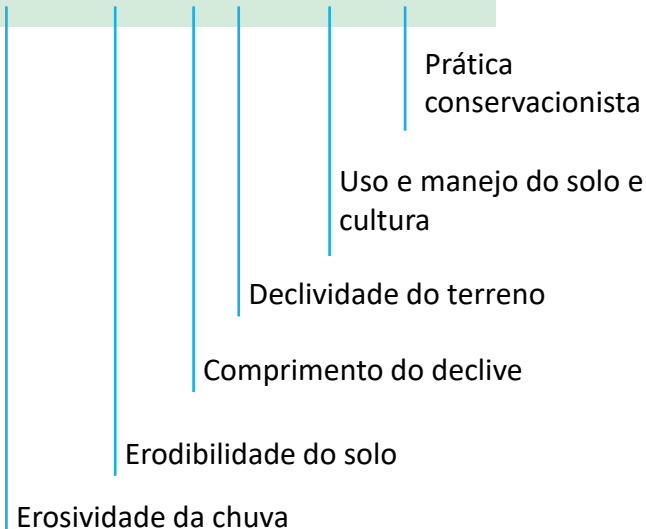
Substâncias aderidas no solo sendo levadas para o corpo hídrico.

- Perda de solo proveniente da **erosão laminar** e por **sulcos**
- Não considera produção de sedimentos por ravina
- Não considera erosão das margens e fundo do canal
- Não prevê deposição

USLE
Universal
Soil Lost
Equation

A – Perda de solo por unidade de área e tempo [t/(ha.ano)]

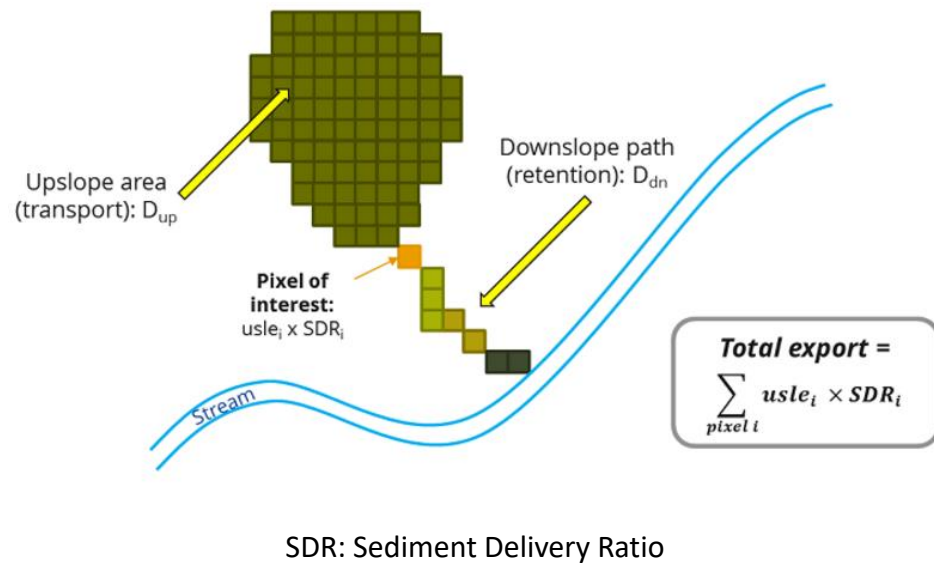
$$A = R K L S C P$$



USLE desenvolvida com base em medições realizadas em parcela experimentais

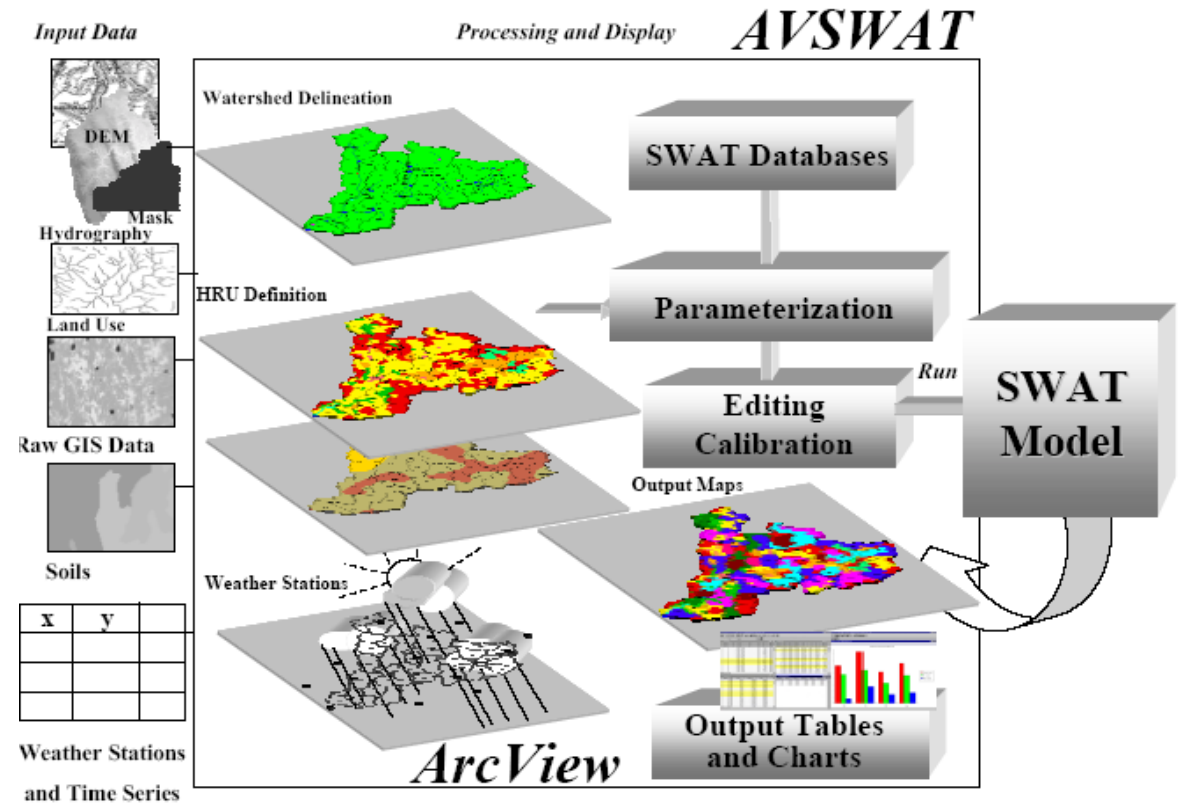
Modelos

I) InVEST



III) Modeling of Regionalized Emissions (MoRE)

II) SWAT



Processos físicos associados com o movimento da água e de substâncias, crescimento da vegetação, ciclo de nutriente

c.3) Estimativa de cargas potenciais por coeficiente de exportação

COM BASE NO USO DA TERRA

$$q \text{ (kg.ano}^{-1}\text{)} = \sum_{i=1}^n A_i \text{ (m}^2\text{)} \times E_i \text{ (kg.m}^{-2}\text{.ano}^{-1}\text{)}$$

q = carga de nutriente;

A_i = área do uso i ;

E_i = coeficiente de exportação para uso i .

Mapa de uso
da terra

(Salas & Martino, 1991)

Fósforo total	
Uso da bacia	EP (mg.m ⁻² .ano ⁻¹)
Urbano	100
Agrícola rural	50
Bosque	10

Nitrogênio total	
Uso da bacia	EN (mg.m ⁻² .ano ⁻¹)
Urbano	500
Agrícola rural	500
Bosque	300

Estimativa de cargas potenciais por coeficiente de exportação

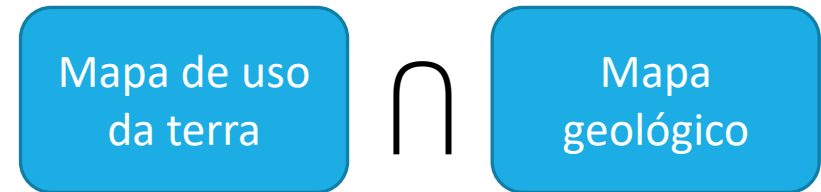
COM BASE NO USO DA TERRA E NA GEOLOGIA

$$q \text{ (kg.ano}^{-1}\text{)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij} \text{ (m}^2\text{)} \times E_{ij} \text{ (kg.m}^{-2}\text{.ano}^{-1}\text{)}$$

q = carga de nutriente;

A_{ij} = área do **uso i** sobre características **geológicas j**;

E_{ij} = coeficiente de exportação para **uso i** sobre características **geológicas j**.



Coeficientes de exportação de P (Jorgensen, 1989)

Fósforo total		
E_p (mg.m ⁻² .ano ⁻¹)		
Classificação geológica		
	Ígneo	Sedimentar
Drenagem de florestas		
Intervalo	0,7-9	7-18
Média	4,7	11,7
Florestas + Pastos		
Intervalo	6-12	11-37
Média	10,2	23,3
Áreas agrícolas		
Cítrica	18	
Pastos	15-75	
Áreas de cultivo	22-100	

Nitrogênio total		
E_N (mg.m ⁻² .ano ⁻¹)		
Classificação geológica		
	Ígneo	Sedimentar
Drenagem de florestas		
Intervalo	130-300	150-500
Média	200	340
Florestas + Pastos		
Intervalo	220-600	300-800
Média	400	600
Áreas agrícolas		
Cítrica	2240	
Pastos	100-850	
Áreas de cultivo	500-1200	

Exercício 4

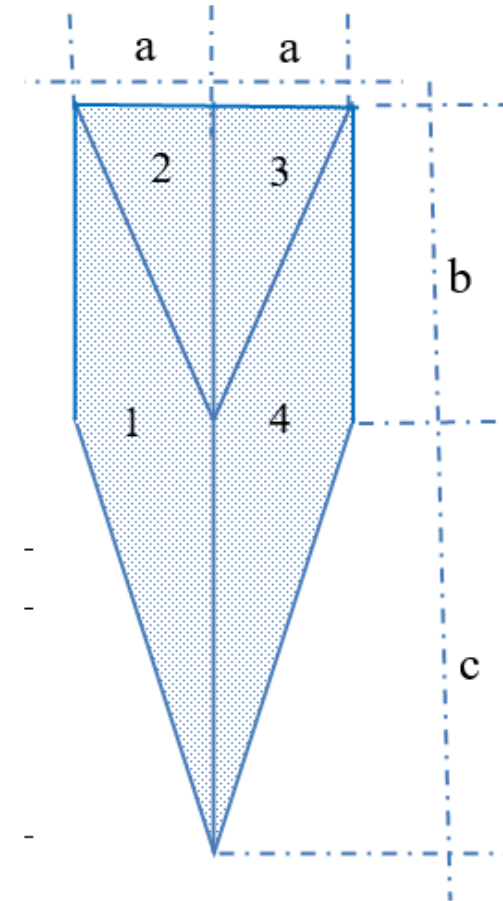
Dada uma bacia hipotética (Figura ao lado), subdividida em 4 áreas, resolva os itens abaixo.

- Estime a carga pontual bruta de nitrogênio na bacia
- Estime a carga difusa de nitrogênio na bacia
- Com base nos resultados dos itens anteriores, qual área está poluindo mais? Quais as medidas devem ser prioritizadas para reduzir as cargas de nitrogênio dentro da bacia?

Dados:

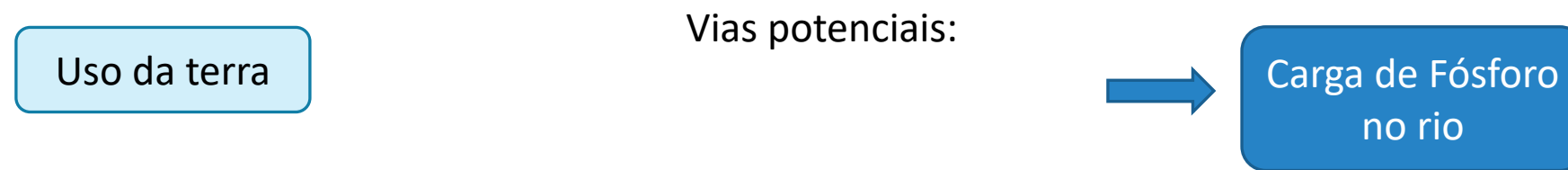
$a = 3 \text{ km}$; $b = 10 \text{ km}$; $c = 12 \text{ km}$

ID	Uso do solo	Geologia	População (hab)
1	Áreas de cultivo	Sedimentar	11.500
2	Floresta + Pasto	Ígneo	1.000
3	Floresta	Ígneo	
4	Pastos	Sedimentar	3.000



Reflexão

Quais as vias potenciais de poluição difusa que abrangem o uso da terra (áreas agrícolas, urbanas, campo, etc)?



Acessar:

<https://slice.wbrain.me/#/board/C9dorgAyUZYdjUOYSX>

Inserir fatores que influenciam no tipo e magnitude da substância (carga no rio)

Referência Bibliográfica

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

THOMANN, R.V. e MUELLER, J.A. 1987. *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*. New York: Harper & Row.

Estimativa de escoamento superficial:

Pinto et al. 1976. *Hidrologia Básica*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda.

Villela & Mattos. 1975. *Hidrologia Aplicada*. São Paulo: McGrawHill.