

Poluição e qualidade das águas e solos

AGG 0201 Geoquímica de Ambientes Superficiais
Profa. Andréa Teixeira Ustra

Poluição

×

Contaminação

substância que ameaça a saúde, a segurança e o bem estar, prejudica a vida e altera as características do meio para determinados **fins**

organismos patogênicos, substâncias tóxicas e/ou radioativas em **teores** prejudiciais a saúde do homem

Feitosa & Manoel Filho (2000) “toda água contaminada é poluída, mas nem toda água poluída (desde que não afete a saúde do homem) é contaminada”

FORMAS de contaminação dos solos e das águas subterrâneas

- **Atividade agrícola**

Atividades agrícolas

Agrotóxicos e fertilizantes □
nitrogênio e metais pesados



FORMAS de contaminação dos solos e das águas subterrâneas

- Atividade agrícola
- Resíduos radioativos

Resíduos radioativos

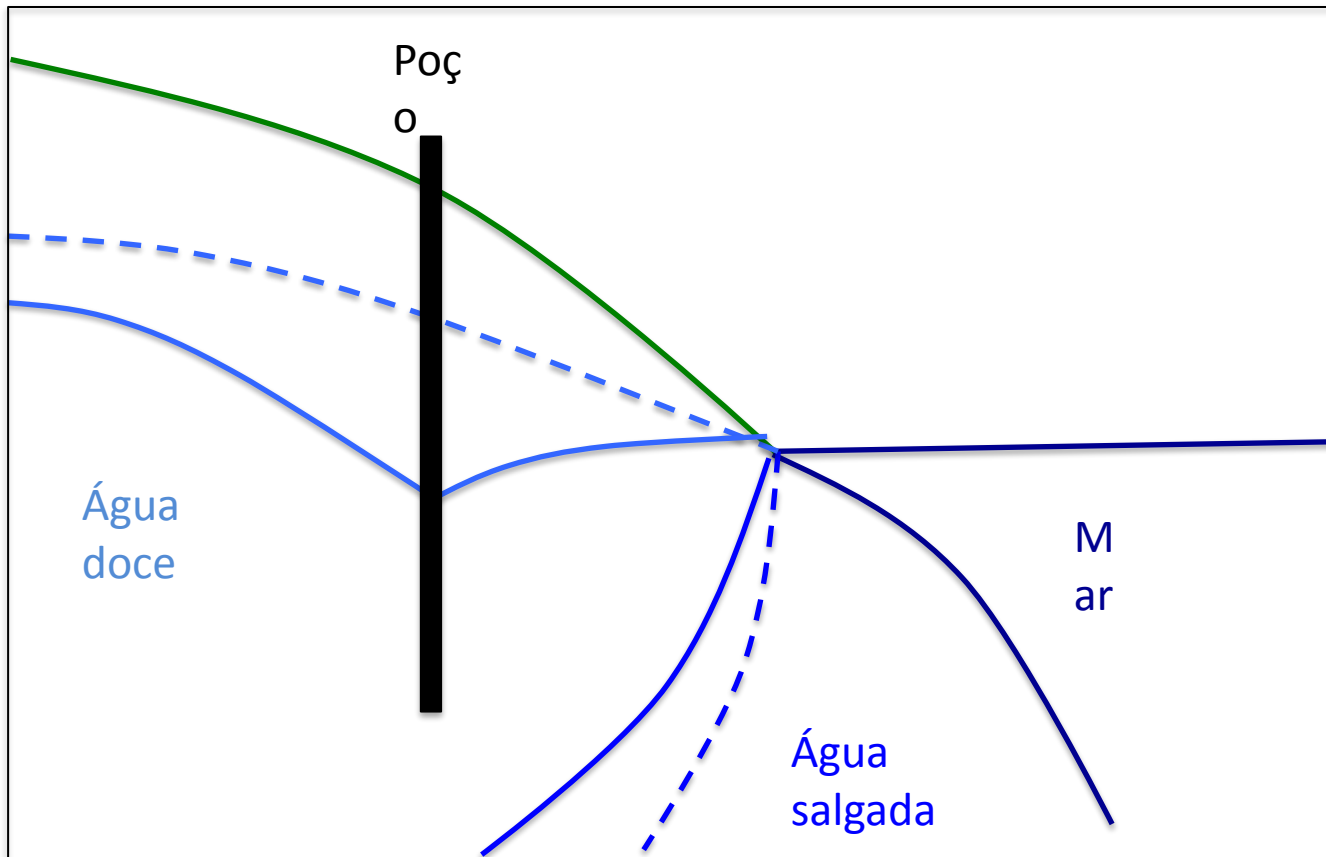
- Análises clínicas (Raio-X), radioterapia

Nome e logotipo da instituição CUIDADO  REJEITO RADIOATIVO	Código de identificação: Setor gerador: Data de recolhimento:/...../..... Quantidade: Peso (kg): Volume (L): pH: Conteúdo/Composição química: Radionuclídeo: Atividade (Bq): () medida () estimada α total: β/γ total: Taxa de exposição (mSv/h): () ao contato: () a 1m: Data da monitoração:/...../..... Risco biológico e/ou químico: Cuidados adicionais: Decaimento até:/...../..... Data da eliminação:/...../..... Nome do Responsável: Assinatura: Observações:
Frente	Verso

FORMAS de contaminação dos solos e das águas subterrâneas

- Atividade agrícola
- Resíduos radioativos
- **Intrusão salina**

Intrusão salina



FORMAS de contaminação dos solos e das águas subterrâneas

- Atividade agrícola
- Resíduos radioativos
- Intrusão salina
- **Disposição de resíduos sólidos na superfície do solo**

Disposição de reísuduos sólidos

Decomposição dos resíduos → **CHORUME** e gases

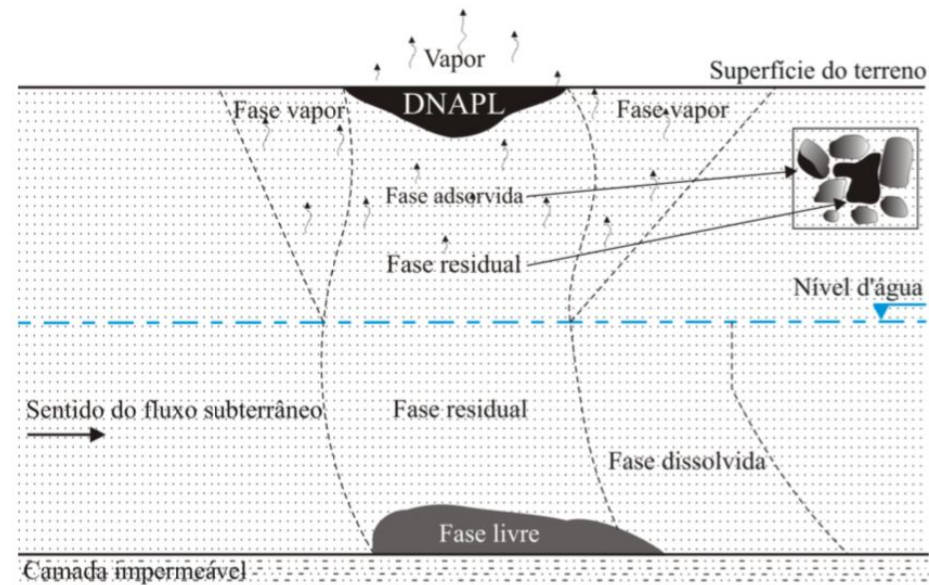
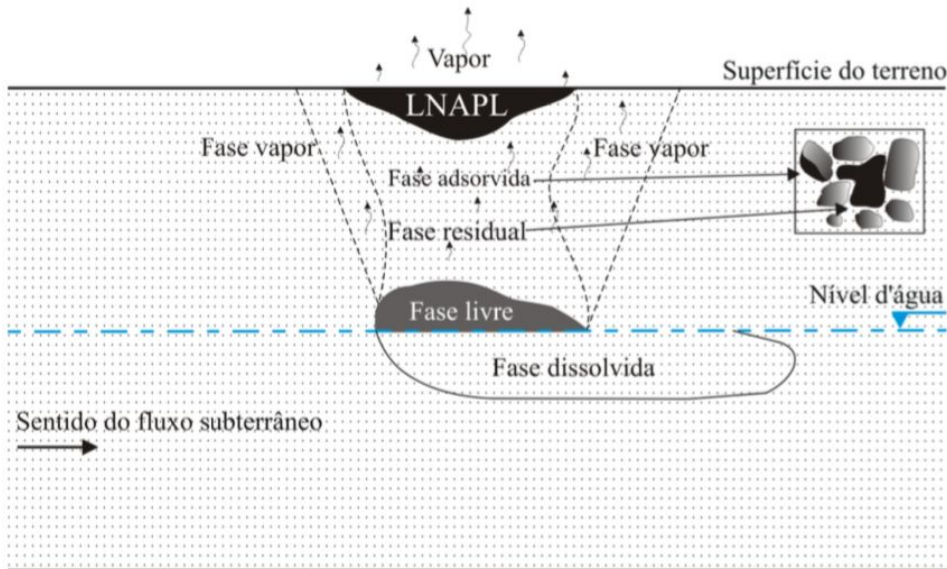
Chorume: líquido formado pela percolação das águas das chuvas e pelo líquido proveniente do próprio lixo e sua decomposição, que percola através do corpo dos resíduos



FORMAS de contaminação dos solos e das águas subterrâneas

- Atividade agrícola
- Resíduos radioativos
- Intrusão salina
- Disposição de resíduos sólidos na superfície do solo
- **Derrame e vazamento de derivados de hidrocarbonetos**

Derrames de hidrocarbonetos



Lago (2009)

Non Aqueous Phase Liquids = Contaminantes imiscíveis na água

LNAPL = Light Non Aqueous Phase Liquids

DNAPL = Dense Non Aqueous Phase Liquids

Lago (2009)

qualidade

Introdução de substâncias ou
resíduos no meio ambiente



**Poluição ou contaminação
comprovada**

área contaminada



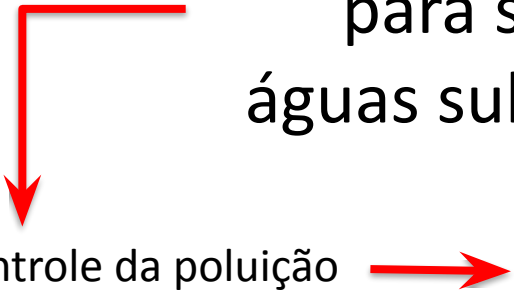
RELATÓRIOS DE ÁREAS CONTAMINADAS CETESB - 2014



Classificação de áreas contaminadas - CETESB

Valores Orientadores

para solos e
águas subterrâneas



prevenção e controle da poluição → proteção da qualidade dos solos e das águas subterrâneas e o gerenciamento de áreas contaminadas

Valor de Referência de Qualidade (VRQ) – concentração referente a qualidade natural da água subterrânea

Valor de prevenção (VP) – concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea

Valor de intervenção (VI) – concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana □
área contaminada

Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	VI
INORGÂNICOS							
Antimônio ⁽¹⁾	7440-36-0	<0,5	2	5	10	25	5
Arsênio ⁽¹⁾	7440-38-2	3,5	15	35	55	150	10
Bário	7440-39-3	75	120	500	1300	7300	700
Boro	7440-42-8	-	-	-	-	-	2400
Cádmio	7440-43-9	<0,5	1,3	3,6	14	160	5
Chumbo	7439-92-1	17	72	150	240	4400	10
Cobalto ⁽¹⁾	7440-48-4	13	25	35	65	90	70
Cobre ⁽²⁾	7440-50-8	35	60	760	2100	10000 ^(a)	2000
Crômio total ⁽¹⁾	7440-47-3	40	75	150	300	400	50
Crômio hexavalente	18540-29-9	-	-	0,4	3,2	10	-
Mercurio	7439-97-6	0,05	0,5	1,2	0,9	7	1
Molibdênio	7439-98-7	<4	5	11	29	180	30
Níquel ⁽²⁾	7440-02-0	13	30	190	480	3800	70
Nitrato (como N)	14797-55-8	-	-	-	-	-	10000
Prata ⁽¹⁾	7440-22-4	0,25	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	0,25	1,2	24	81	640	10
Zinco	7440-66-6	60	86	1900	7000	10000 ^(a)	1800

Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	VI
HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS VOLÁTEIS							
Benzeno	71-43-2	-	0,002	0,02	0,08	0,2	5
Estireno	100-42-5	-	0,5	50	60	480	20
Etilbenzeno	100-41-4	-	0,03	0,2	0,6	1,4	300
Tolueno	108-88-3	-	0,9	5,6	14	80	700
Xilenos	1330-20-7	-	0,03	12	3,2	19	500
HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS							
Antraceno	120-12-7	-	0,3	2300	4600	10000 ^(a)	900
Benzo(a)antraceno	56-55-3	-	0,2	1,6	7	22	0,4
benzo(b)fluoranteno	205-99-2	-	0,7	2	7,2	25	0,4
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	-	0,8	27	75	240	4,1
Benzo(g,h,i)perileno ⁽³⁾	191-24-2	-	0,5	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	50-32-8	-	0,1	0,2	0,8	2,7	0,7
Criseno	218-01-9	-	1,6	95	600	1600	41
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	-	0,2	0,3	0,8	2,9	0,04
Fenantreno ^(3,4)	85-01-8	-	3,6	15	40	95	140
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	-	0,4	3,4	8	30	0,4
Naftaleno	91-20-3	-	0,7	1,1	1,8	5,9	60

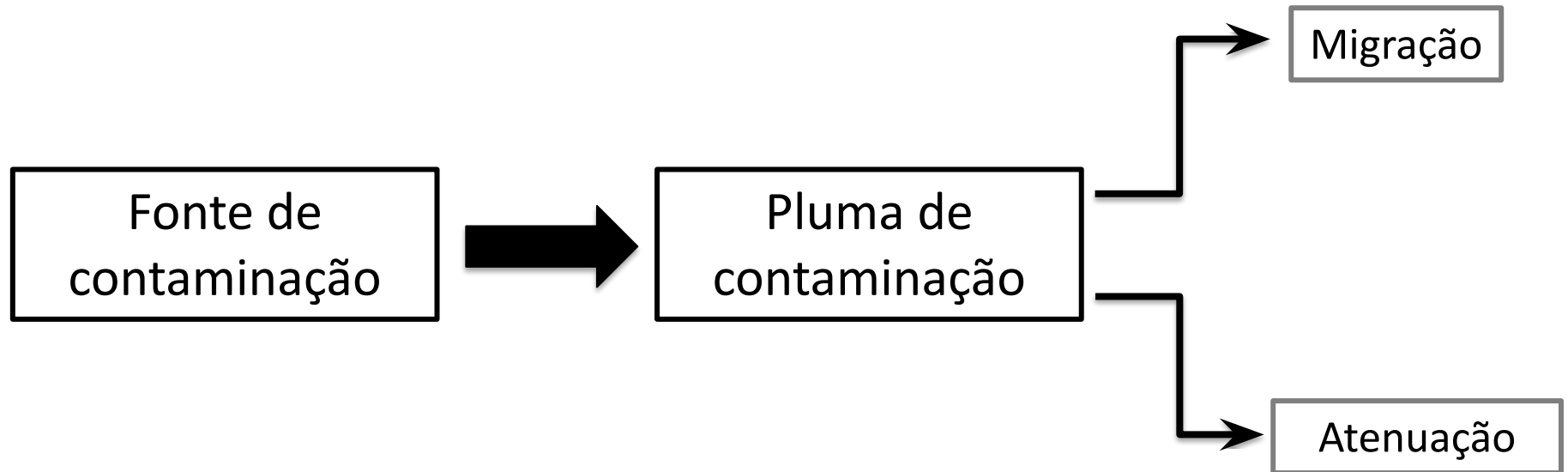
Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	VI
PESTICIDAS ORGANOCLORADOS							
Aldrin	309-00-2	-	0,02	0,4	0,8	6	0,03 ^(b)
Dieldrin	60-57-1	-	0,01	0,3	0,8	5,9	
Endrin	72-20-8	-	0,001	0,8	2,5	17	0,6
Carbofuran	1563-66-2	-	0,0001	0,3	0,7	3,8	7 (B)
Endossulfan	115-29-7	-	0,7	4,7	12	66	20 ^(c)
DDD	72-54-8	-	0,02	1	7,5	23	1 ^(b)
DDE	72-55-9	-	0,01	1,2	8,5	25	
DDT	50-29-3	-	0,01	5,5	22	82	
HCH alfa	319-84-6	-	0,0003	0,002	0,02	0,04	0,05
HCH beta	319-85-7	-	0,001	0,01	0,06	0,2	0,17
HCH – gama (Lindano)	58-89-9	-	0,001	0,008	0,06	0,2	2
OUTROS							
PCBs Indicadores ⁽⁵⁾	NA	-	0,0003	0,01	0,03	0,12	3,5
TBT e seus compostos ⁽⁶⁾	NA	-	0,24	16	1,7	270	0,09
Anilina	62-53-3	-	0,023	0,15	0,7	3,2	42

CETESB, 2014 b

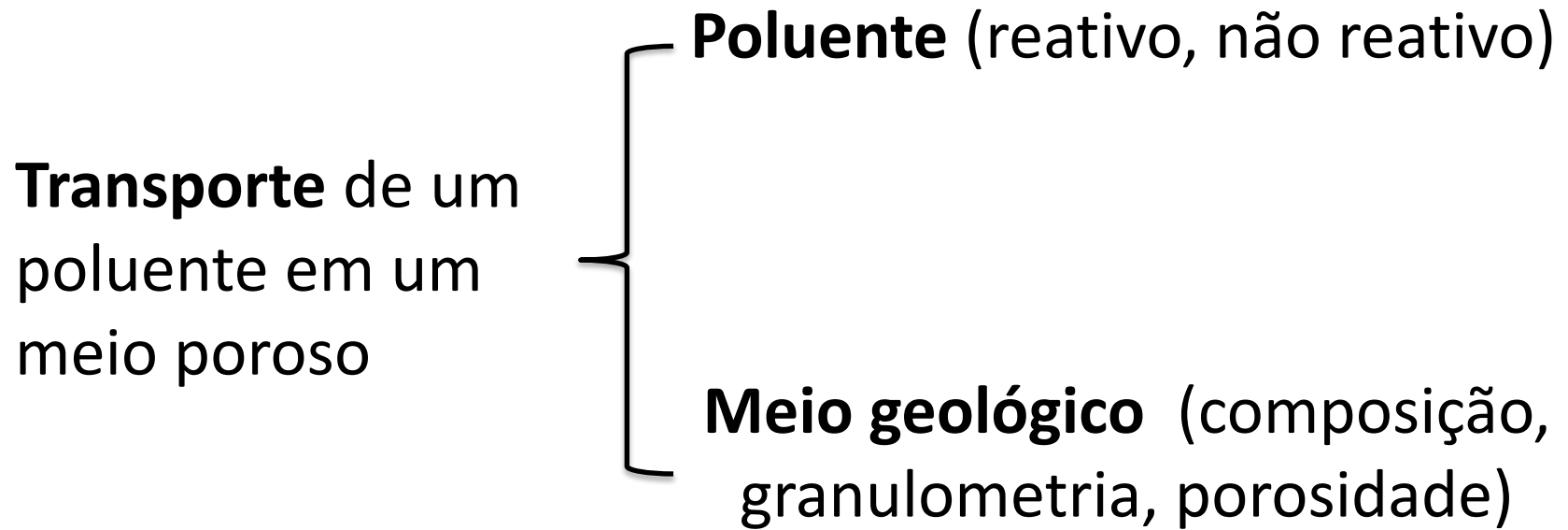
Pratica: dados de áreas contaminadas no Estado de São Paulo

- <https://cetesb.sp.gov.br>
- <https://www.iag.usp.br/geofisica/>

Investigação de áreas contaminadas



Comportamento dos contaminantes no meio poroso



Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Mecanismos que atuam no **transporte** de um poluente em um meio poroso

Constituintes **não reativos** :

Advecção e dispersão hidrodinâmica

Constitutes **reativos**:

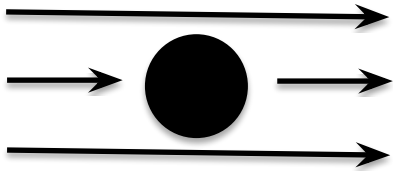
Advecção e dispersão hidrodinâmica

Retardamento e atenuação

Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Advecção

$$J_A = \phi u C$$



J_A - Fluxo advectivo

ϕ - porosidade

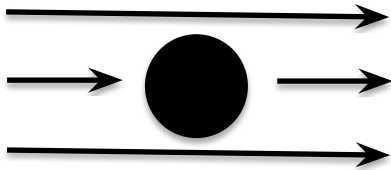
u - velocidade média

C - concentração do contaminante

Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Advecção

$$J_A = \phi u C$$



Dispersão mecânica

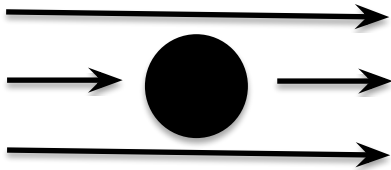
$$J_{DISP} = -D_{DISP} \phi \frac{\partial C}{\partial x}$$

- J_A - Fluxo advectivo
- ϕ - porosidade
- u - velocidade média
- C - concentração do contaminante
- J_{DISP} - Fluxo dispersivo
- D_{DISP} - coeficiente de dispersão

Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Advecção

$$J_A = \phi u C$$



Dispersão mecânica

$$J_{DISP} = -D_{DISP} \phi \frac{\partial C}{\partial x}$$

Difusão molecular

$$J_{DIF} = -\tau D_0 \phi u \frac{\partial C}{\partial x}$$

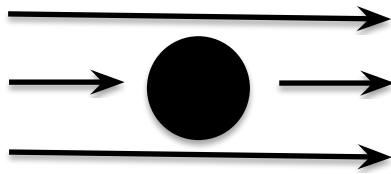
- J_A - Fluxo advectivo
- ϕ - porosidade
- u - velocidade média
- C - concentração do contaminante
- J_{DISP} - Fluxo dispersivo
- D_{DISP} - coeficiente de dispersão
- J_{DIF} - Fluxo difusivo
- τ - tortuosidade
- D_0 - coeficiente de difusão molecular

Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Dispersão hidrodinâmica

Advecção

$$J_A = \phi u C$$

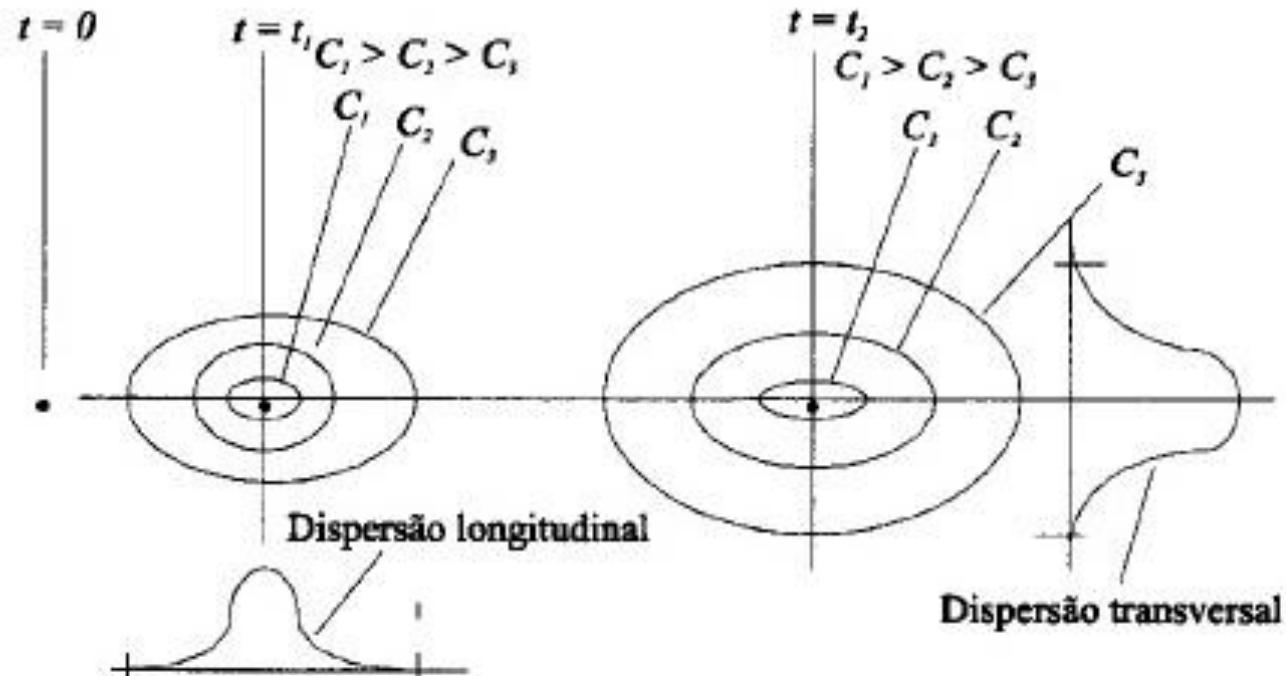


Dispersão mecânica

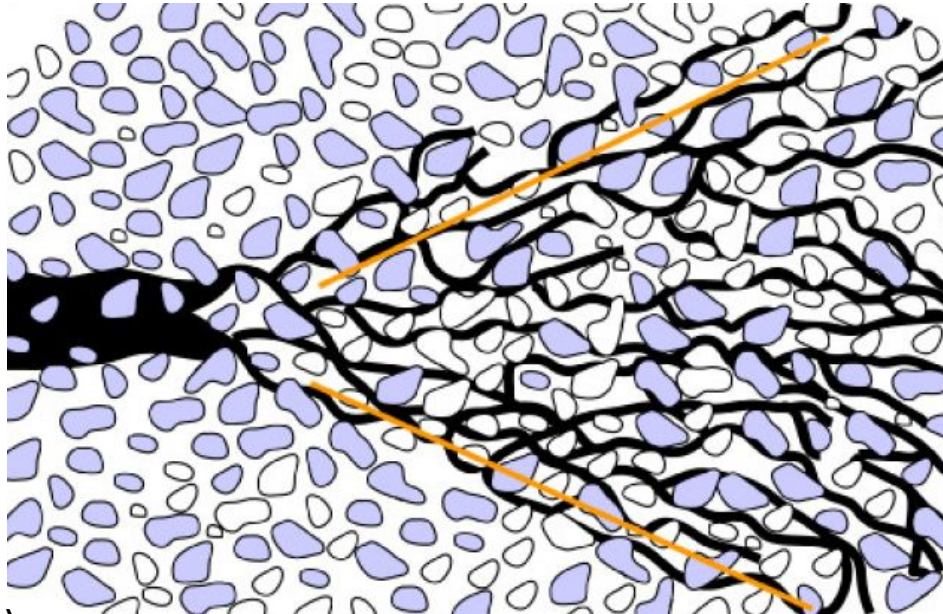
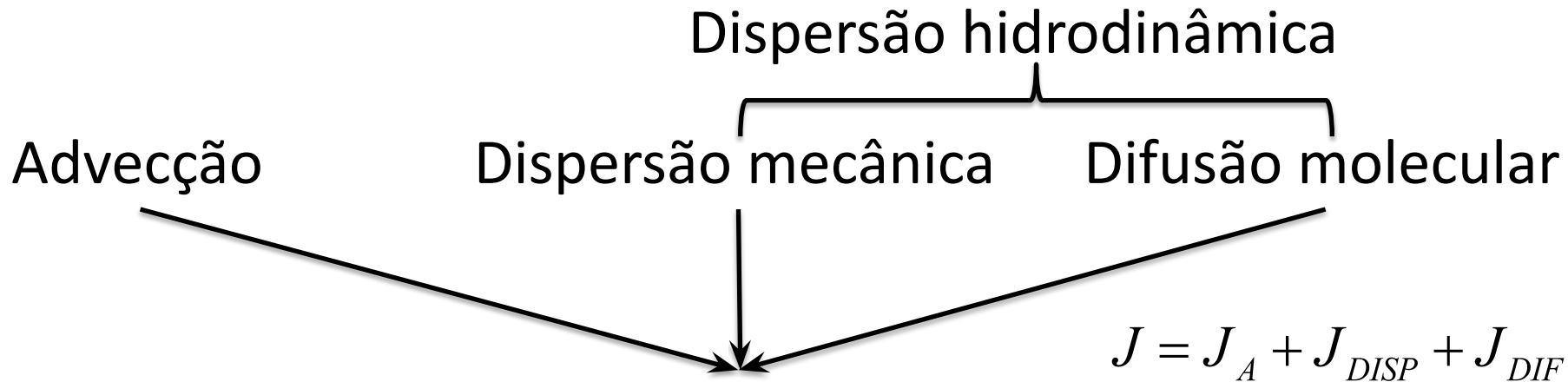
$$J_{DISP} = -D_{DISP} \phi \frac{\partial C}{\partial x}$$

Difusão molecular

$$J_{DIF} = -\tau D_0 \phi u \frac{\partial C}{\partial x}$$

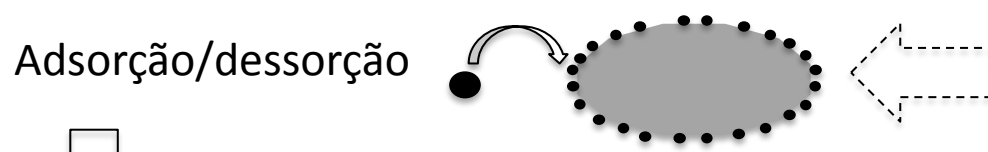


Comportamento dos contaminantes no meio poroso



Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Processos de sorção



Ligação física – Van der Waals
Ligação química – forças de Coulomb
Ligações de hidrogênio

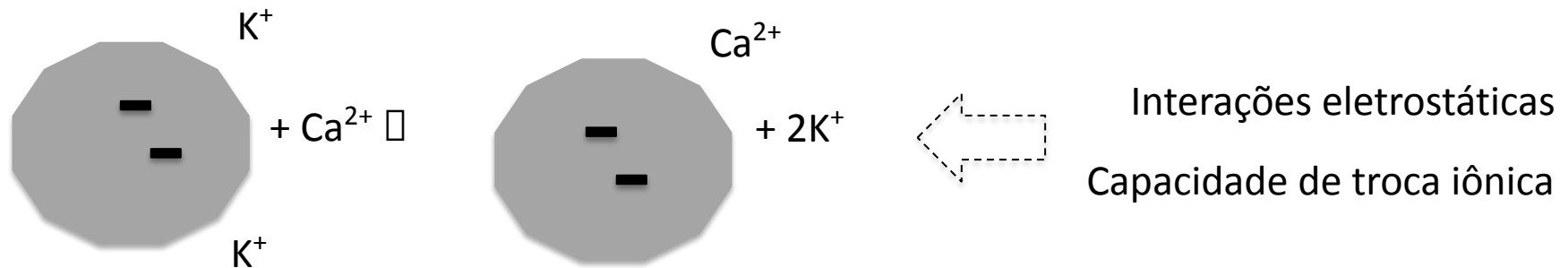


Mineral – hidrofóbico x hidrofílico

Sorvente - molhabilidade

Comportamento dos contaminantes no meio poroso

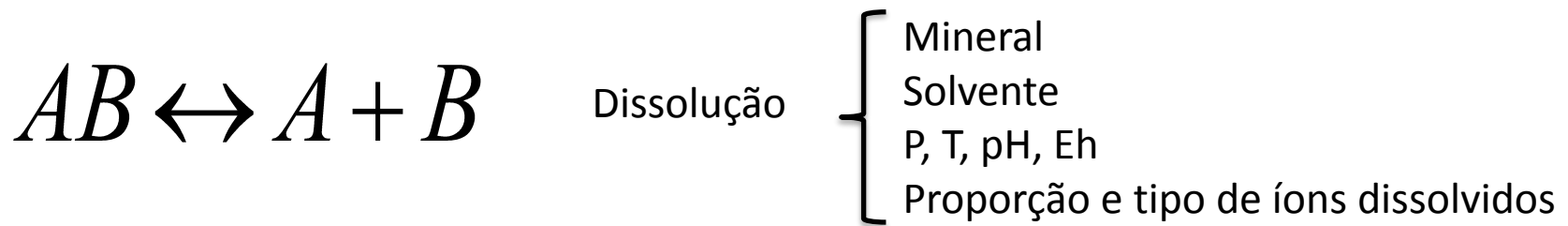
Trocas iônicas



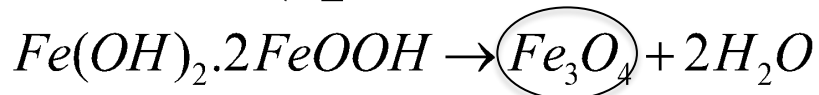
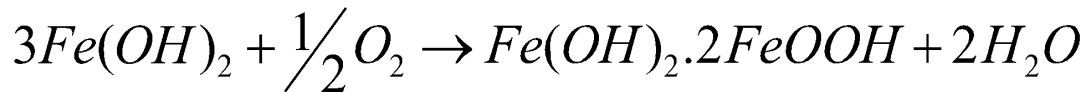
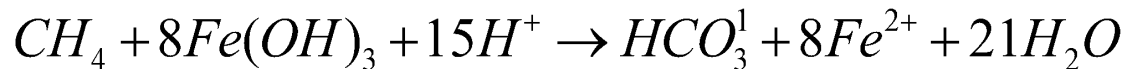
Substância	Força de ligação relativa
Argilominerais, zeólitas	$Cu > Pb > Ni > Zn > Hg > Cd$
Oxi-hidróxidos de Fe e Mn	$Pb > Cr = Cu > Zn > Ni > Cd > Co > Mn$
Matéria orgânica (em geral)	$Pb > Cu > Ni > Co > Cd > Zn = Fe > Mn$
Turfa	$Cu > Pb > Zn > Cd$

Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Dissolução/precipitação



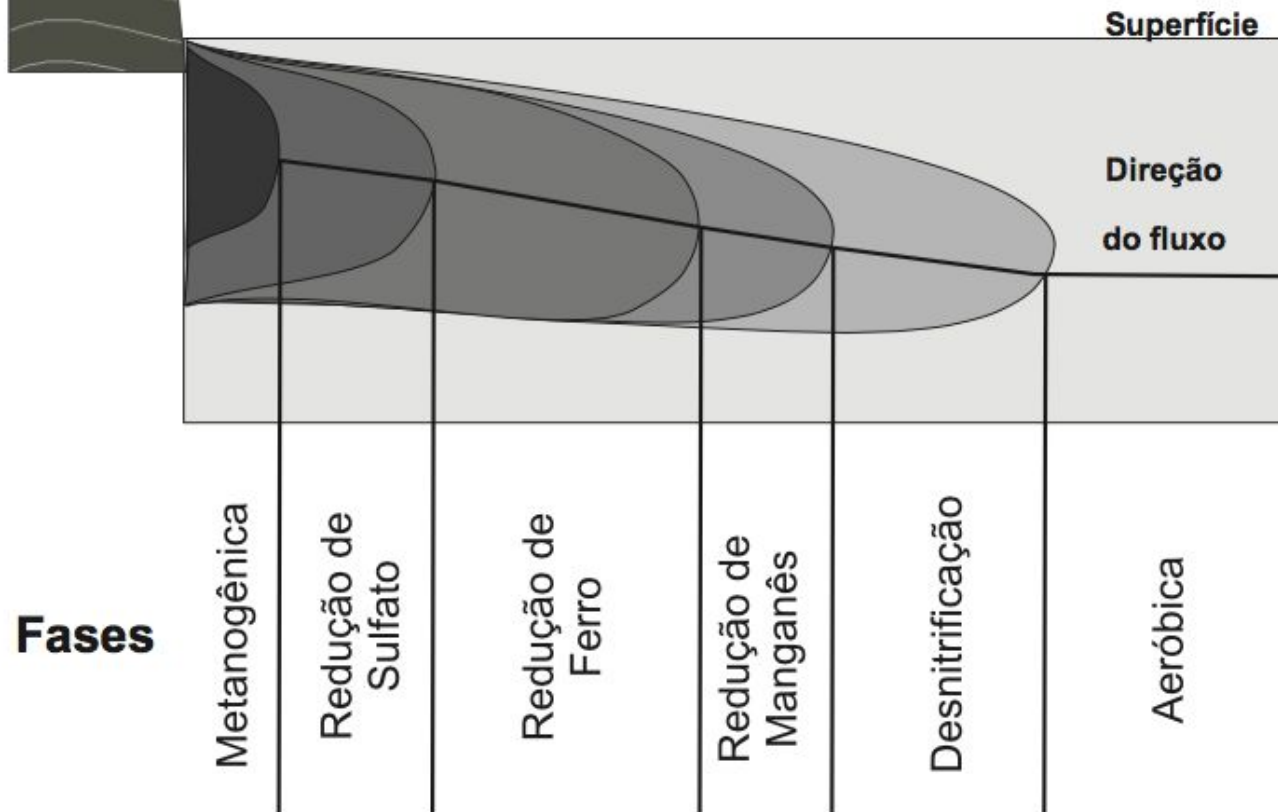
Dissolução de $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ $\longrightarrow$ Precipitação de CaCO_3



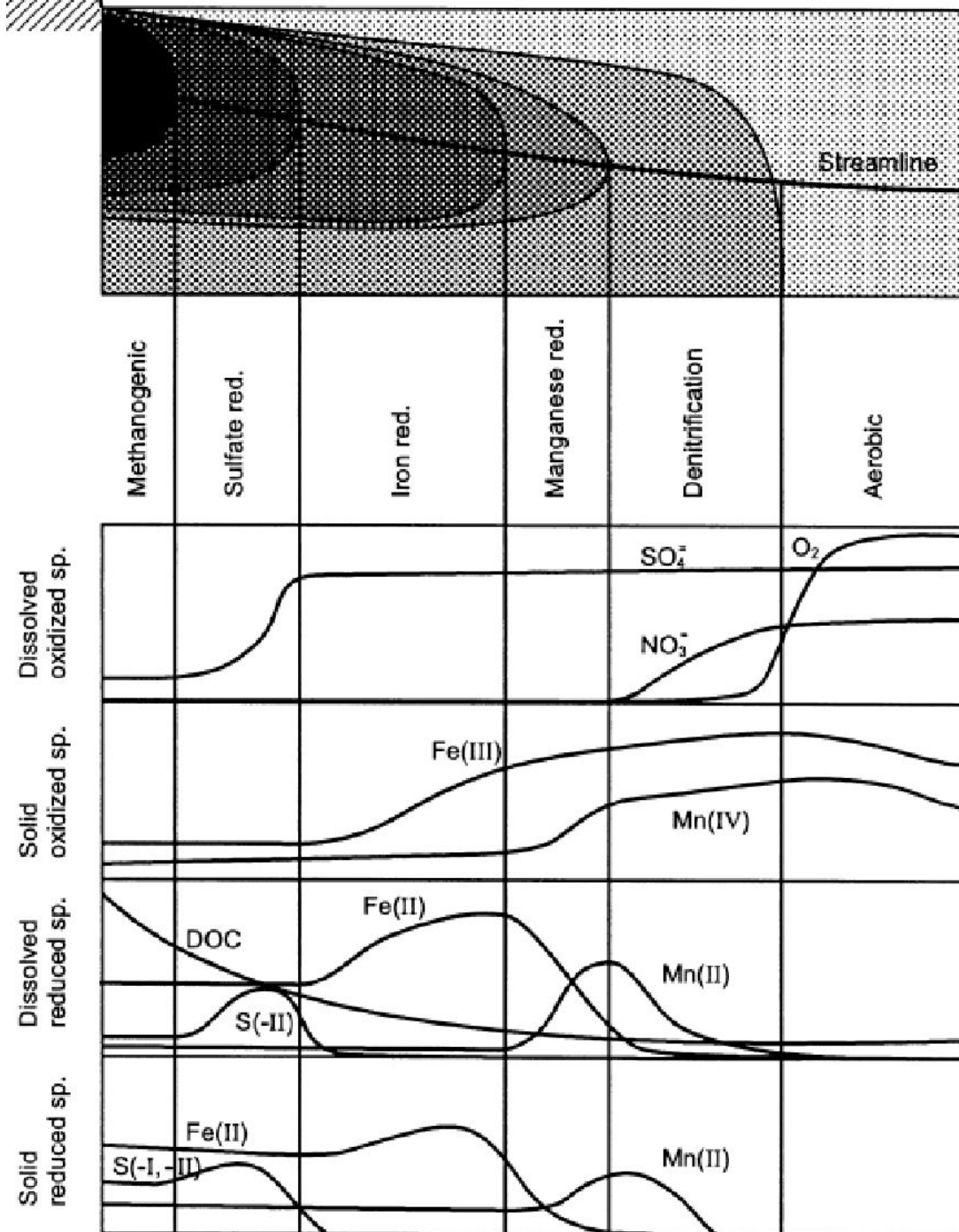
Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Fonte de
resíduos

Processos redox

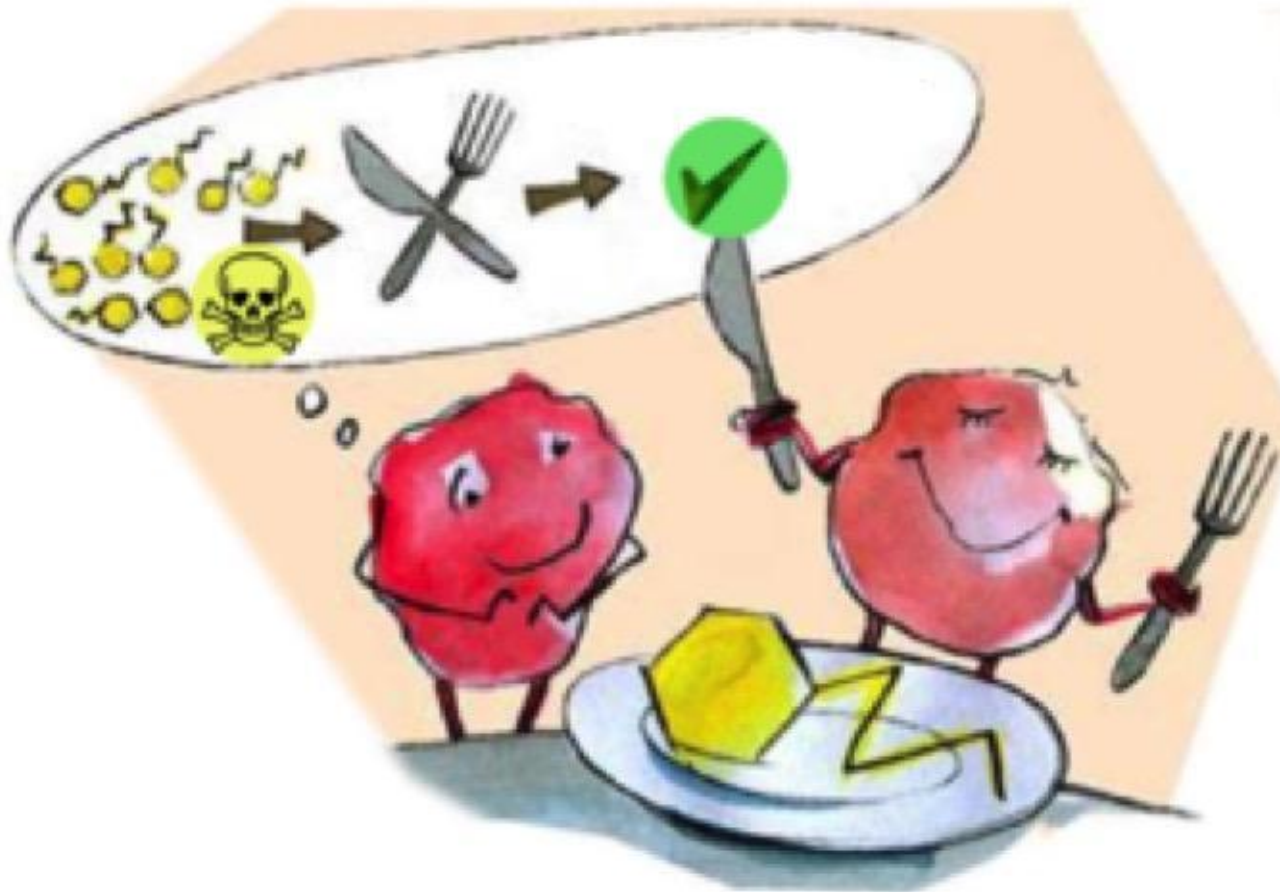


Zonas geoquímicas



Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Biodegradação



Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Biodegradação

Exemplo

Geobacter metallireducens – capaz de degradar tolueno completamente (produto final CO₂), pela redução dissimilatória de Fe(III)

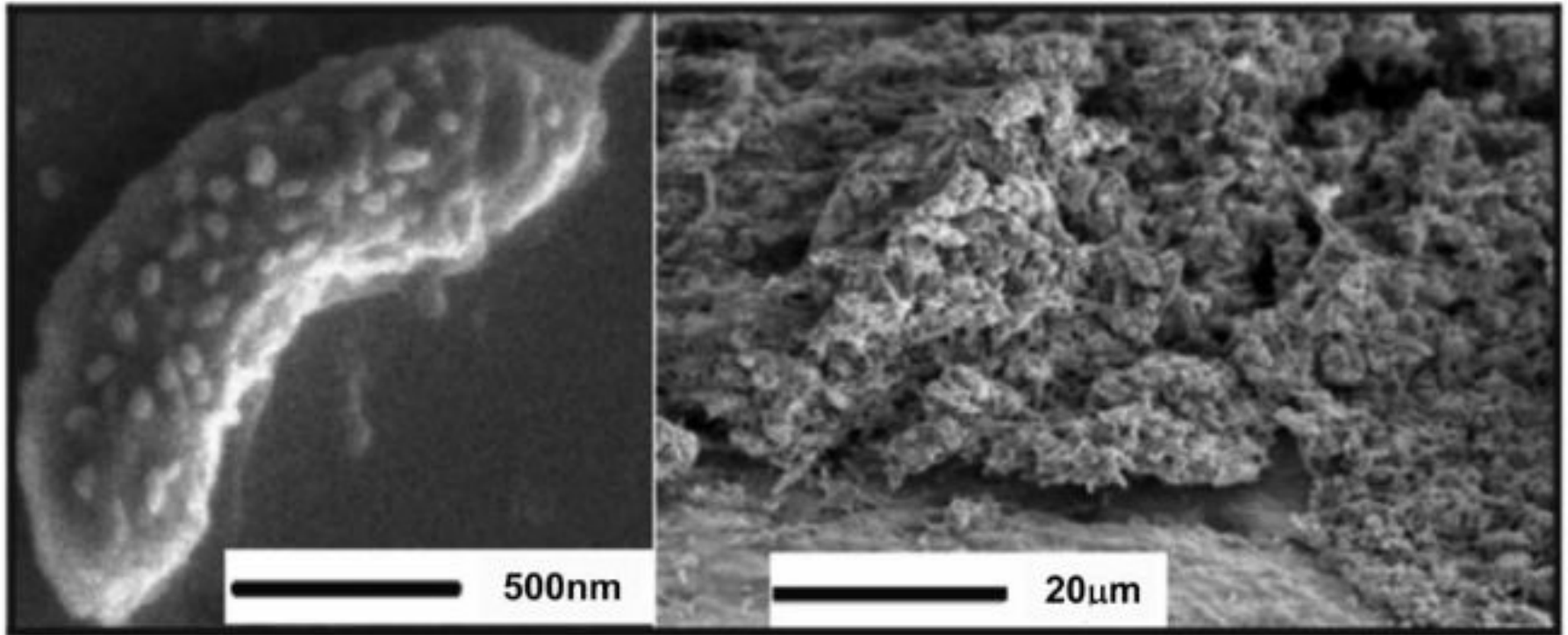
Carbono orgânico = doador de e^-

Fe(III) = receptor de e^-

Transferência de e^- = energia!

Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Biodegradação



Ntarlagiannis et al. (2005)

Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Biodegradação

Crescimento microbiano e metabolismo no meio poroso

Microbios + Carbono Orgânico + Nutrientes + Substrato Mineral

Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Biodegradação

Crescimento microbiano e metabolismo no meio poroso

Microbios + Carbono Orgânico + Nutrientes + Substrato Mineral



Produção de biomassa

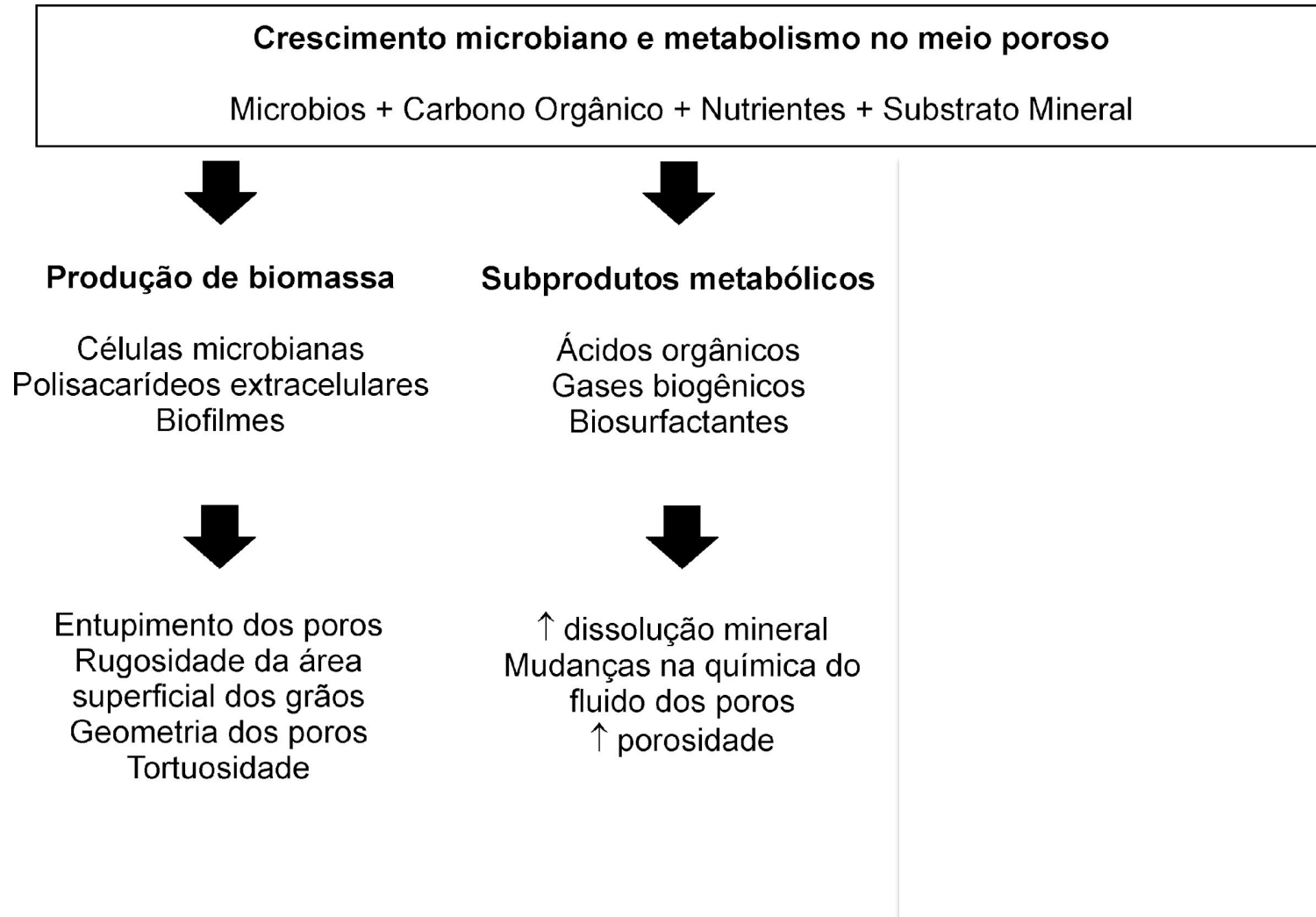
Células microbianas
Polisacarídeos extracelulares
Biofilmes



Entupimento dos poros
Rugosidade da área
superficial dos grãos
Geometria dos poros
Tortuosidade

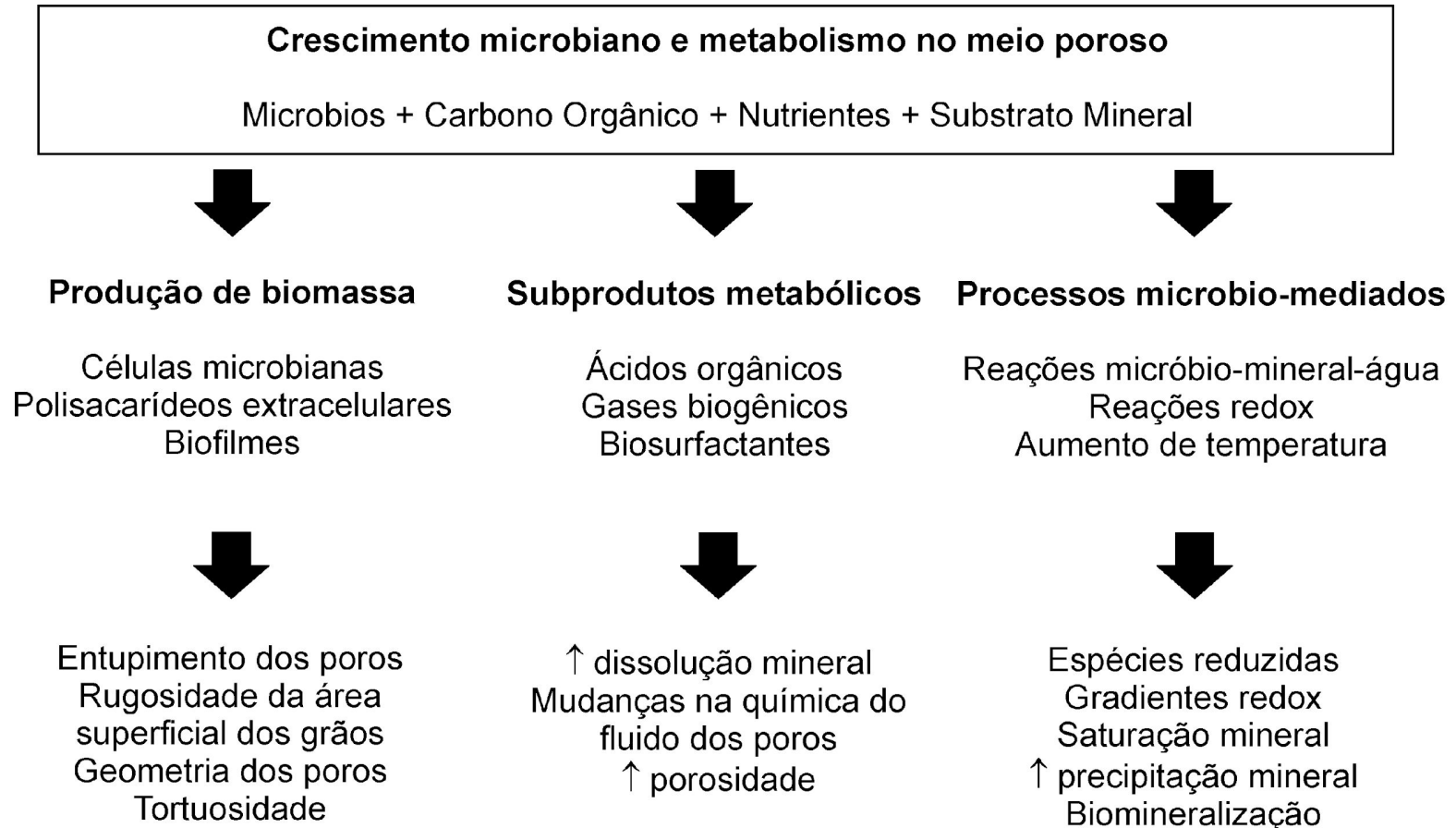
Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Biodegradação



Comportamento dos contaminantes no meio poroso

Biodegradação



GEOFÍSICA

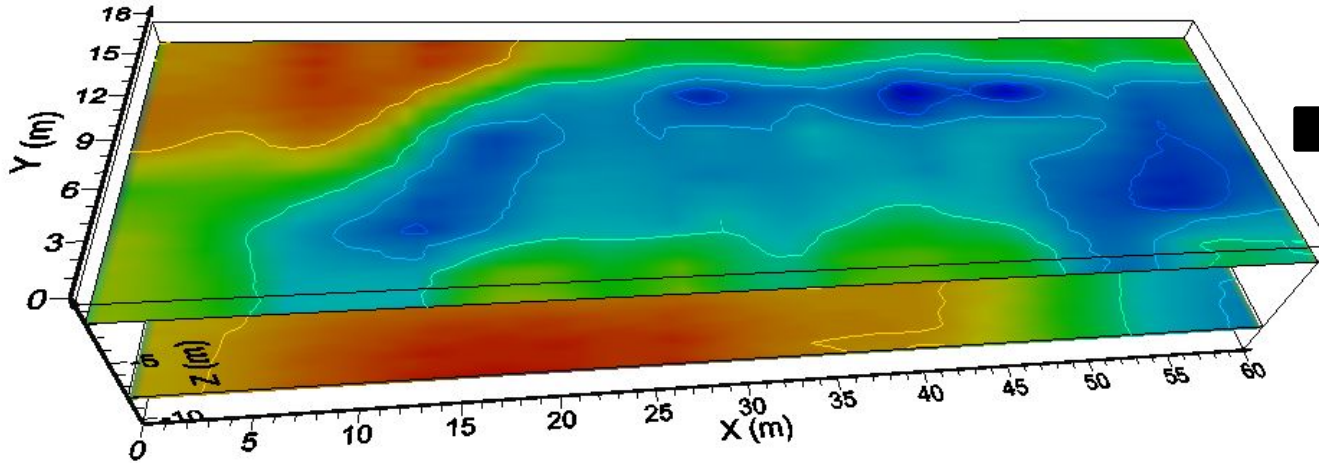
**Uma ferramenta AUXILIAR na
avaliação de áreas contaminadas**

GEOFÍSICA

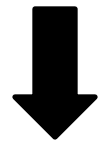
Uma ferramenta **AUXILIAR** na
avaliação de áreas contaminadas

**Uma ferramenta FUNDAMENTAL no
monitoramento de áreas
contaminadas**

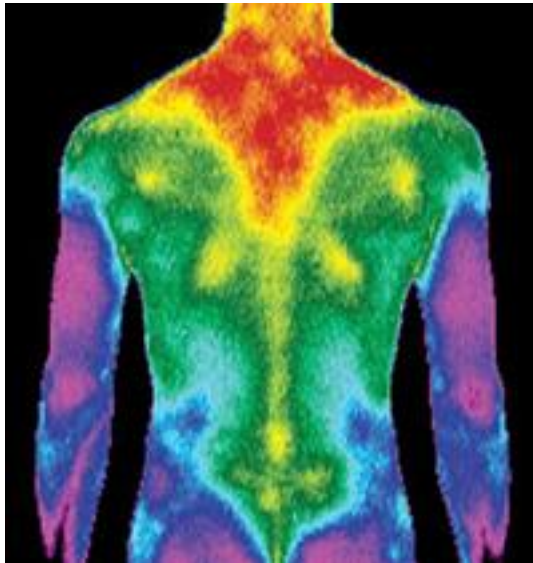
A geofísica e o ambiente



Interpretação



Diagnóstico



Interpretação



Diagnóstico

Problema ambiental – disposição de resíduos



Problema ambiental – disposição de resíduos



Presença dos resíduos e geração de chorume

migração dos contaminantes para o meio ambiente local

Problema ambiental – disposição de resíduos



Presença dos resíduos e geração de chorume

migração dos contaminantes para o meio ambiente local

Alta concentração de materiais (metais pesados, chorume (rico em sais) e substâncias orgânicas)

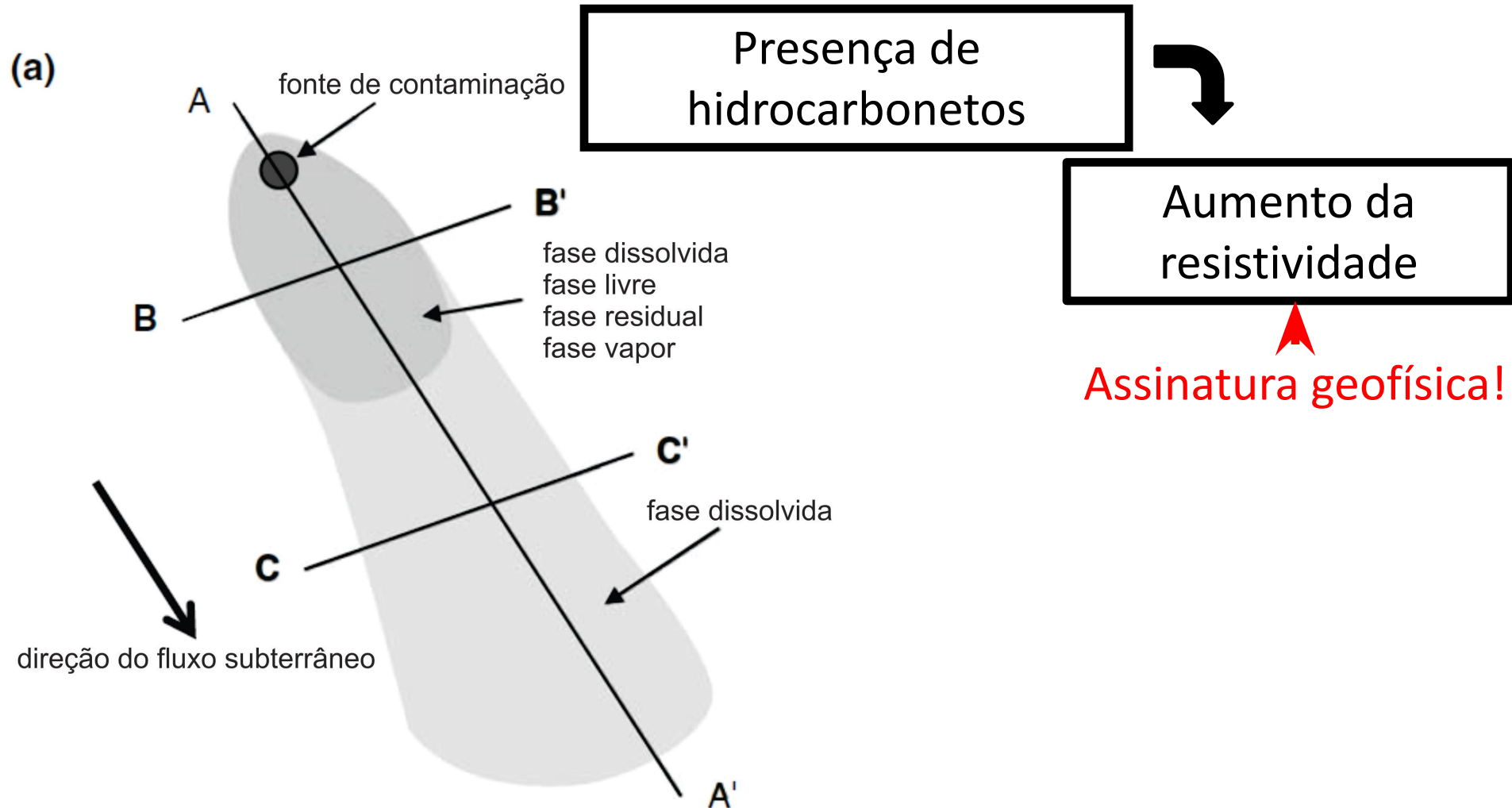
Diminuição da resistividade

Assinatura geofísica!

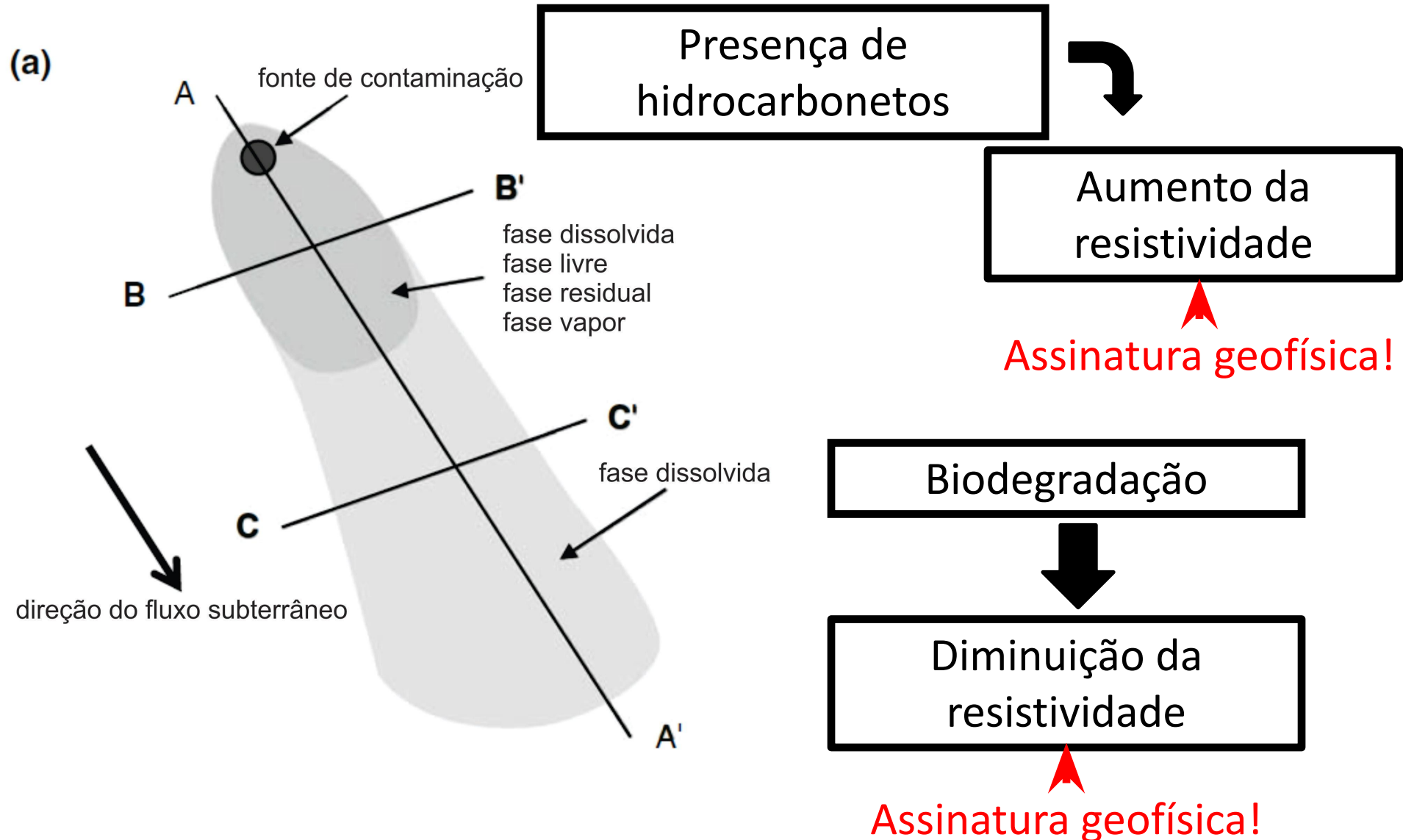
Problema ambiental– derrames de hidrocarbonetos



Problema ambiental– derrames de hidrocarbonetos



Problema ambiental– derrames de hidrocarbonetos



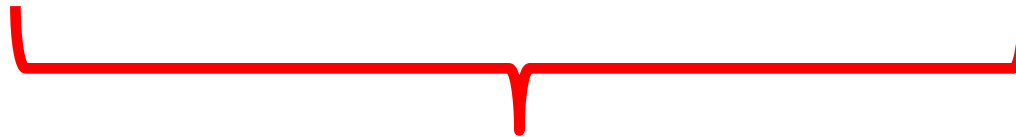
Investigação de áreas contaminadas

Métodos de investigação diretos – requerem amostragem de solo, água e até gás

Métodos de investigação indiretos - não destrutivos

maximização da área estudada

minimização da necessidade de perfurações



otimização das campanhas de investigação

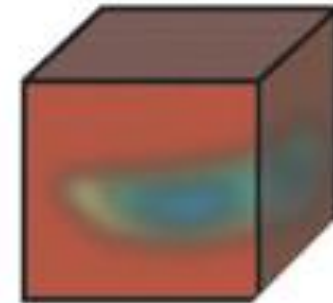
Investigação de áreas contaminadas

Métodos de investigação diretos – dado pontual
(tempo e espaço)

Métodos de investigação indiretos - alta densidade de
dados em tempo real.

107.500 5.000 5.0 1892.200
 112.500 5.000 1.0 7476.100
 112.500 5.000 2.0 4735.800
 112.500 5.000 3.0 3094.200
 112.500 5.000 4.0 2622.700
 117.500 5.000 1.0 8860.700
 117.500 5.000 2.0 5919.500

X	A	Y	R
107.500	5.000	5.0	1892.200
107.500	5.000	1.0	7476.100
107.500	5.000	2.0	4735.800
107.500	5.000	3.0	3094.200
107.500	5.000	4.0	2622.700
107.500	5.000	1.0	8860.700



**Automated data
management**

**Automated
data QA/QC**

**Automated data
processing**



**Field data
automatically
uploaded to server.**

**Modify field
equipment
settings.**

**Data & results
viewed online
anytime.**

**Remotely
modify data
collection and
processing.**

