



PHA 3523 TECNOLOGIAS DE REMEDIACÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

PROFESSORA AMARILIS LUCIA CASTELI FIGUEIREDO GALLARDO

PHA



AULA: SOLO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E CONTAMINAÇÃO

- **CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E COMPORTAMENTO DOS CONTAMINANTES NO SOLO**

AGENDA DA AULA DE HOJE

- **FORMAÇÃO DO SOLO**
- **PROPRIEDADES DO SOLO**
- **COMPORTAMENTO DOS CONTAMINANTES NO SOLO**
- **ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

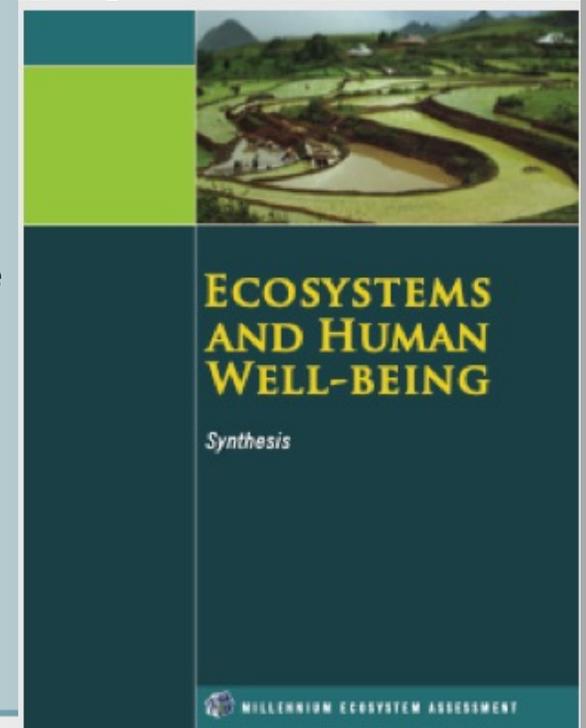
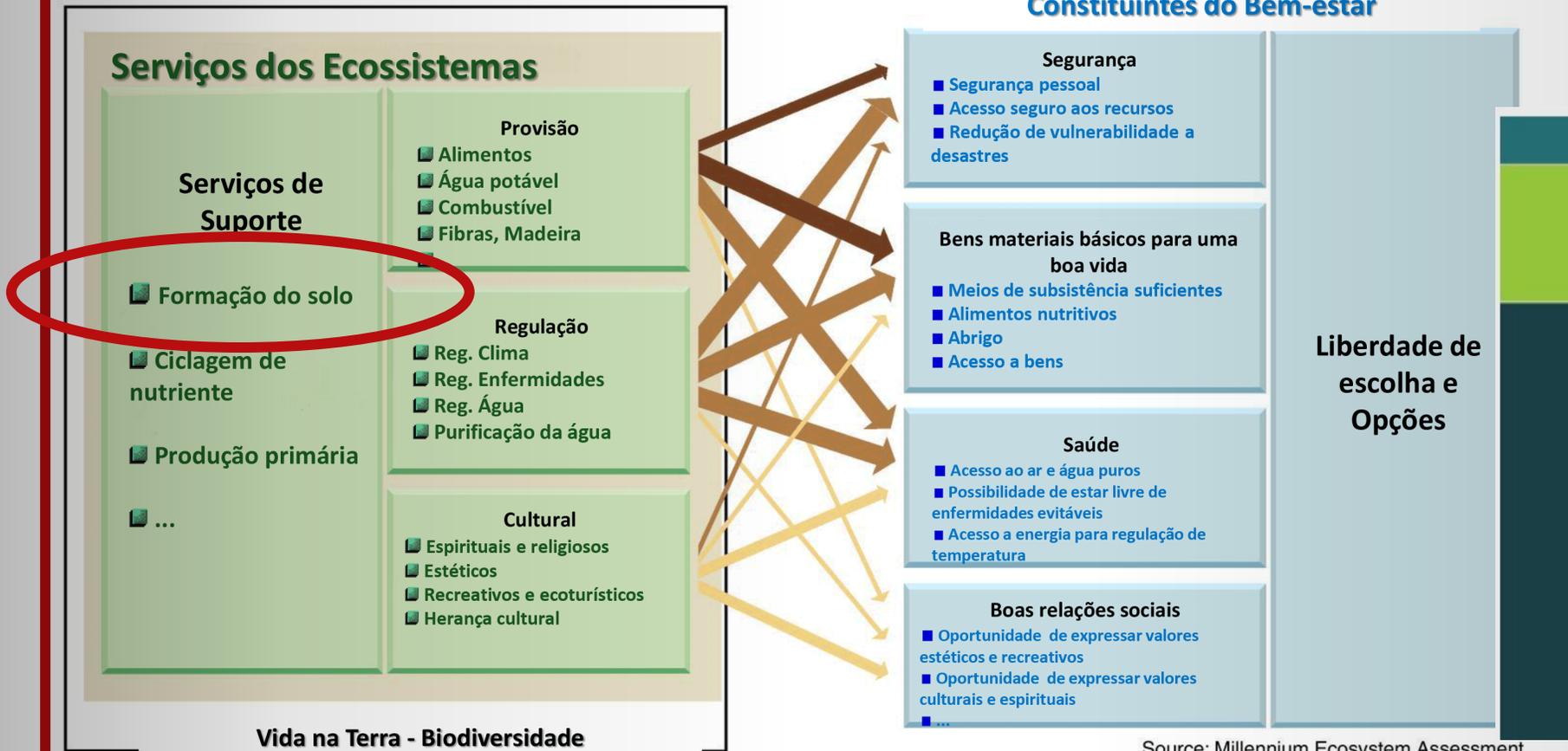
ÁREAS CONTAMINADAS E SOLO: O PROBLEMA

- [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=CI-WPYL2FSY&T=5S](https://www.youtube.com/watch?v=CI-WPYL2FSY&T=5S)
- [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=ZESSMMWEXMO](https://www.youtube.com/watch?v=ZESSMMWEXMO)

SOLO:

- **FORMAÇÃO DO SOLO: É UM SERVIÇO ECOSSISTÊMICO**

Constituintes do Bem-estar



Source: Millennium Ecosystem Assessment

Cor das setas: medida potencial por fatores socioeconômicos

Largura das setas: intensidade das ligações entre serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano

- Baixo
- Médio

- Fraco
- Médio

Serviços de Suporte: Serviços necessários para a produção de todos os outros serviços ecossistêmicos (**São Processos e funções:** Haines-Young and Potschin, 2009)

Serviços de Provisão: Produtos obtidos dos ecossistemas

Funções do solo

Solos fornecem serviços ambientais que possibilitam a vida na Terra



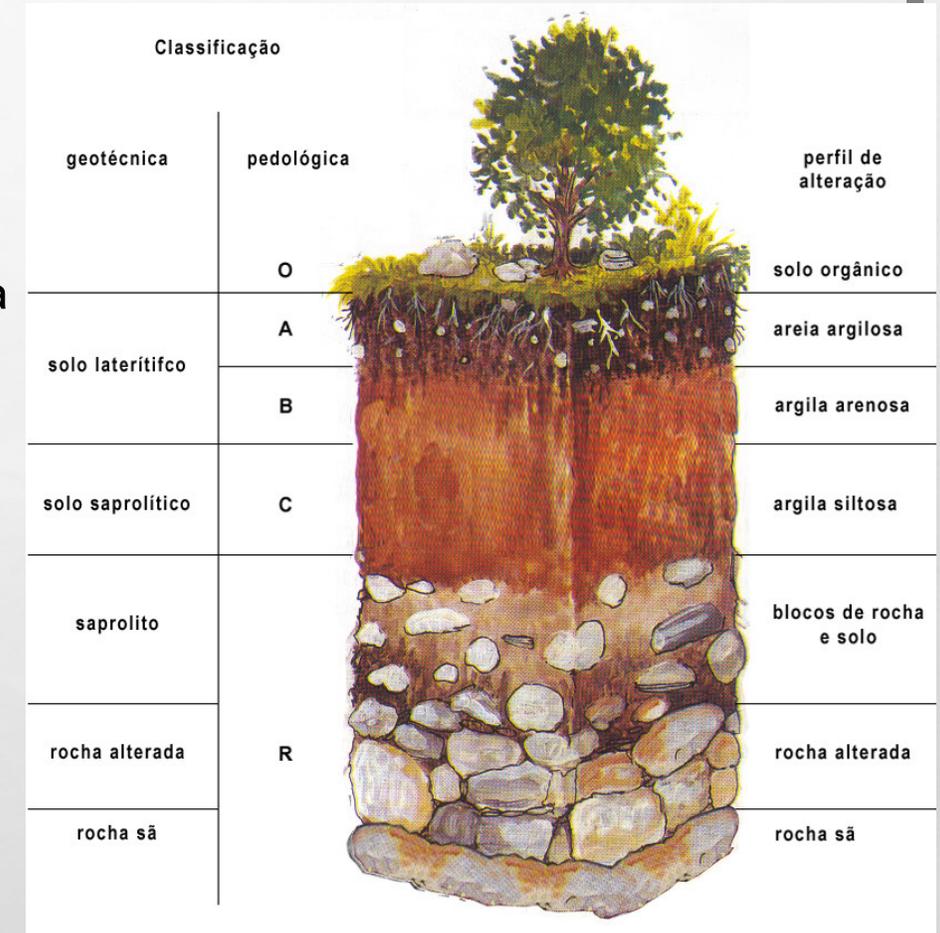
Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

Com o apoio de
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Swiss Confederation

Federal Department of Economic Affairs,
Education and Research EAER
Federal Office for Agriculture FOAG

Solos e meio ambiente: região intertropical

- um dos recursos naturais mais importantes;
- quase totalidade dos países em desenvolvimento (agrícola) e processos de formação do solo também formam importantes recursos minerais;
- solos antigos, frágeis, empobrecidos quimicamente e em contínua evolução; equilíbrio precário;
- desmatamento, cultivo de terras, uso de produtos agrotóxicos e exploração mineral
- erosão, contaminação e poluição, degradação
- recurso finito: leva milhares de anos para ser terra produtiva; degradado desaparece na escala de tempo de algumas gerações;
- perdas de 5 a 7 milhões de ha de terras cultiváveis por ano



Perfil do solo hipotético

CONCEITO DE SOLO

Apresenta diferentes significados para cada profissional atuante:

Agrônomo



Engenheiro Civil



Engenheiro de Minas

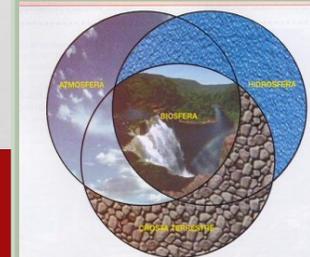


Economista



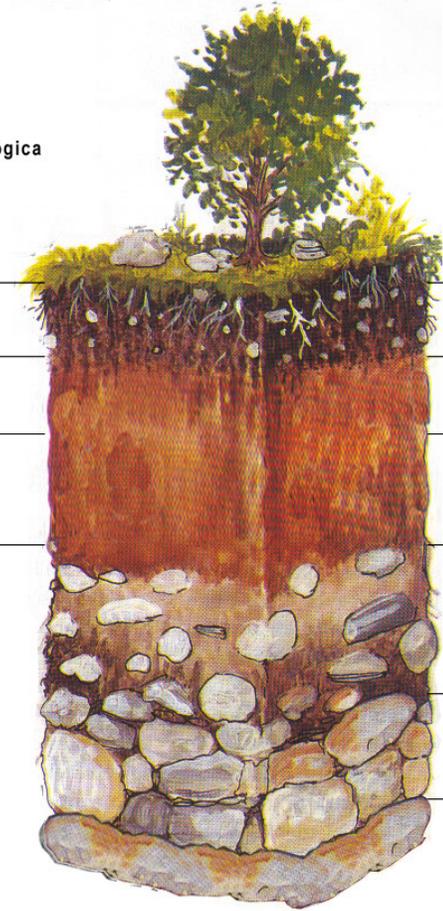
Fator de produção

Ecologista



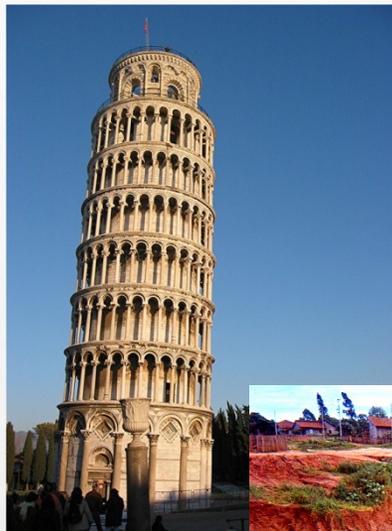
Classificação

geotécnica	pedológica	perfil de alteração
	O	solo orgânico
solo laterítico	A	areia argilosa
	B	argila arenosa
solo saprolítico	C	argila siltosa
saprolito	R	blocos de rocha e solo
rocha alterada		rocha alterada
rocha sã		rocha sã



CONCEITO DE SOLO

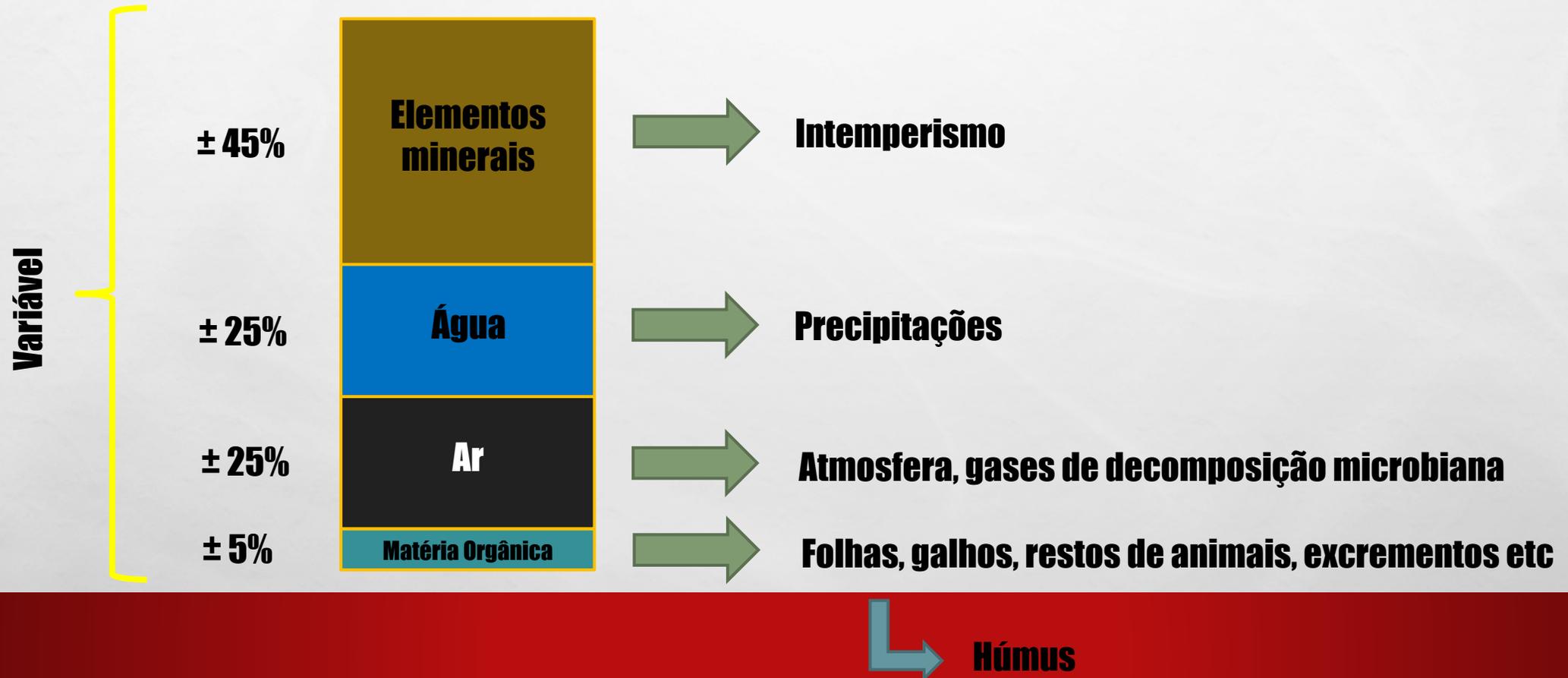
Independente da abordagem, o mau uso do solo implica em problemas de grandes magnitudes!



SOLO:

- **FORMAÇÃO E COMPOSIÇÃO DO SOLO: INTEMPERISMO E FATORES INTERVENIENTES**

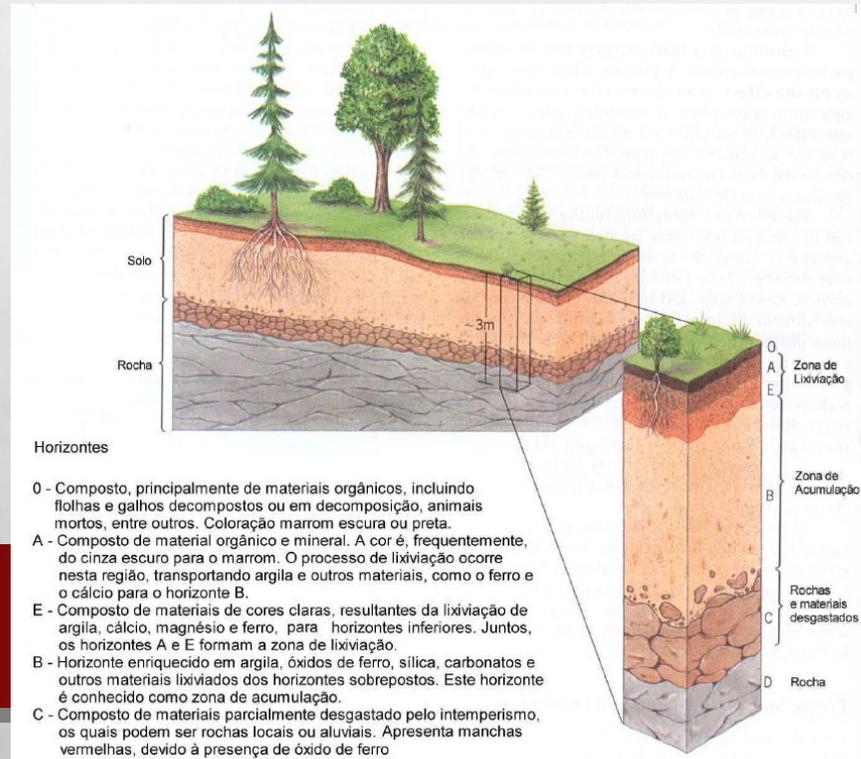
COMPOSIÇÃO DO SOLO



Constituição dos solos

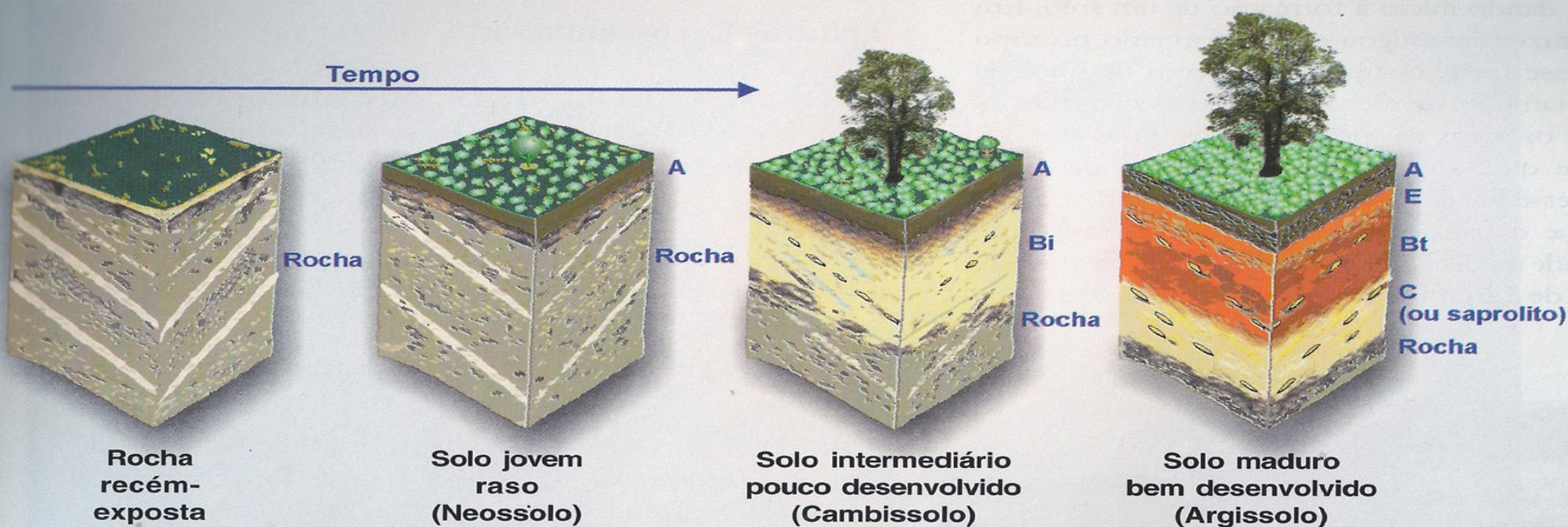
Os componentes inorgânicos compreendem:

- óxidos e óxidos-hidróxidos de ferro, alumínio e sílica, minerais primários e secundários, carbonatos, sulfatos, fosfatos e sulfetos
- Distribuição percentual média: 43% de materiais inorgânicos, 5% de matéria orgânica e 50% de vazios.



Elemento	Símbolo	Abundância (% em peso)	Elemento	Símbolo	Abundância (% em peso)
Alumínio	Al	8,00	Cobre	Cu	0,0058
Ferro	Fe	5,80	Cobalto	Co	0,0028
Magnésio	Mg	2,77	Chumbo	Pb	0,00010
Potássio	K	1,68	Boro	B	0,00070
Titânio	Ti	0,86	Berílio	Be	0,00020
Hidrogênio	H	0,14	Arsênio	As	0,00020
Fósforo	P	0,101	Estanho	Sn	0,00015
Manganês	Mn	0,100	Molibdênio	Mo	0,00012
Flúor	F	0,0460	Urânio	U	0,00016
Enxofre	S	0,0300	Tungstênio	W	0,00010
Cloro	Cl	0,0190	Prata	Ag	0,000008
Vanádio	V	0,0170	Mercúrio	Hg	0,000002
Cromo	Cr	0,0096	Platina	Pt	0,0000005
Zinco	Zn	0,0082	Ouro	Au	0,0000002
Níquel	Ni	0,0072			

Solo: recurso finito!



Depois que a rocha é exposta na superfície (tempo zero), o solo começa a se desenvolver e, se não houver erosão, atinge em determinado tempo o estágio de maturidade.

Fonte: Lepsch, 2002

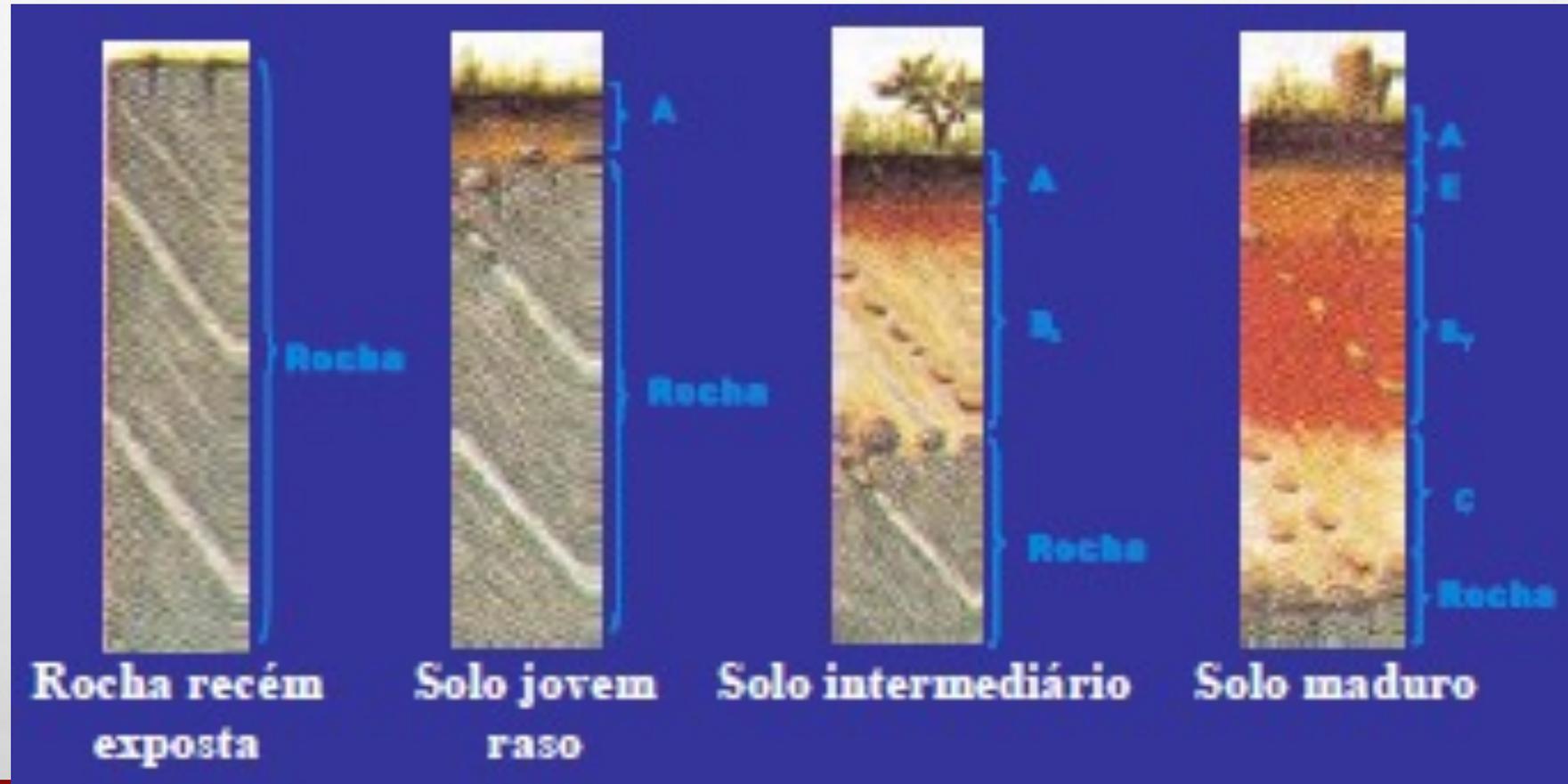
Ordem de grandeza representativa: 20 a 50 m/milhão de anos

Climas muito frios (Escandinávia): alguns milímetros em 10.000 anos

Climas tropical (Índia): 1,8 m de solo em cinzas vulcânicas de 4.000 anos

INTEMPERISMO

- ❖ Conjunto de modificações de ordem física e química que as rochas sofrem quando afloram na superfície terrestre.



FORMAÇÃO

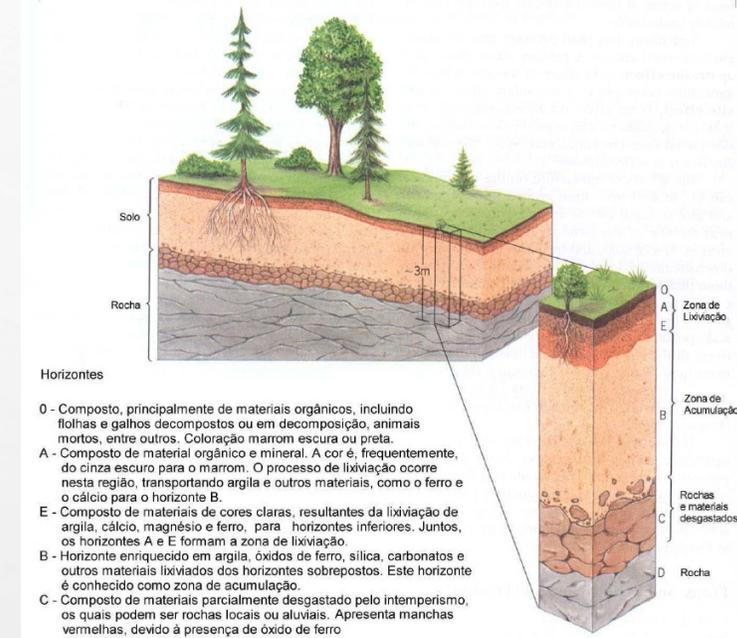
- **RESULTADO DA AÇÃO DE CINCO FATORES:**

- **CLIMA**
- **NATUREZA DOS ORGANISMOS**
- **MATERIAL DE ORIGEM**
- **RELEVO/TOPOGRAFIA**
- **IDADE/TEMPO**

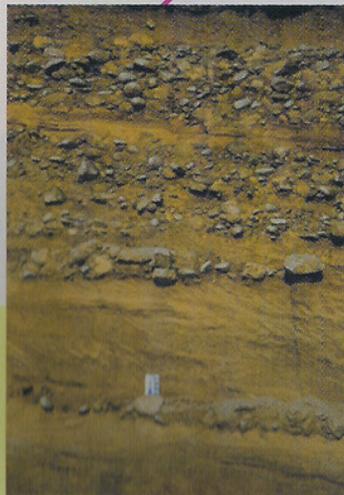
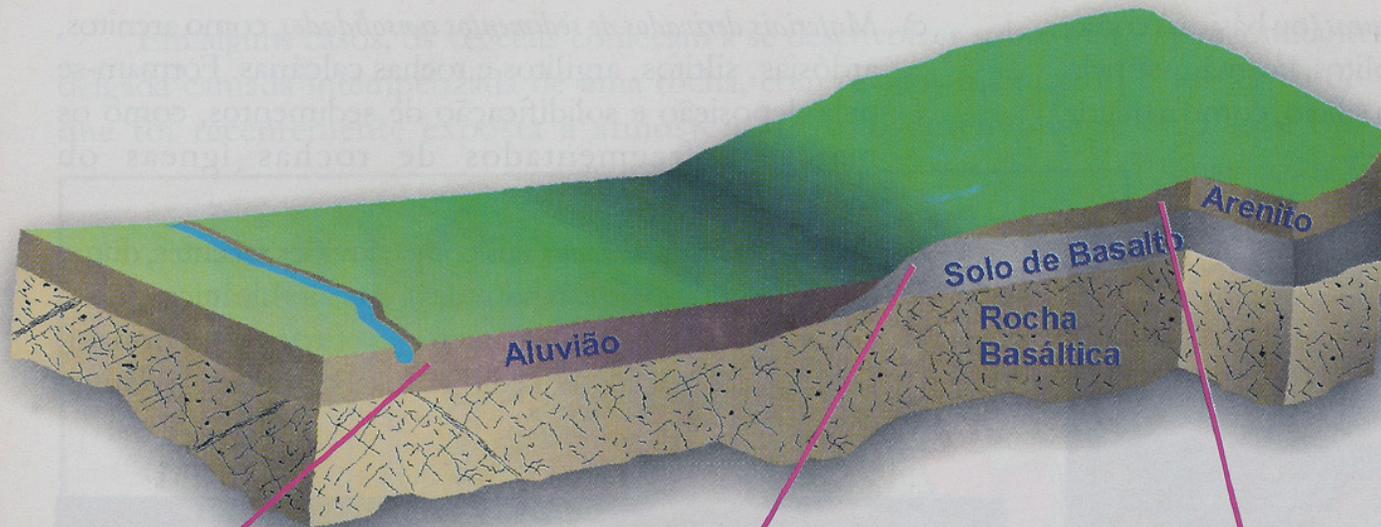
**Estágios de
sucessão**



**Horizontes do
solo**



Rocha matriz ou material parental



Neosolo Flúvico
(Solo Aluvial)

Textura variável com camada de deposição



Latossolo Vermelho
(Férrico)

Textura argilosa

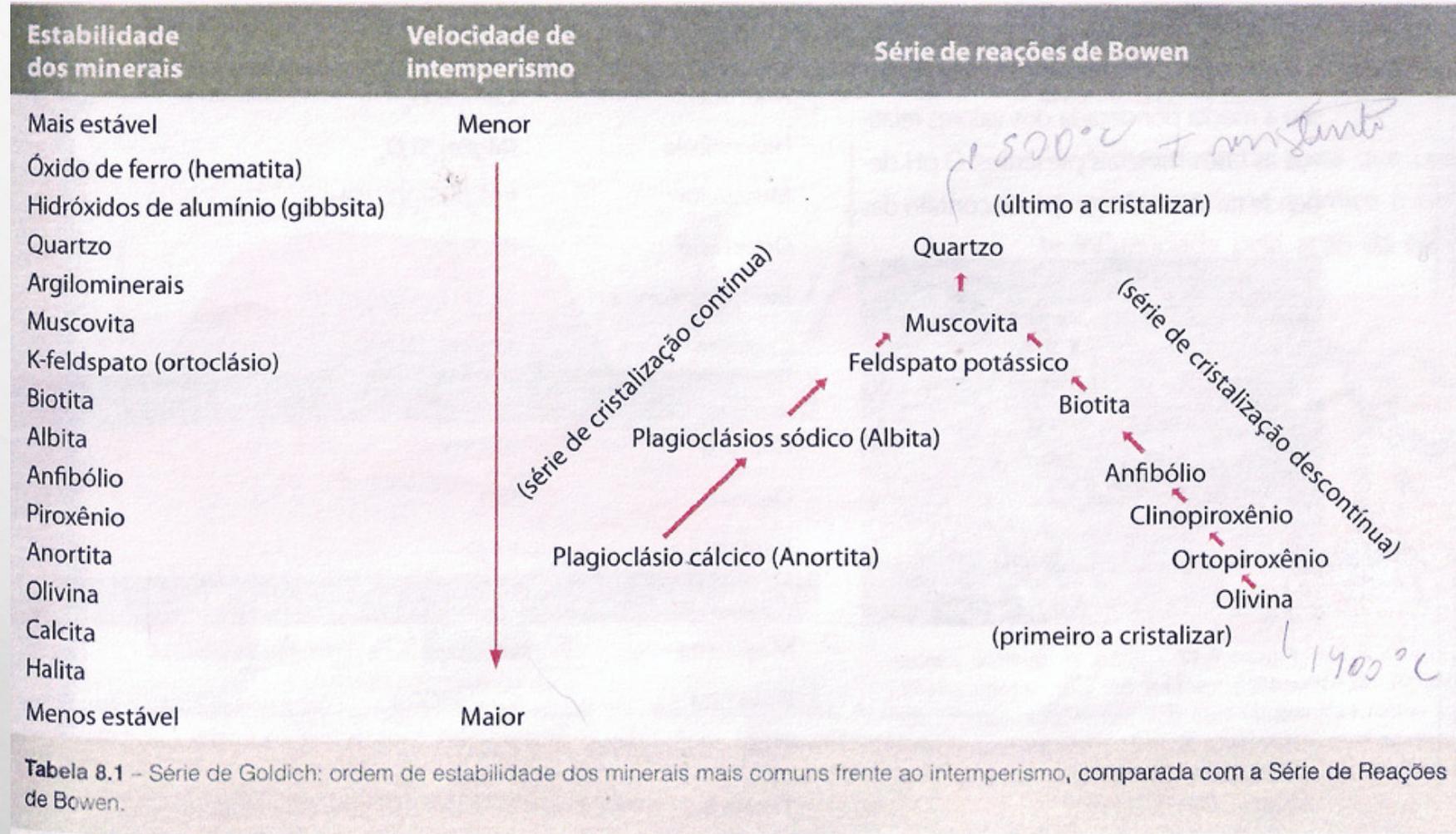


Latossolo Vermelho-Amarelo

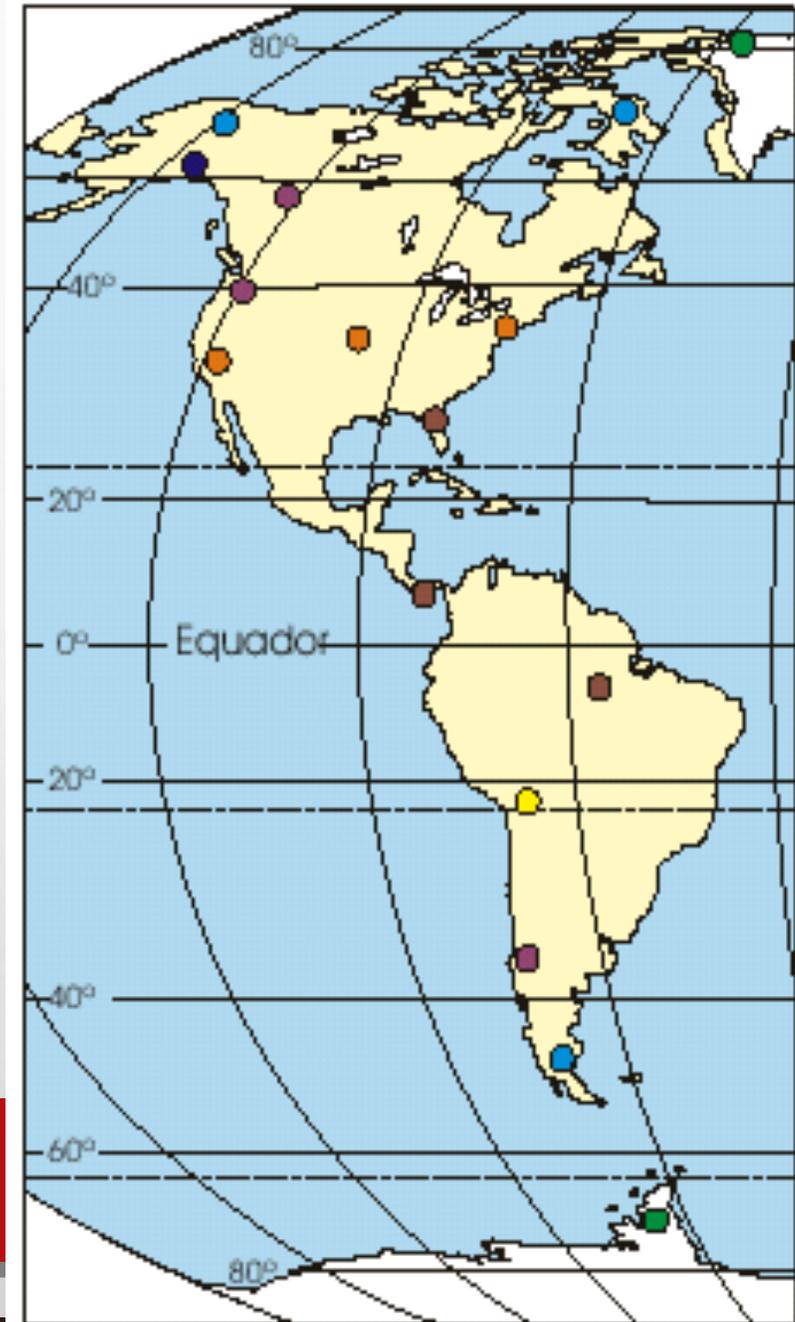
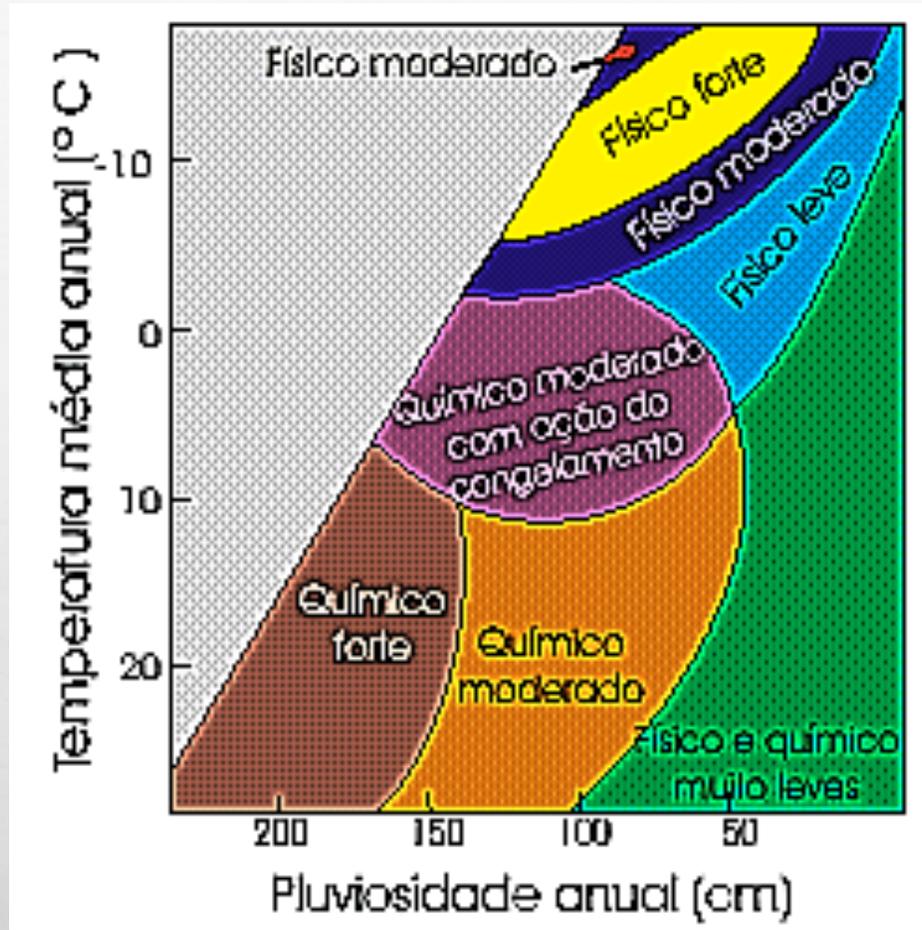
Textura média

Como os solos podem variar de cor e textura, de acordo com o tipo de material de origem.

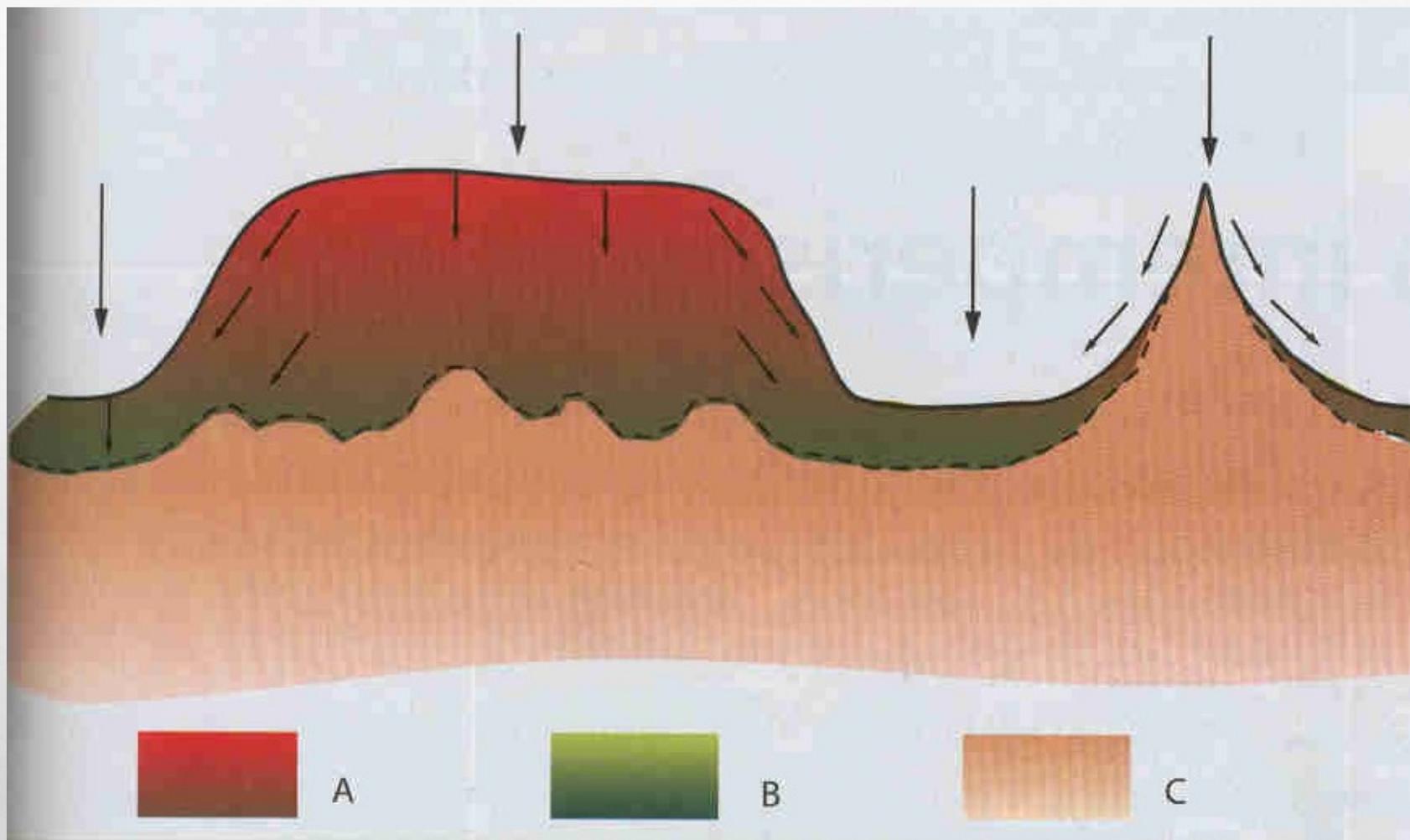
minerais constituintes: material parental



Clima



Topografia

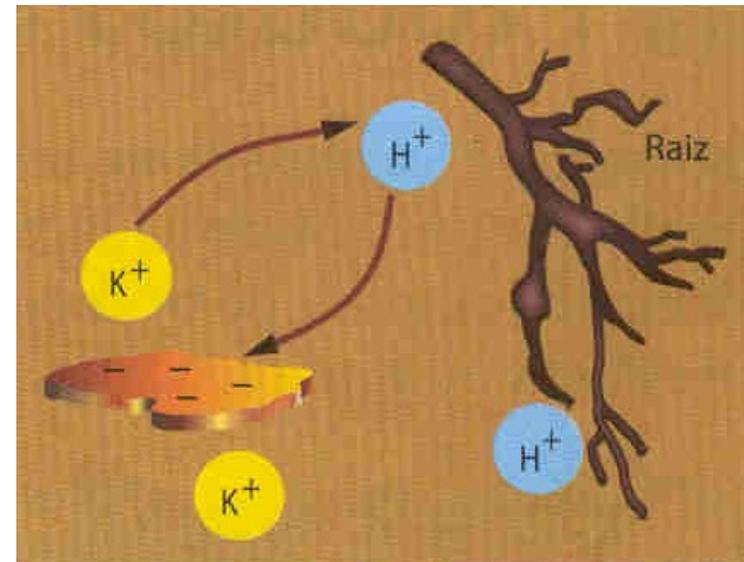
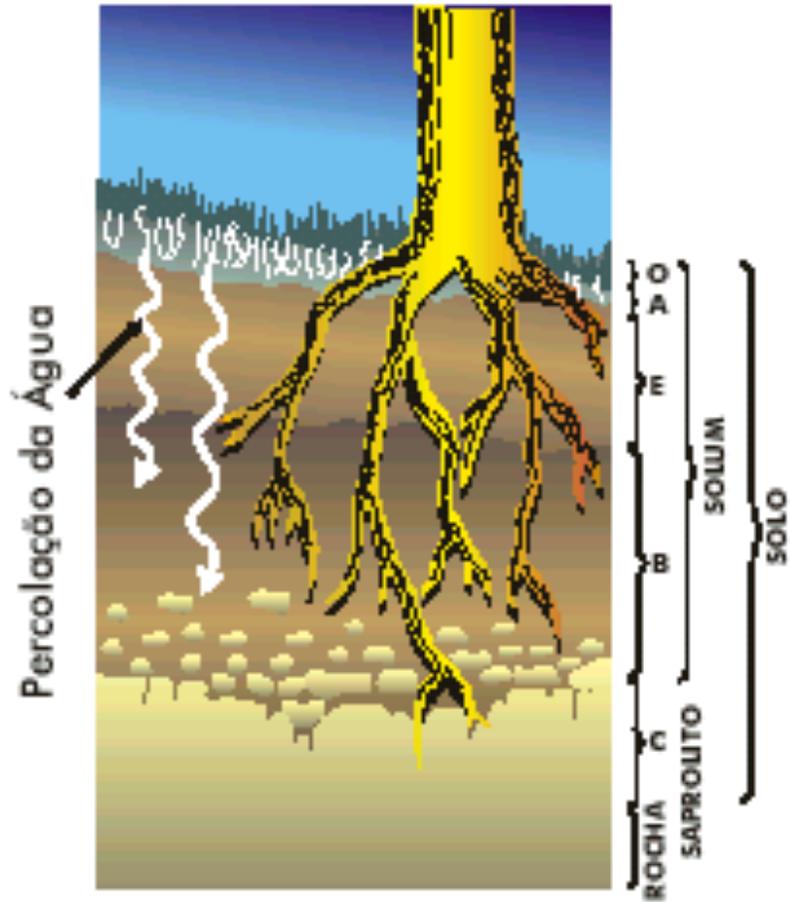


- A – boa infiltração e drenagem;
- B – boa infiltração e má drenagem ;
- C – má infiltração e má drenagem;

Topografia



Biosfera



Mecanismos de formação do solo

Fase I - atuação do **intemperismo** no material original

Fase II - diferenciação em **horizontes**

Mecanismos de formação

Adição - incorporação de matéria orgânica, água

Perdas - lixiviação, erosão

Transformações - formação de húmus e minerais secundários

Translocações - movimentação de material de um horizonte para outro

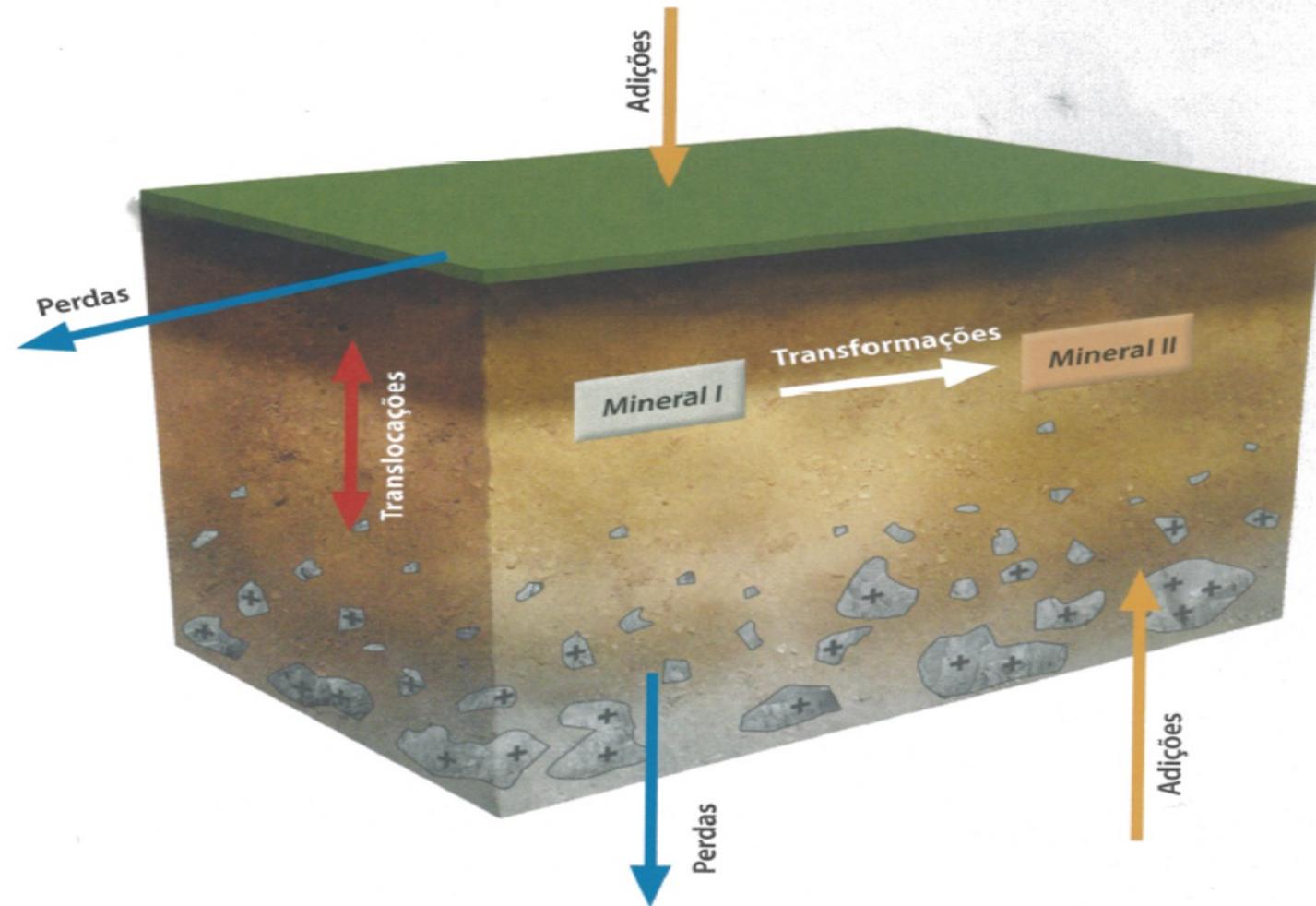
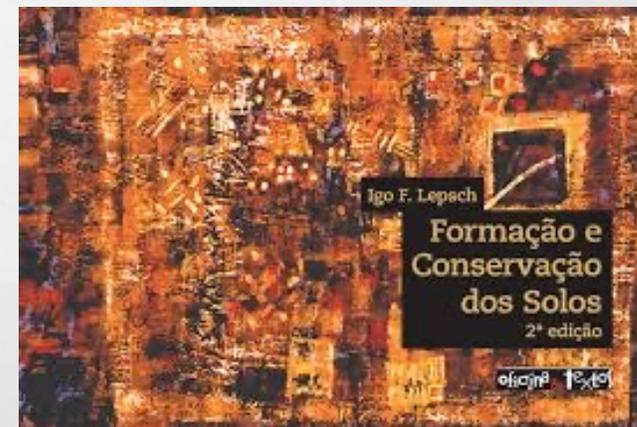
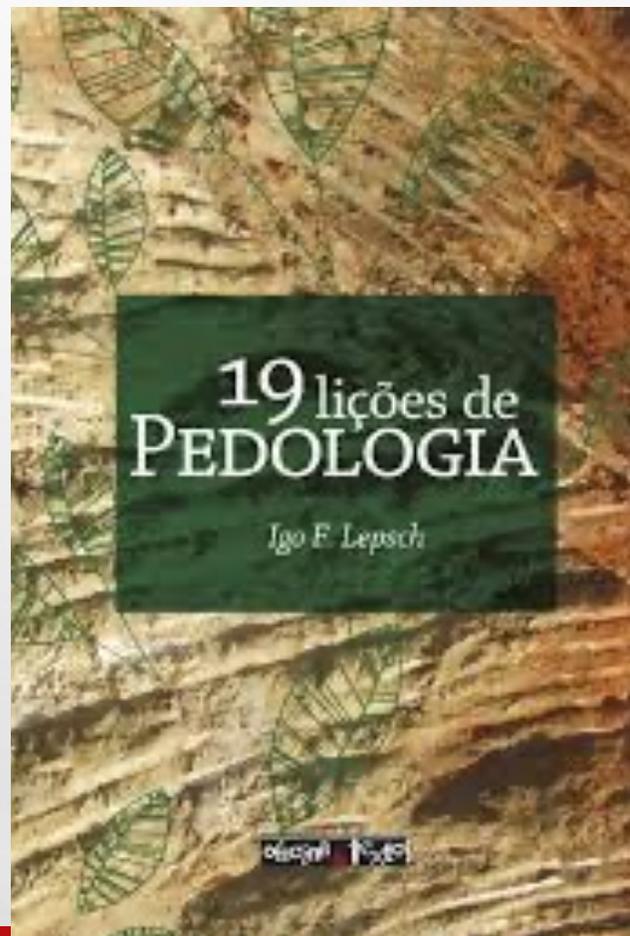


Figura 8.26 – Principais mecanismos envolvidos na formação de um solo.

COMO OS SOLOS SÃO FORMADOS?

- [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=UQ1VZOSN2BM](https://www.youtube.com/watch?v=UQ1VZOSN2BM)

BOAS REFERÊNCIAS SOBRE SOLO:



Reações do intemperismo químico

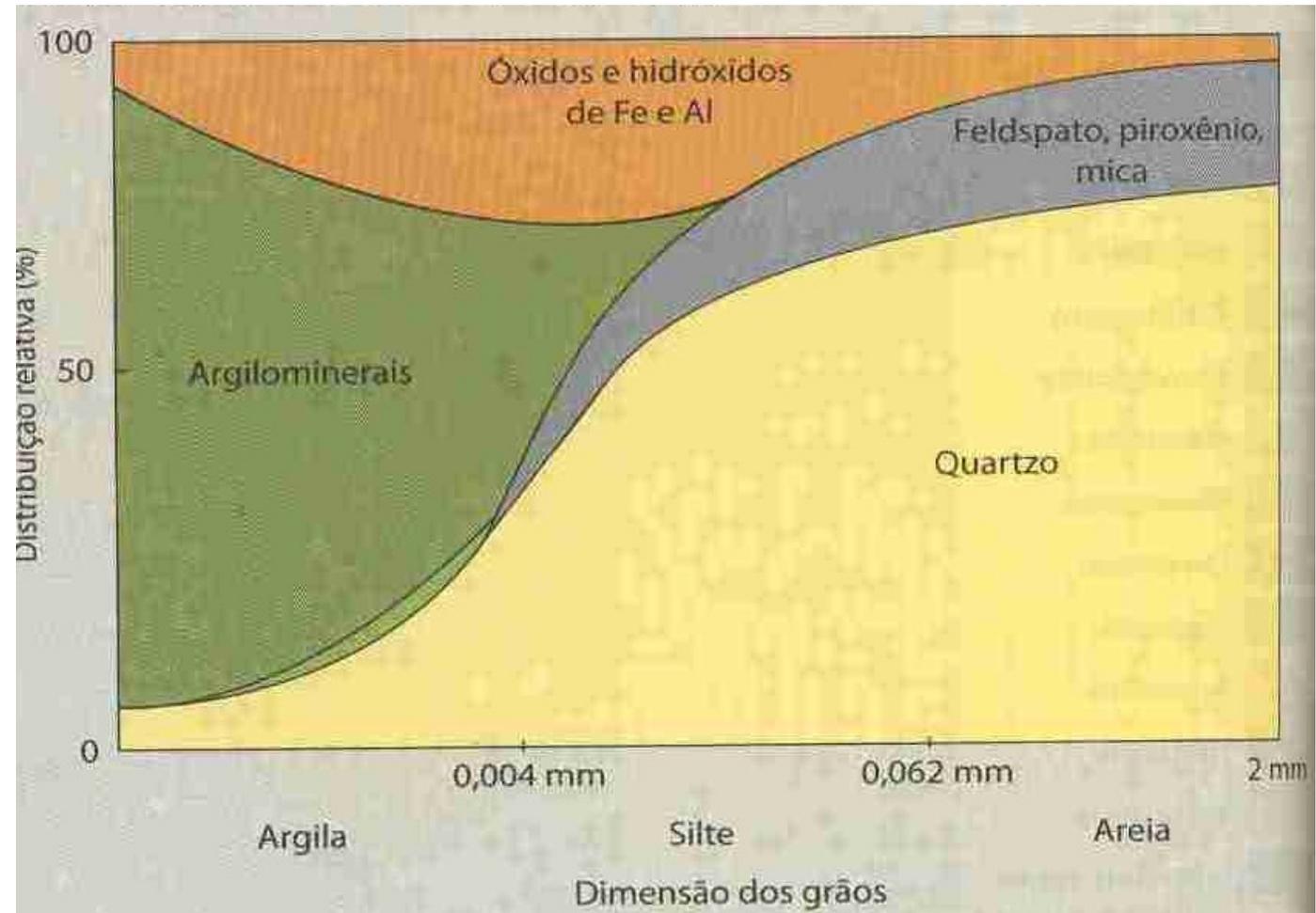
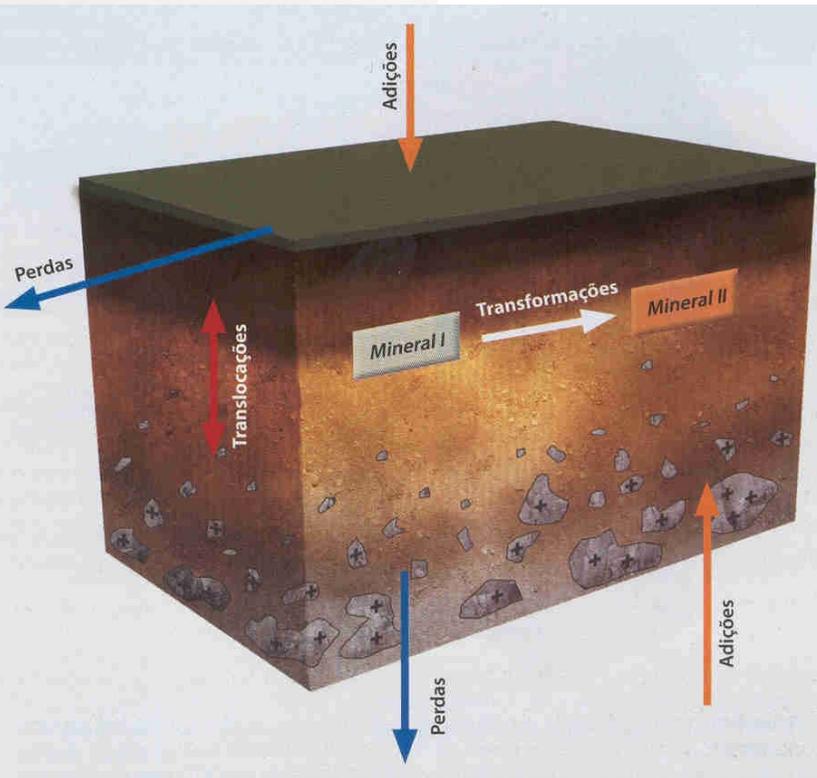
mineral I + solução de alteração = mineral II + solução de lixiviação

Solução de alteração = águas pluviais (+ contaminante)

Alterações geoquímicas ocorridas na pedogênese são fundamentais na mobilidade de futuros contaminantes que poderão permear no solo!!!



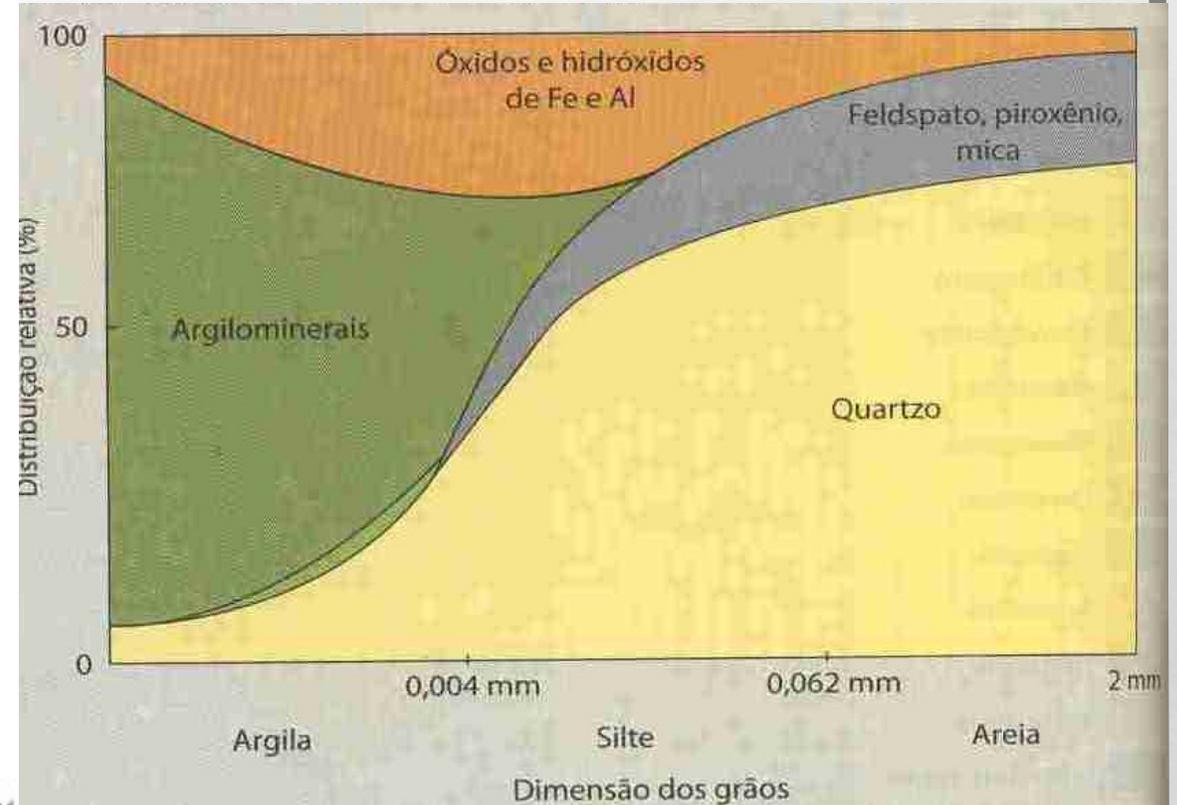
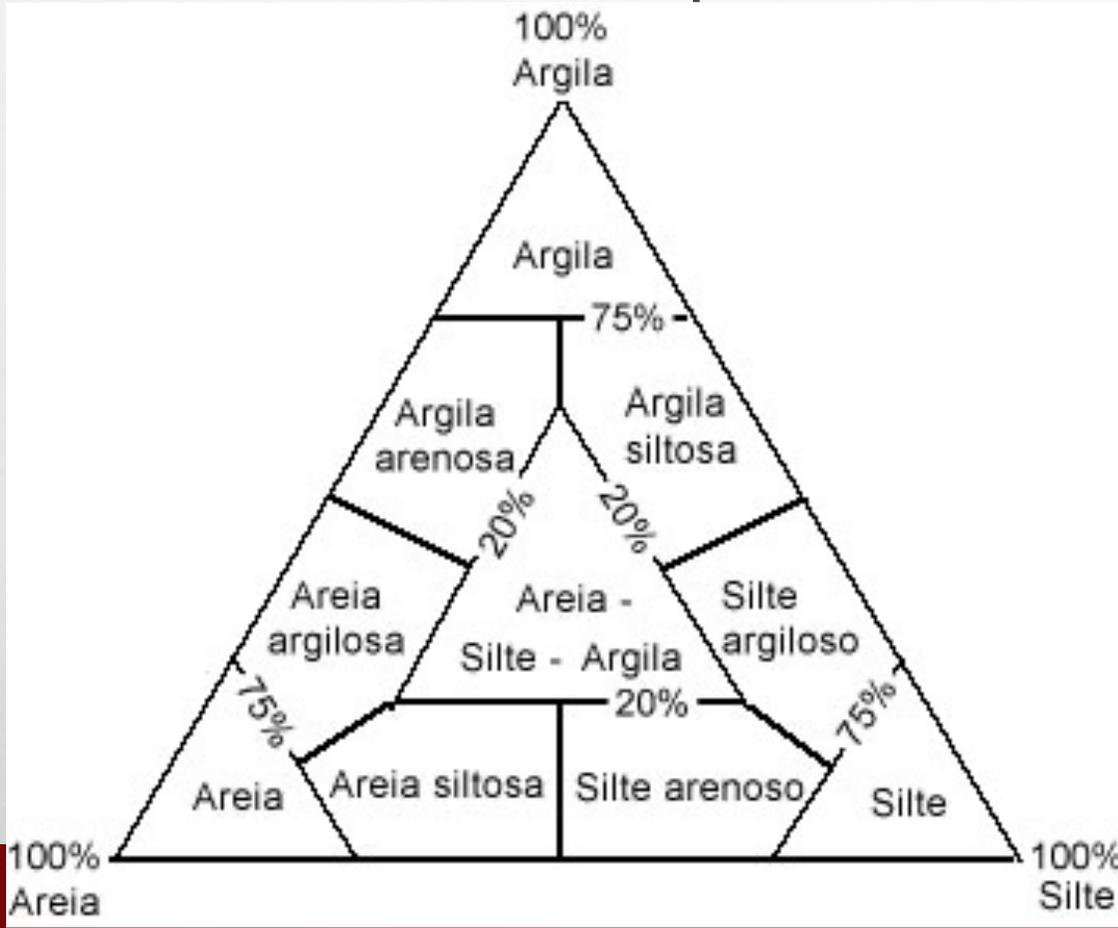
Produtos



Fonte: Teixeira et al. 2009

Caracterização e Classificação de solos

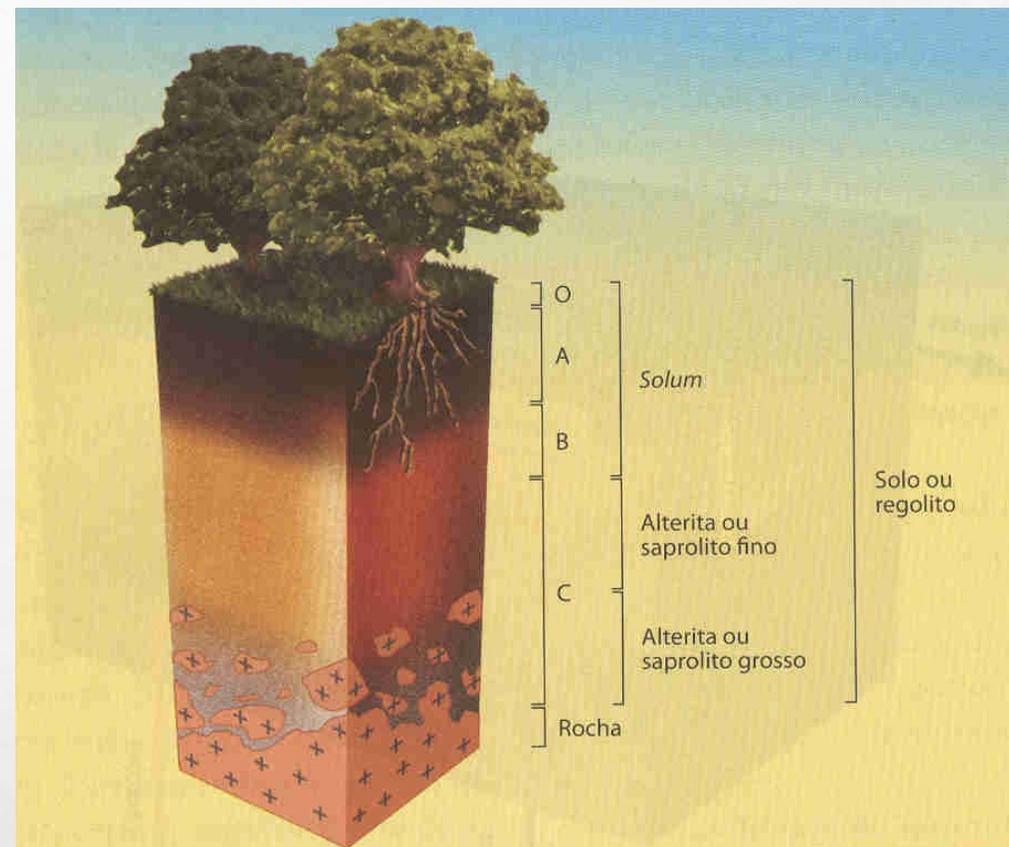
Classificação granulométrica – determinação do tamanho das partículas



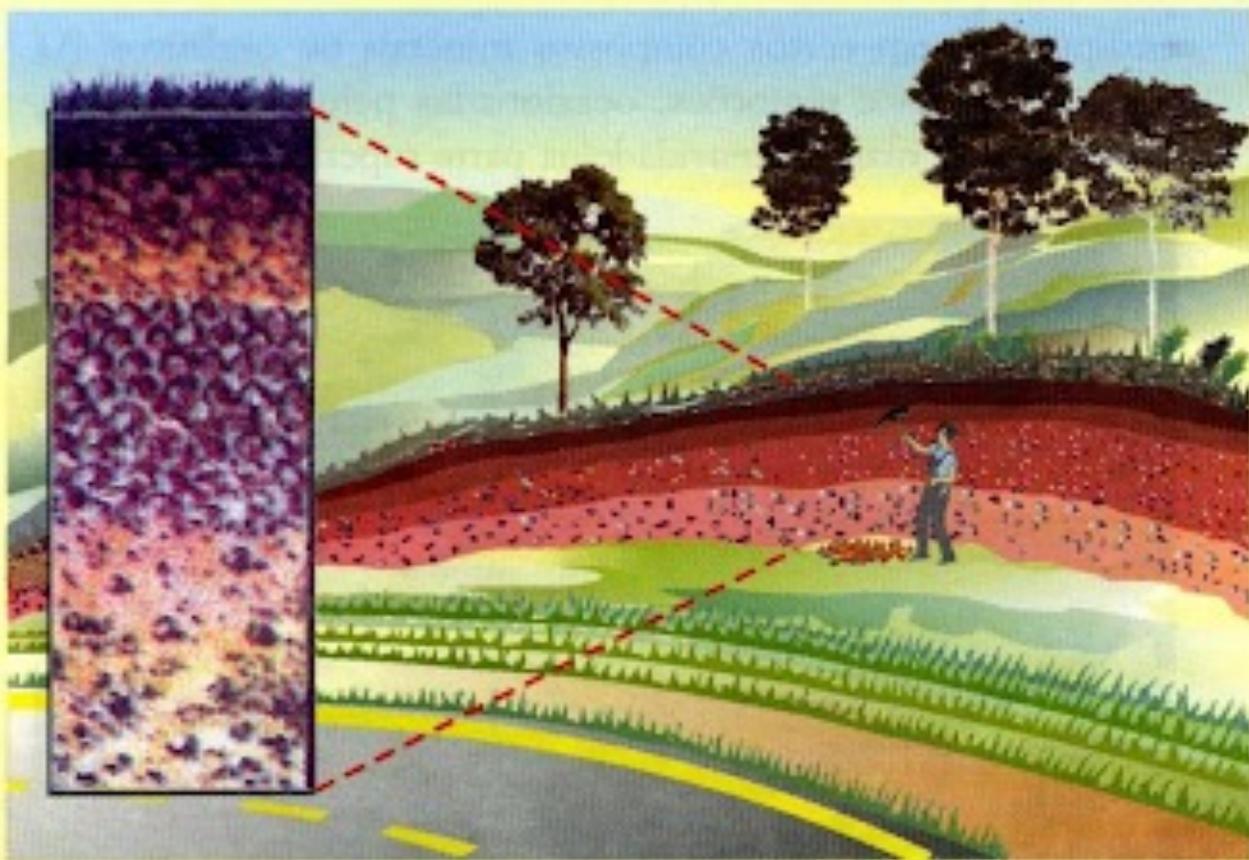
SOLO:

- **SOLO: CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA – AGRONOMIA**
- **SOLO: CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA - ENGENHARIA**

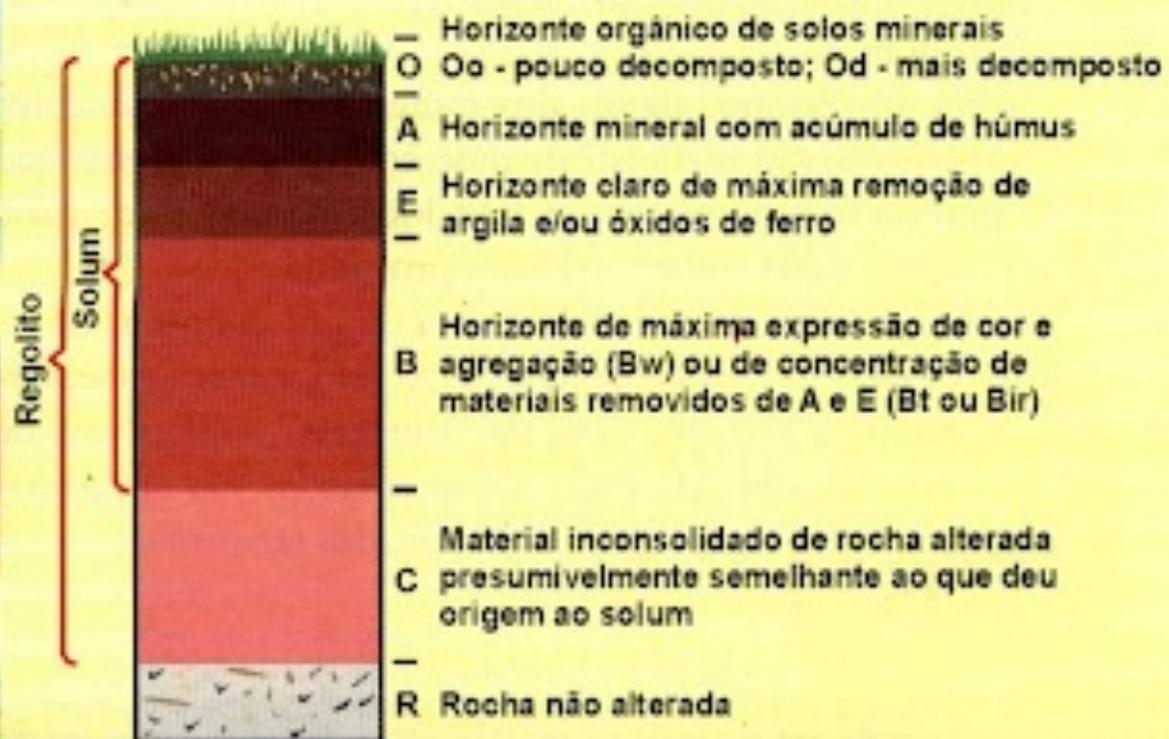
SOLO:



- **SOLO: CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA – AGRONOMIA**



Taludes de estradas expondo o perfil do solo constituem locais úteis para o seu estudo.



Esquema de um perfil de solo mostrando os principais horizontes e sub-horizontes.

Classificação de solos

A classificação de um solo é obtida a partir da avaliação dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do perfil que o representam. Aspectos ambientais do local do perfil, tais como clima, vegetação, relevo, material originário, condições hídricas, características externas ao solo e relações solo-paisagem, são também utilizadas.

A classificação de um solo se inicia com a descrição morfológica do perfil e coleta de material de campo, que devem ser conduzidas conforme critérios estabelecidos em manuais (IBGE, 2005; LEMOS; SANTOS, 1996; SANTOS et al., 2005), observando-se o máximo de zelo, paciência e critério na descrição do perfil e da paisagem que ele ocupa no ecossistema.

A chave de classificação é organizada em 6 níveis categóricos. Os quatro primeiros níveis são denominados de ordens, subordens, grandes grupos e subgrupos, sendo que o 5º e 6º nível categórico ainda se encontram em discussão. Atualmente um solo pode ser corretamente classificado utilizando-se a chave de classificação, até o 4º nível categórico do sistema



Publicações

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Tweetar

Compartilhar 1 mil



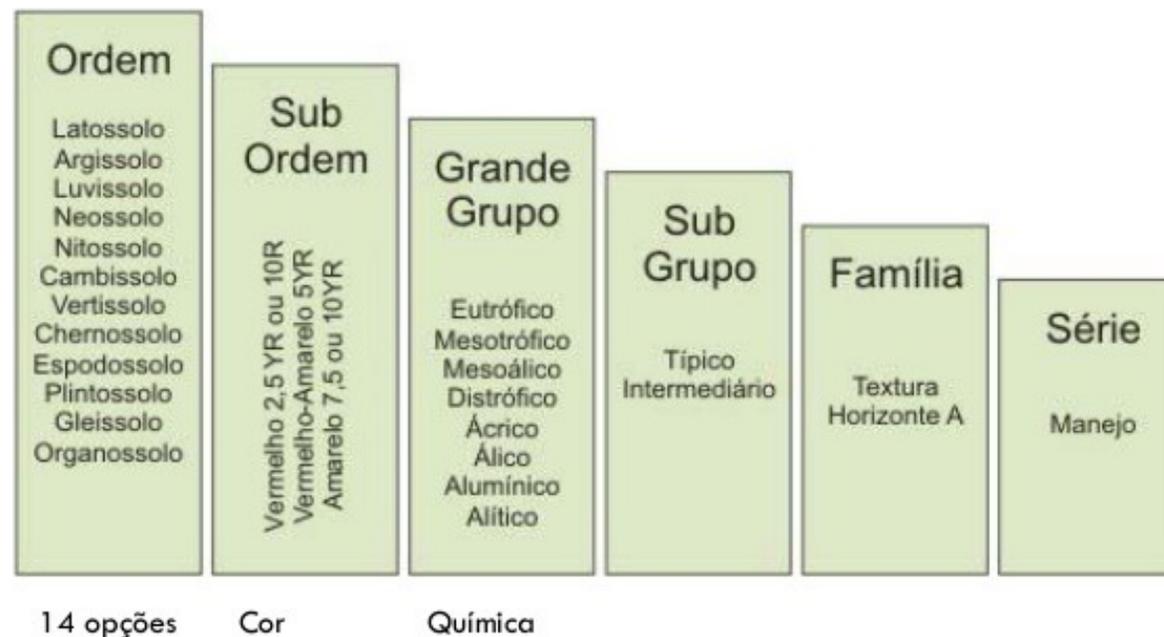
Autoria: SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. H. OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de;

Resumo: Definição de solo. Capítulo 1: Atributos e atributos diagnósticos subsuperficiais. Capítulo 2: Horizontes diagnósticos e diagnósticos subsuperficiais. Capítulo 3: Níveis de nomenclatura das classes, bases e critérios, com o 1º nível categórico (ordens). Capítulo 4: O 1º nível categórico. Capítulo 5: Argissolos. Capítulo 6: Chernossolos. Capítulo 7: Espodossolos. Capítulo 8: Latossolos. Capítulo 9: Luvisolos. Capítulo 10: Nitossolos. Capítulo 11: Organossolos. Capítulo 12: Plintossolos. Capítulo 13: Vertissolos. Capítulo 14: para 5º e 6º níveis categóricos (famílias e série) e distinção de fases de unidades de mapeamento.

Ano de publicação: 2018

Tipo de publicação: Livros

Classificação Brasileira de Solos



Publicações

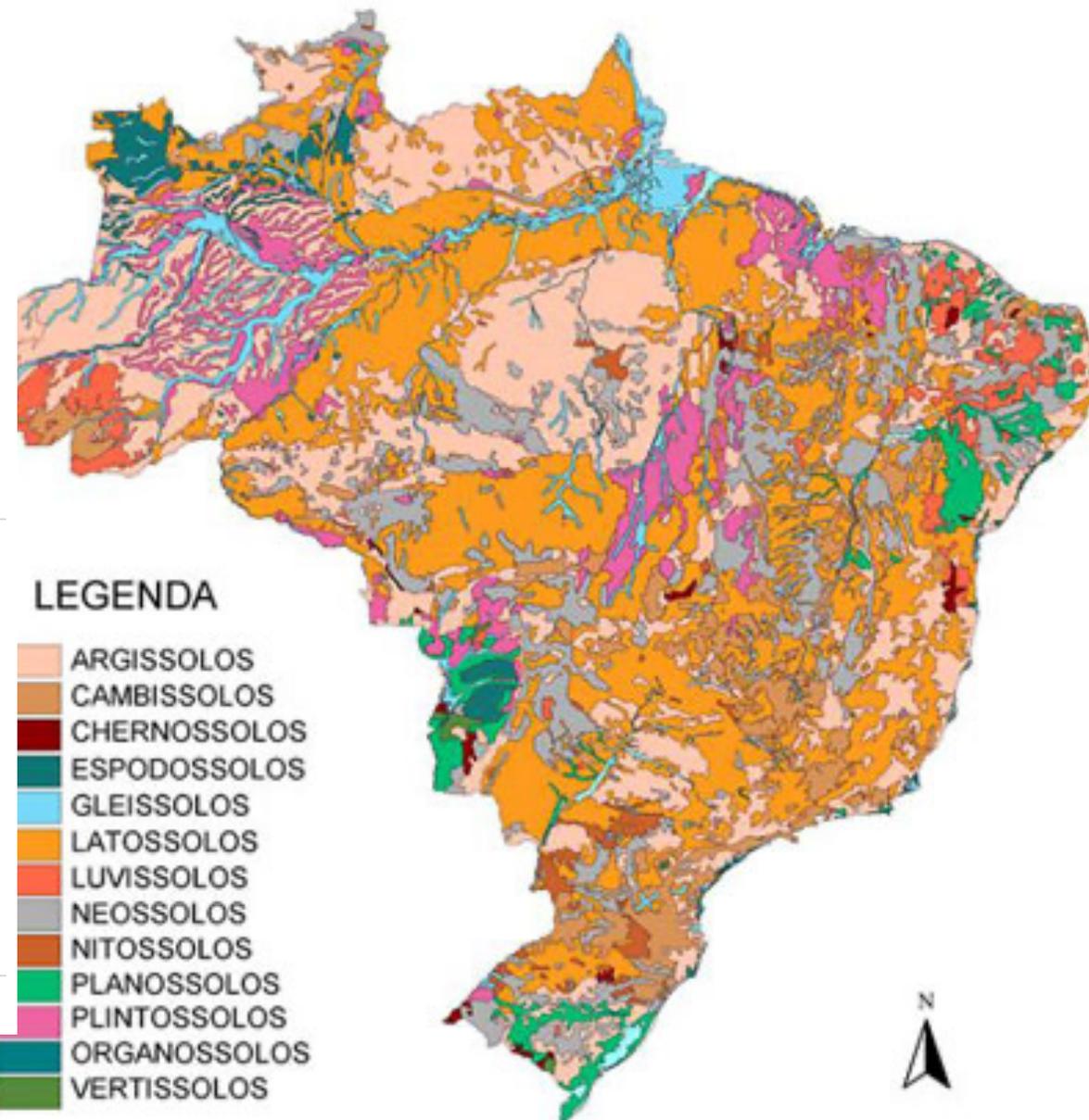
O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada.



Autoria: SANTOS, H. G. dos; CARVALHO JUNIOR, W. de; DART, R. de O.; AGLIO, M. L. D.; SOUSA, J. S. de; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. da S.; OLIVEIRA, A. P. de

Resumo: O novo mapa de solos do Brasil na escala 1:5.000.000, atualizado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2006), possibilita a identificação e visualização das diferentes classes gerais de solos. O novo mapa se faz necessário para manter atualizada a informação de solos do país a partir dos mapas de solos do Brasil produzidos em 1981 pela Embrapa e o de 2001 pelo IBGE/EMBRAPA, acompanhando o avanço dos estudos de solos e o progresso contínuo do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. As principais mudanças no mapa são de natureza taxonômica, não havendo qualquer alteração quanto à generalização cartográfica observada nos mapas anteriores. Da mesma forma que os mapas anteriores, exibe uma visão panorâmica da grande diversidade de solos do país, fornecendo informações para fins de ensino, pesquisa e extensão, planejamento territorial, compreensão da paisagem nacional para fins de zoneamentos e planejamentos regionais e estaduais em escalas generalizadas.

Ano de publicação: 2011



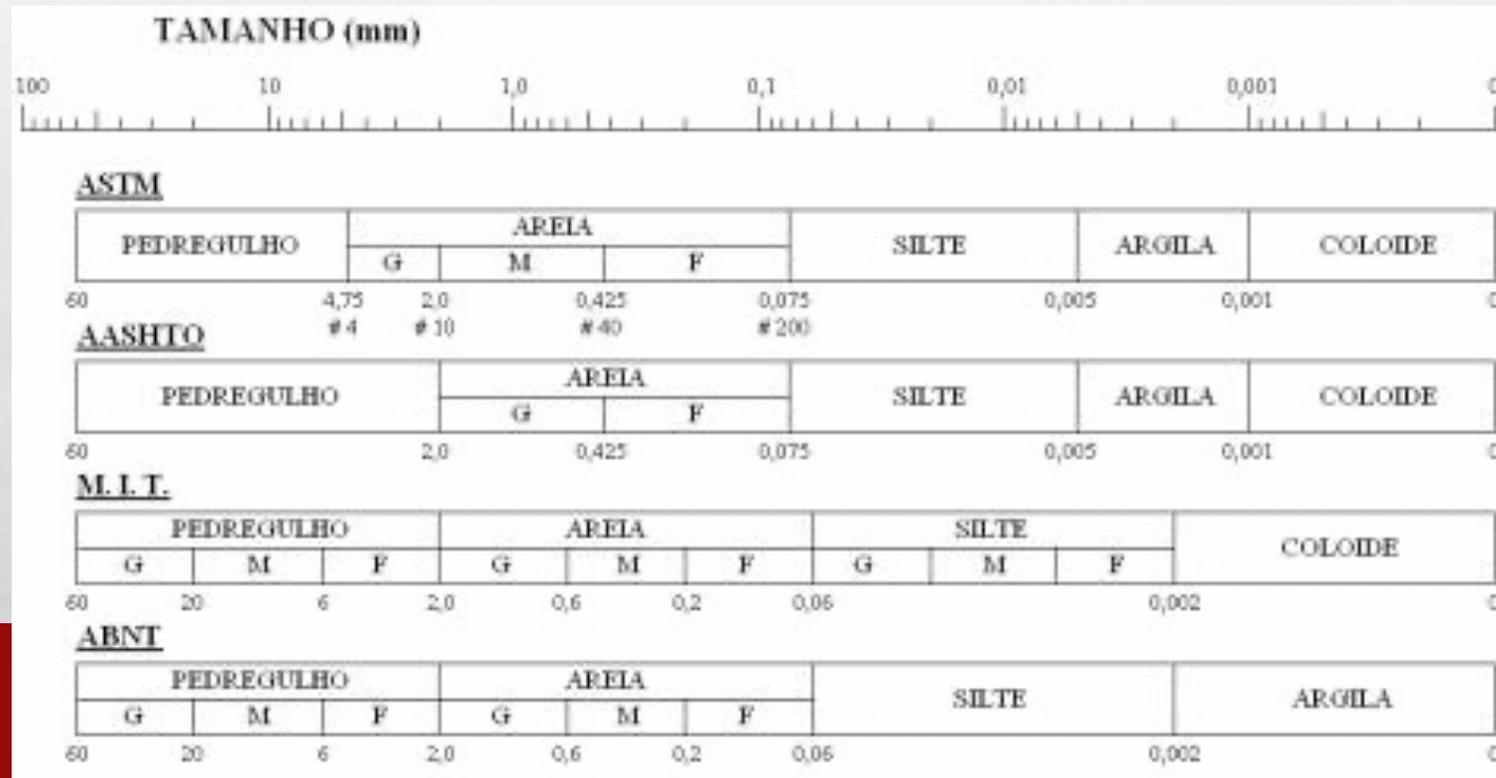
SOLO:

- **SOLO: CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA - ENGENHARIA**

Propriedades dos solos

São parâmetros físicos do solo que influenciam a sua resistência mecânica.

1) Tamanho das partículas



Tamanho das partículas

- Ensaio de peneiramento – granulação até silte
- Ensaio de sedimentação ou pipetagem – granulação argila
- Ensaio de granulometria a Laser



NBR 7181 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Execução do ensaio: **PENEIRAMENTO GROSSO**

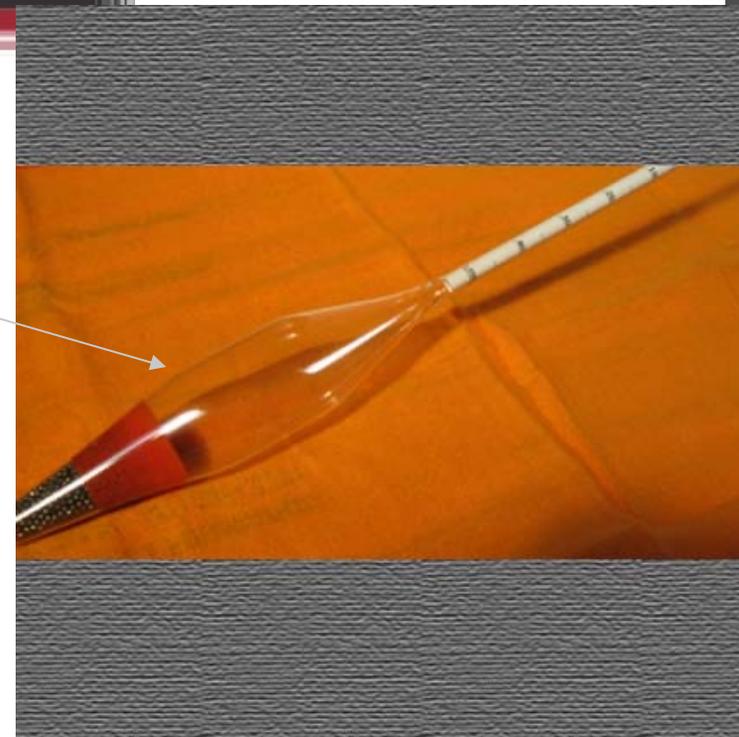
Peso da amostra seca: 1490,8g

100 – Pss
% - (Pss – Acumulado)

Peneira	Abertura (mm)	Solo retido (g)	Solo retido acumulado (g)	% material passa
2"	50	15,0	15,0	99,0
1 ½"	38	50,0	65,0	95,6
1"	25	300,0	365,0	75,5
¾"	19	555,0	920,0	38,3
⅜"	9,5	200,0	1120,0	24,9
Nº 4	4,8	150,0	1270,0	14,8
Nº 10	2,0	112,4	1382,4	7,3

Tamanho das partículas

- Ensaio do densímetro



Amostras de solos dispersas em água destilada e colocadas em repouso para sedimentar em provetas com capacidade para 1.000 ml.

Curva granulométrica

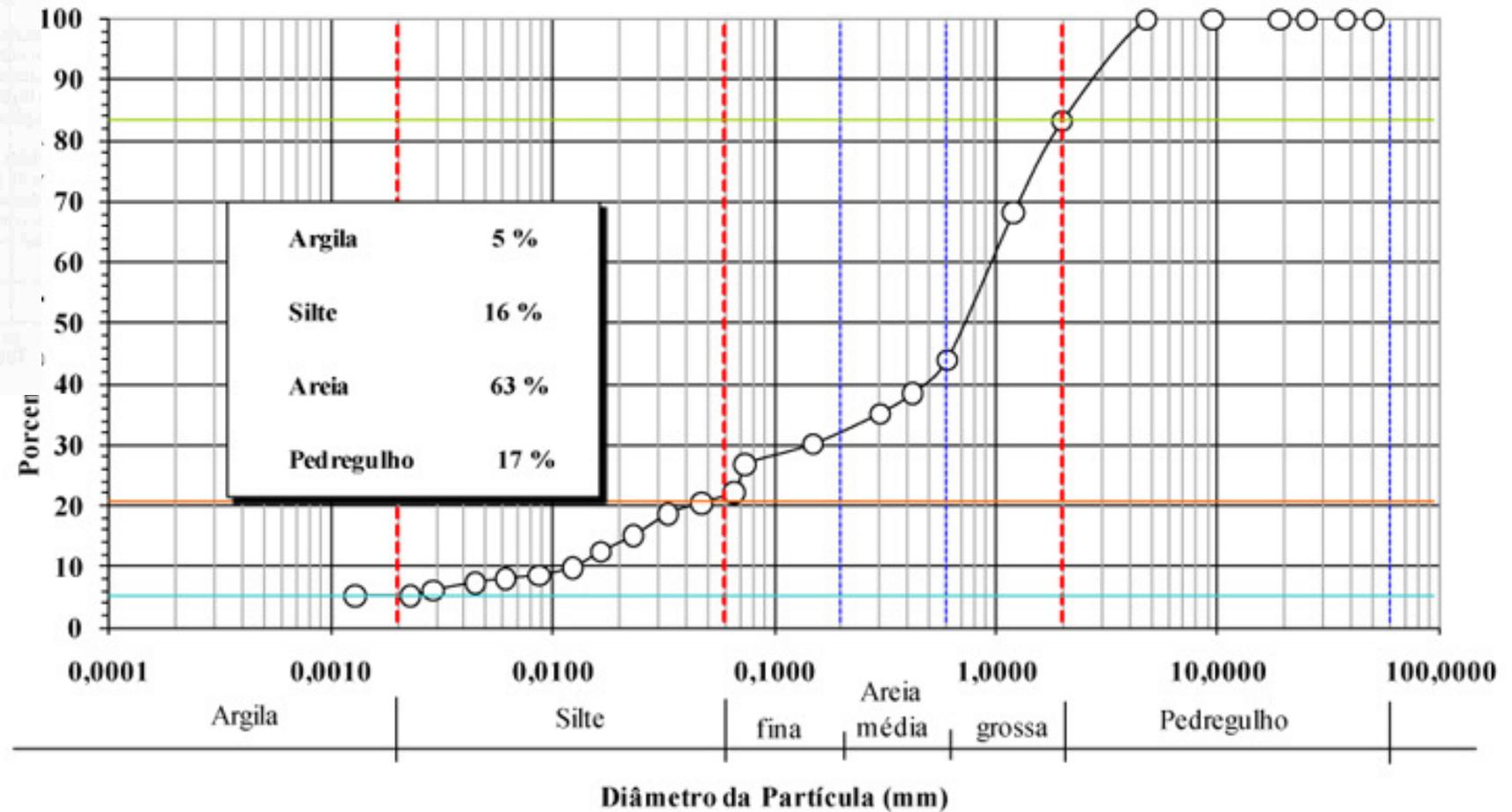
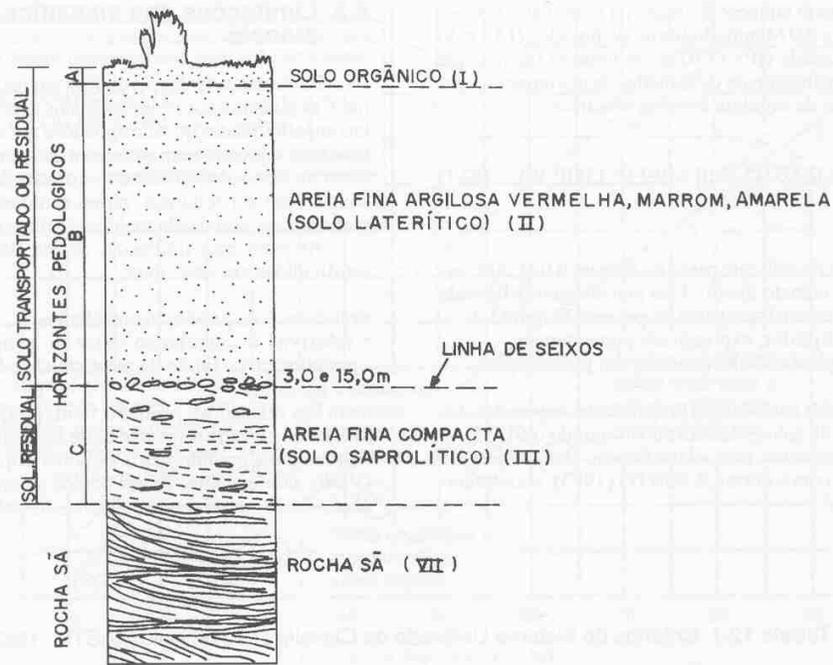
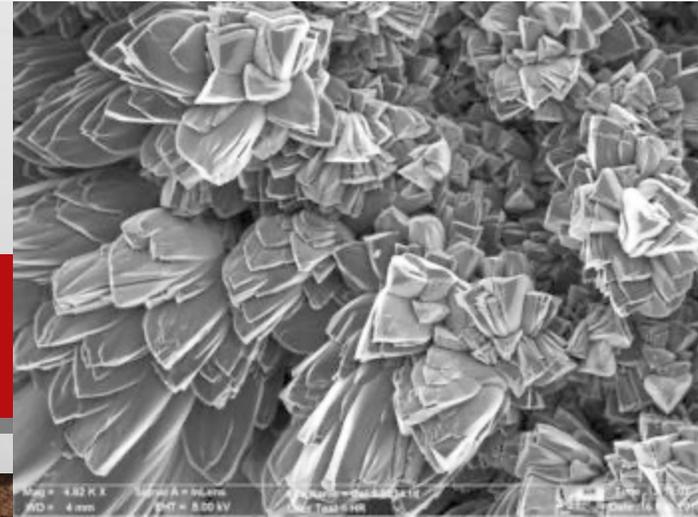
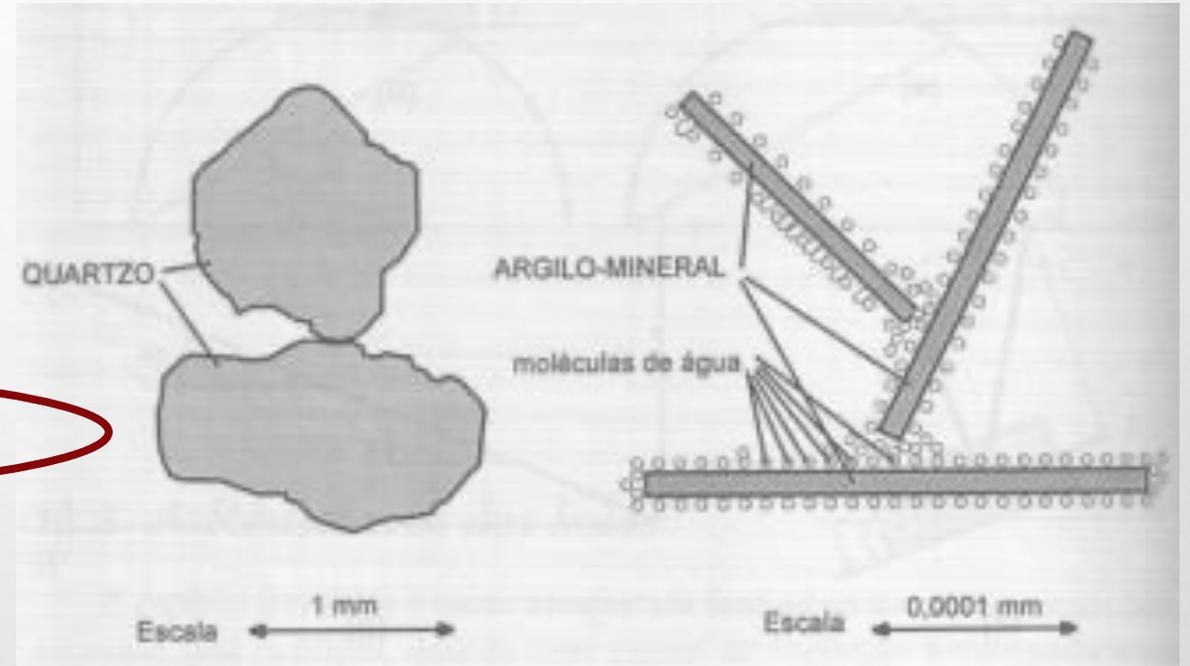


Figura 4 - Curva granulométrica do grits

Propriedades dos solos

2) Forma das partículas

- Esferoidal – quartzo e alguns silicatos
- Lamelar ou placóide – argilominerais
- Fibrosa – matéria orgânica



SOLO:

- **TIPOS DO SOLO**

Solos para a Engenharia Civil

Material oriundo do intemperismo de rochas composto por minerais desagregados.

Tipos de solos:

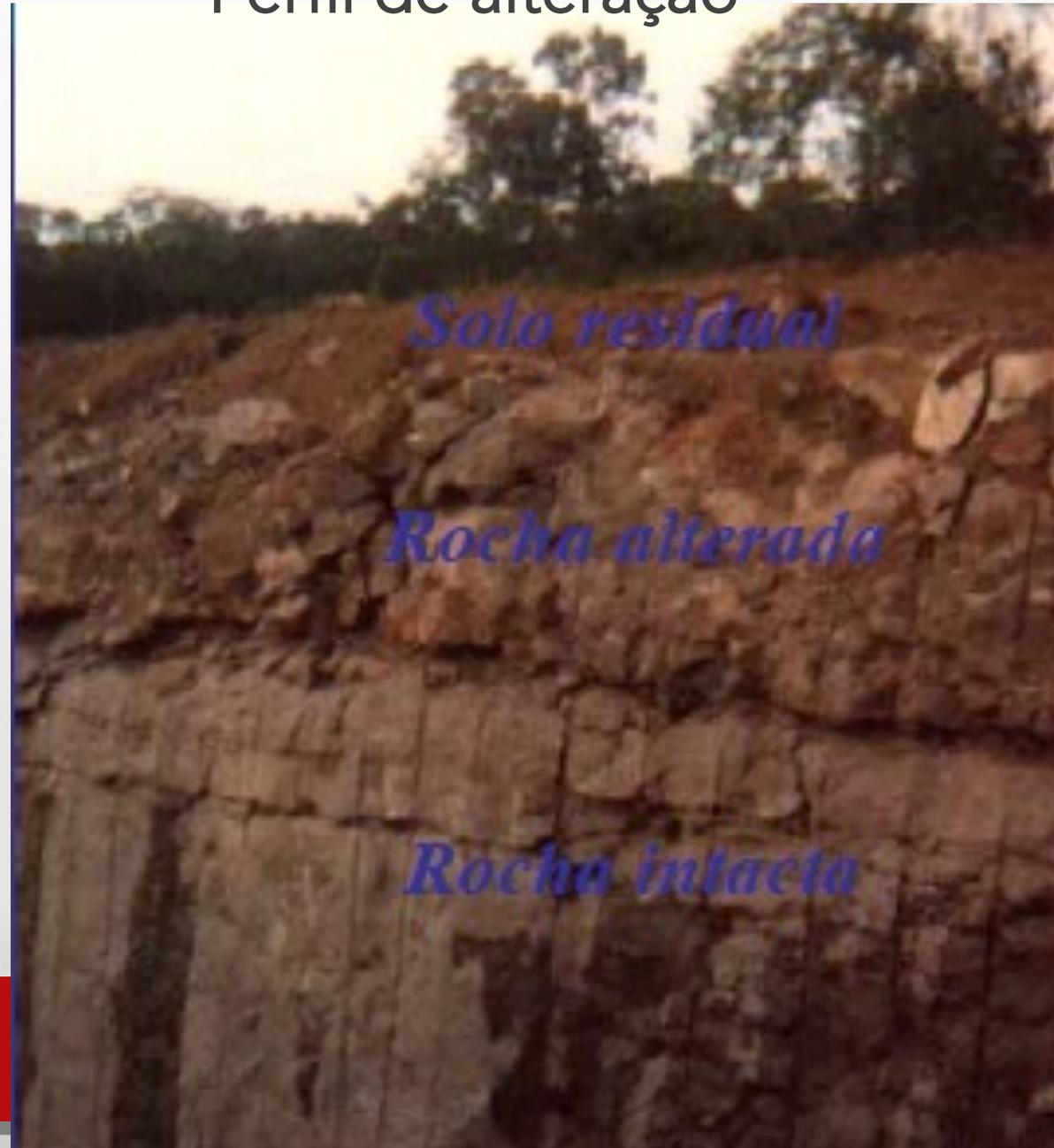
Solos residuais

Solos transportados

Perfil de alteração

Solos residuais

Aqueles originados a partir da alteração intempérica de qualquer tipo de rocha e que permaneceram no local de formação, ou seja, não foram transportados.



Solos transportados

Também originados a partir da alteração intempérica de qualquer tipo de rocha, porém sofreram transporte por algum agente geológico (água, vento e gelo) e depositados em outro local da superfície terrestre.

São em geral menos homogêneos que os solos residuais e podem conter grande quantidade de matéria orgânica.

Representam o que os geólogos chamam de sedimentos.

Tipos de solos transportados

Solos de aluvião ou aluvionares

São depósitos de partículas minerais, podendo conter matéria orgânica, decorrentes da ação geológica de rios.

Tais depósitos apresentam características diferenciadas ao longo do canal fluvial e também transversalmente a ele.

São os materiais típicos de planícies de inundação dos rios, também conhecidos como banhados e várzeas.

O tamanho das partículas é bastante variável.



Tipos de solos transportados

Solos orgânicos

São depósitos de partículas minerais, em geral de granulação fina (principalmente argila) contendo alto teor de matéria orgânica.

Normalmente se situam em bacia e depressões continentais, baixadas marginais de rios e baixadas litorâneas.

Podem formar turfeiras, depósitos com mais matéria orgânica do que minerais.



Tipos de solos transportados

Solos coluviais

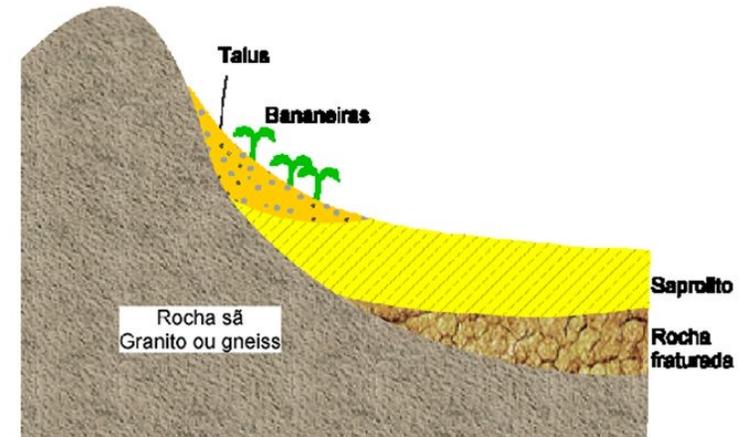
São também conhecidos como depósitos de tálus. São solos transportados por ação exclusiva da gravidade. Apresentam ocorrência localizada, normalmente associados em terrenos com elevações e encostas.

A composição desses solos depende do tipo de rocha existentes nas porções mais elevadas do terreno.

Depósito de *Talus* ou Solo Coluvionar

Mec Solos dos Estados Críticos

JAR On



Tipos de solos transportados

Solos eólicos

São transportados por ação exclusiva do vento, formando as dunas. No Brasil apresentam ocorrência localizada, principalmente em planícies litorâneas.

A composição desses solos em geral são areias quartzosas, de granulação fina com pouca variação granulométrica.



HIDROGEOLOGIA

- **ÁGUA SUBTERRÂNEA E CONTAMINAÇÃO**

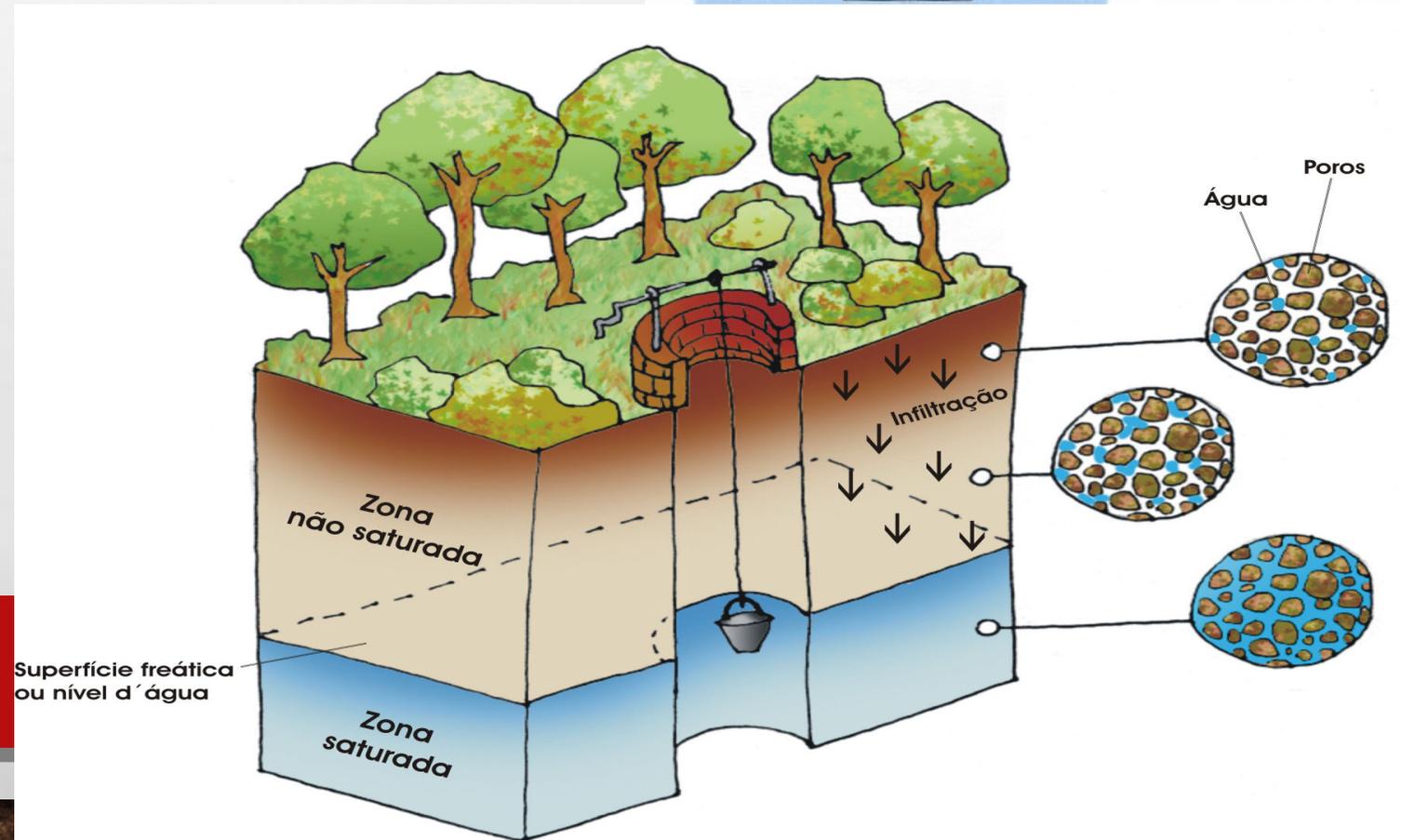
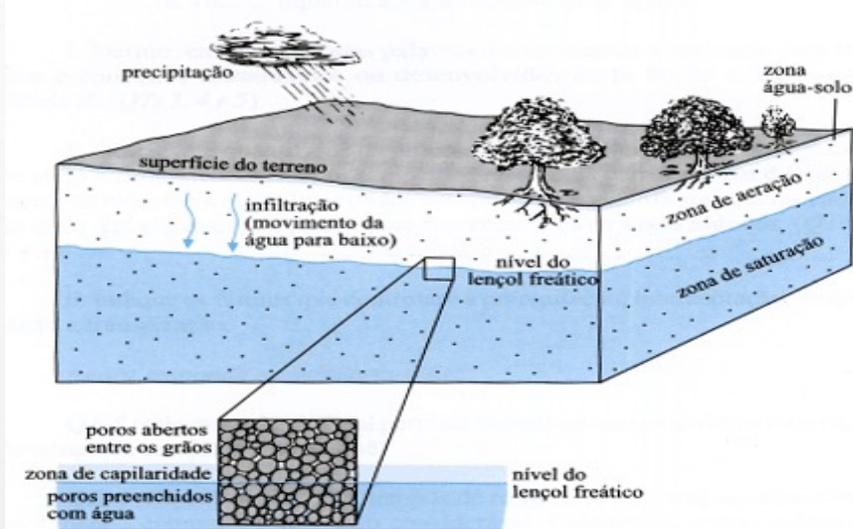
ÁREAS CONTAMINADAS E ÁGUA SUBTERRÂNEA

- [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=8ZJB_1YPXOM](https://www.youtube.com/watch?v=8ZJB_1YPXOM)
- [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=GAZNBT3YLCS](https://www.youtube.com/watch?v=GAZNBT3YLCS)

Constituição da água subterrânea

De acordo com Custodio e Llamas (1976), um dos livros clássicos de hidrologia subterrânea, na água subterrânea natural, a maioria das substâncias dissolvidas encontra-se em estado iônico.

- Os íons mais frequentes são: os ânions – clorato (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), carbonato (HCO_3^-) e bicarbonato (CO_3^{2-}) e os cátions de sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+).
- A partir da composição química da água podem-se destacar dados importantes para o estudo de contaminação desse recurso



CONTAMINANTES MAIS ENCONTRADOS EM ÁGUA SUBTERRÂNEA

Tabela 12.1 Contaminantes mais encontrados em água subterrânea

POSIÇÃO	COMPOSTO	FONTE DE CONTAMINAÇÃO
1	Tricloroetileno	Limpeza a seco, desengraxantes
2	Chumbo	Gasolina, mineração, manufatura
3	Tetracloroetileno	Limpeza a seco, desengraxantes
4	Benzeno	Gasolina, manufatura
5	Tolueno	Gasolina, manufatura
6	Cromo	Chapeamento de metal
7	Cloreto de metileno	Desengraxantes, solventes, removedores
8	Zinco	Manufatura, mineração
9	1,1,1-Tricloroetano	Limpeza de plástico e metal
10	Arsênio	Mineração, manufatura
11	Clorofórmio	Solventes
12	1,1-Dicloroetano	Desengraxantes, solventes
13	1,2-Dicloroetano, trans-	Subproduto de 1,1,1-Tricloroetano
14	Cádmio	Mineração, chapeamento
15	Manganês	Manufatura, mineração
16	Cobre	Manufatura, mineração
17	1,1-Dicloroetano	Manufatura
18	Cloreto de vinil	Manufatura de plásticos
19	Bário	Manufatura, produção de energia
20	1,2-Dicloroetano	Desengraxantes, removedores

Fonte: Masters & Ela (2008)

Conceitos importantes

Porosidade consiste nos espaços ou poros vazios no interior de solos e rochas. A porosidade, então, é uma propriedade física cuja expressão matemática é definida pela razão entre o volume de poros e o volume total de rocha ou solo.

Permeabilidade: nada mais é do que sua capacidade em permitir o fluxo de água por meio dos poros. A permeabilidade depende então do tamanho dos poros e sua interligação.

Transmissividade: Quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero.

Coefficiente de armazenamento: A capacidade de um aquífero armazenar e transmitir água depende das propriedades da água (densidade, viscosidade e compressibilidade) e das propriedades do meio poroso (porosidade, permeabilidade intrínseca e compressibilidade).

Tabela 2 – Valores de permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica para sedimentos inconsolidados (Fonte: Fetter, 2001).

Sedimentos*	Condutividade hidráulica (cm/s)	Permeabilidade intrínseca (darcys)
cascalho bem selecionado	$10^{-2} - 1$	$10 - 10^3$
areia bem selecionada	$10^{-3} - 10^{-1}$	$1 - 10^2$
areia siltosa e areia fina	$10^{-5} - 10^{-3}$	$10^{-2} - 1$
<u>silte</u> , <u>silte</u> arenoso, areia argilosa	$10^{-6} - 10^{-4}$	$10^{-3} - 10^{-1}$
argila	$10^{-9} - 10^{-6}$	$10^{-6} - 10^{-3}$

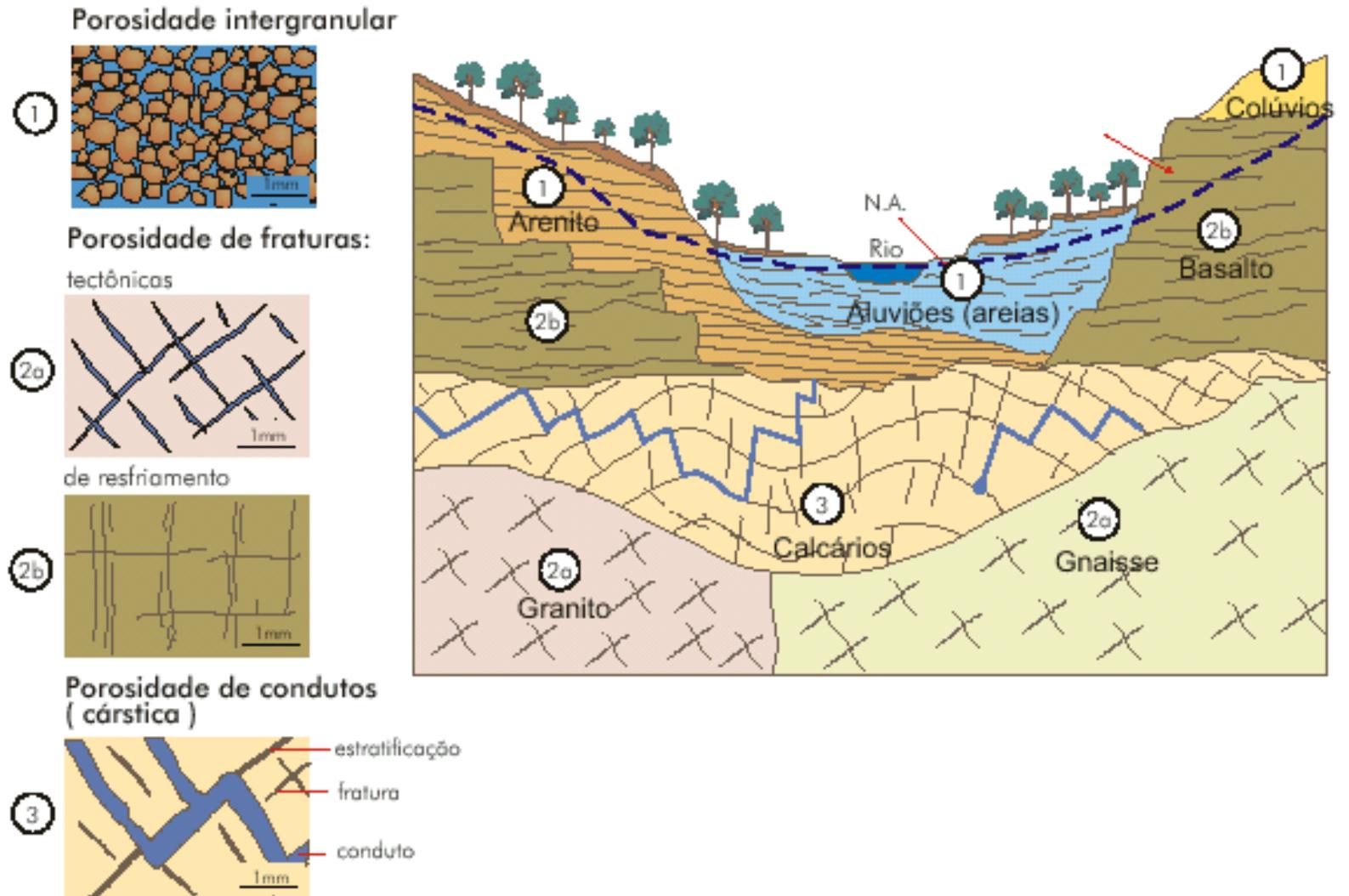
Tipos de Porosidade

Porosidade primária -
intergranular

Porosidade
secundária -
fraturas

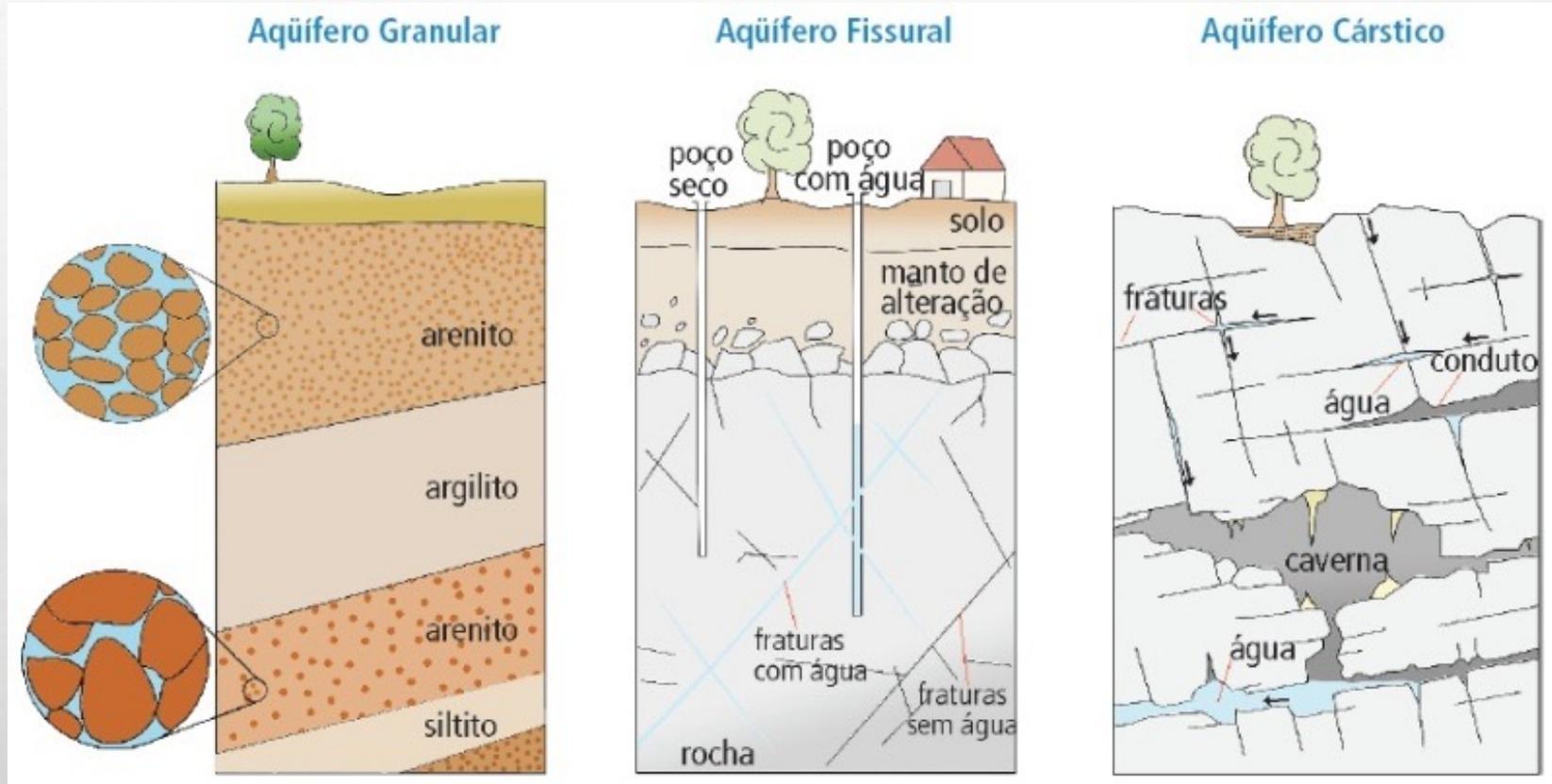
resfriamento

condutos



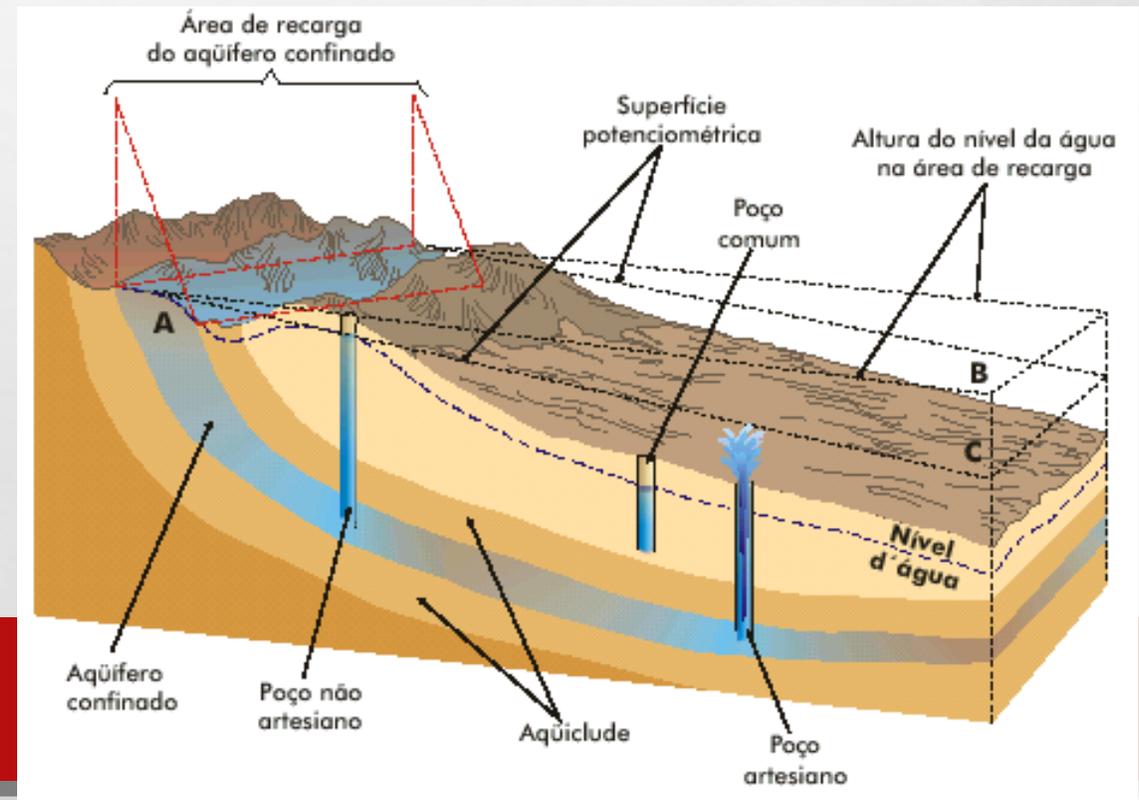
Fonte: Decifrando a Terra / TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI - São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

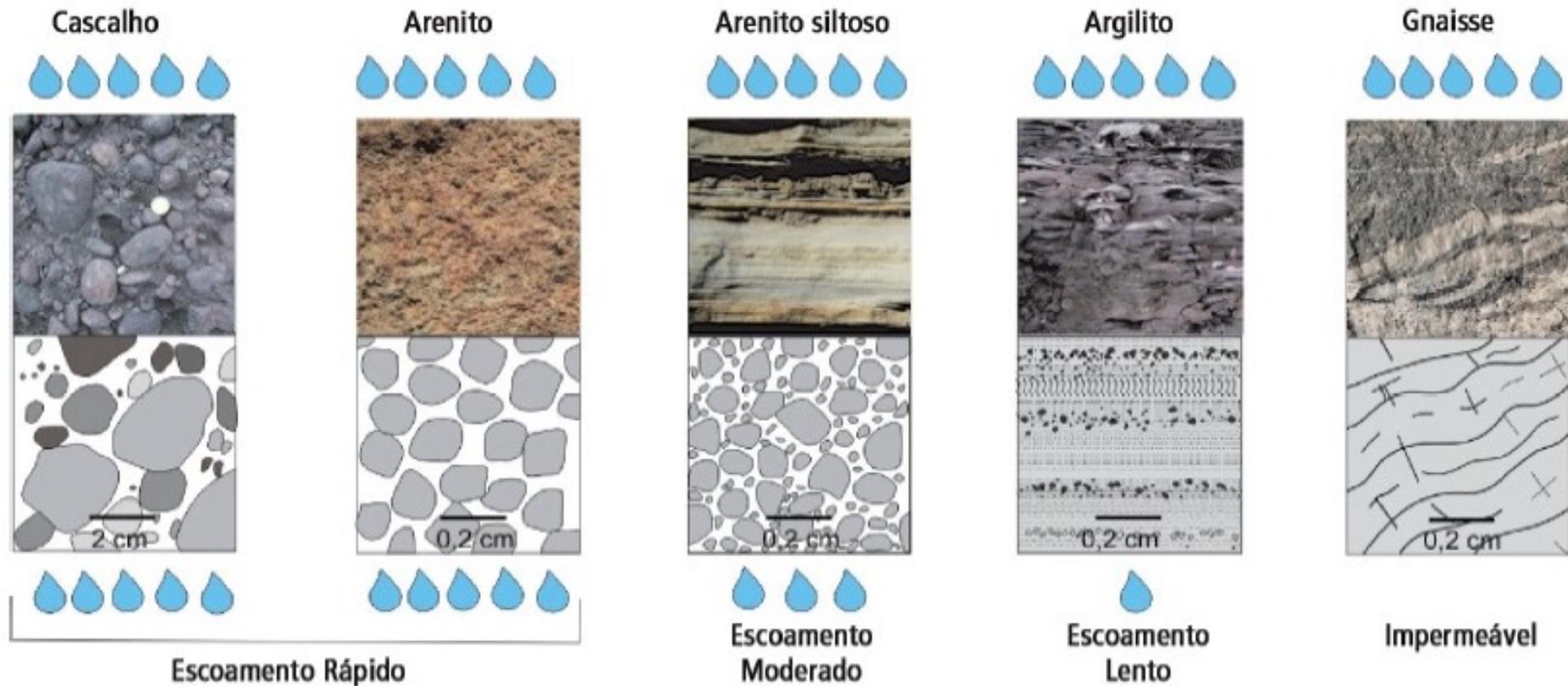
Classificação segundo o tipo de Porosidade



• Zona saturada

- AQÜÍFERO – formação geológica que contém água e que permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais
- AQÜICLUDE – formação que pode conter água, mas não transmite em condições naturais;
- AQÜITARDO – formação semi-permeável, delimitada no topo e na base por camadas de permeabilidade muito maior. Ocorre filtração vertical ou drenança.
- AQÜÍFUGO – formação impermeável que não armazena e não transmite água.

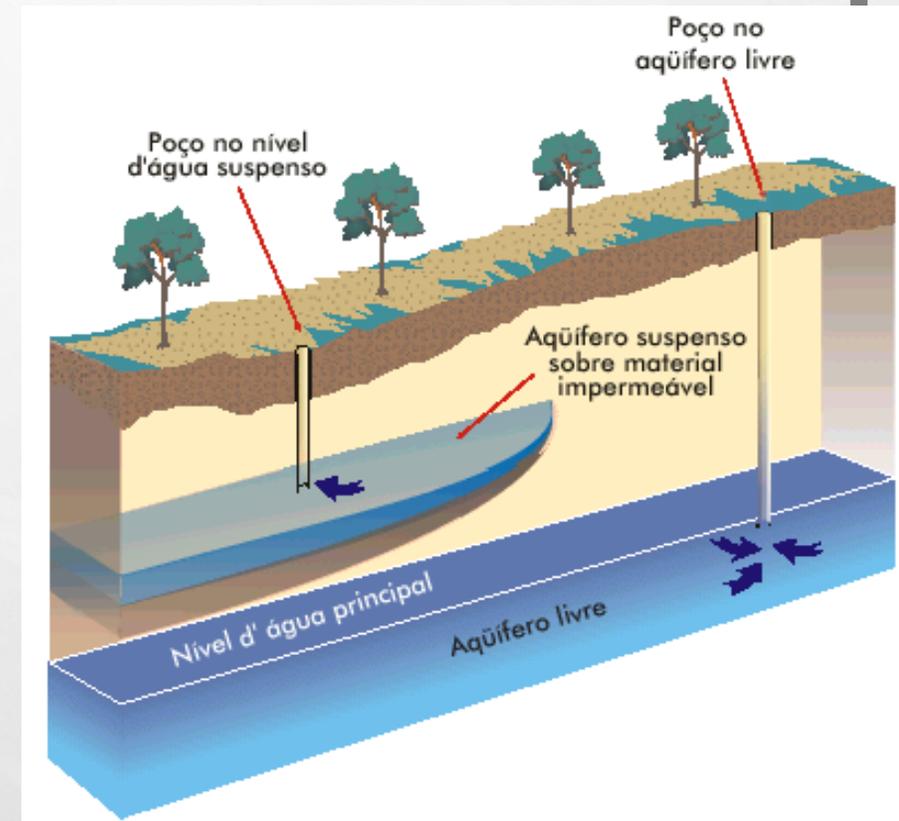




Fontes: (*) Domenico & Schwartz (1998); (**) Fetter (1994).

• Classificação de aquíferos

- Classificação de acordo com a pressão nas superfícies limítrofes: superior (topo) e inferior (base) e pela capacidade de transmissão de água nas respectivas camadas de topo e base.
- LIVRE (*freático* ou *não confinado*) – é aquele cujo limite superior é uma superfície freática, todos os pontos se encontram sob a pressão atmosférica. Também podem ser *drenante* e *não drenante*.
- CONFINADO – a pressão da água no topo é maior do que a pressão atmosférica. Pode ser *confinado drenante* e *confinado não drenante*.
 - ✓ *Confinado não drenante* – aquífero cujas camadas de topo e base são impermeáveis.
 - ✓ *Confinado drenante* – aquífero em que pelo menos uma das camadas é semipermeável, permitindo a entrada ou saída de fluxos pelo topo e/ou base, por drenança ascendente ou descendente.
- SUSPENSO – caso especial de aquífero livre, formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável, de extensão limitada e situada entre a superfície freática regional e o nível do terreno.

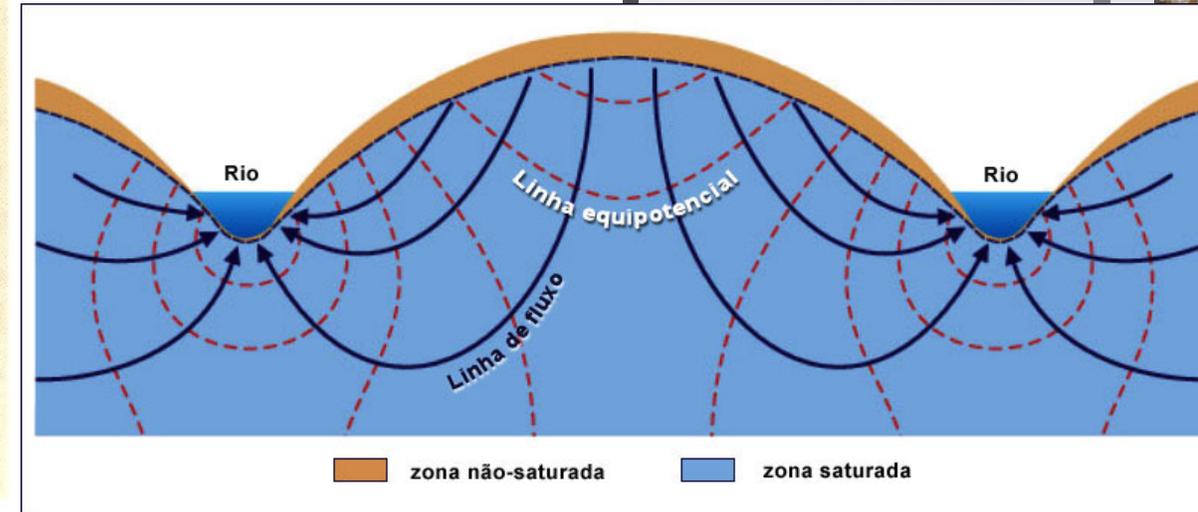
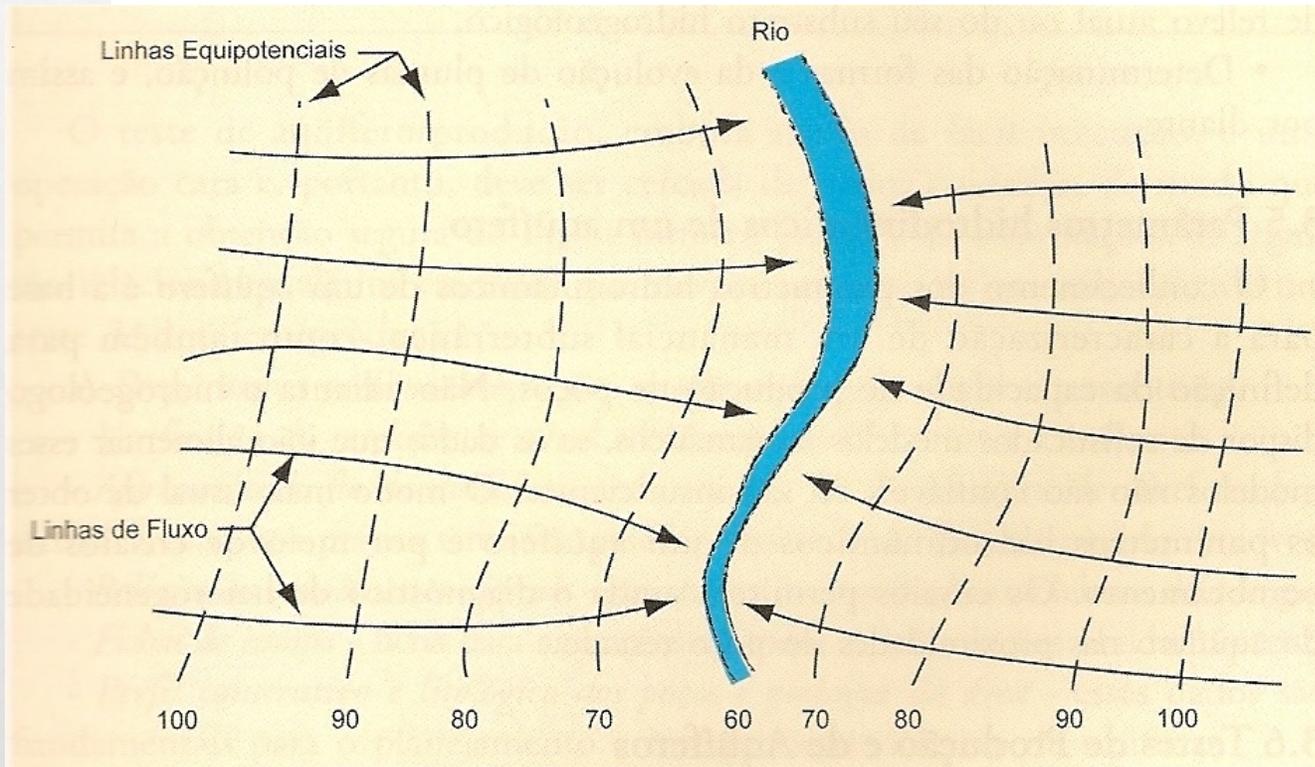


Movimentação da água subterrânea

Material	Porosidade (%)	Permeabilidade (cm/s)
Solos	50-60	
Argila	45-55	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silte	40-50	$10^{-6} - 10^{-4}$
Mistura de areia média e grossa	35-40	
Areia uniforme	30-40	
Mistura de areia fina e média	30-35	$10^{-5} - 10^{-3}$
Pedregulho	30-40	$10^{-3} - 10^{-1}$
Pedregulho e areia	20-35	$10^{-2} - 1$
Arenito	10-20	
Folhelho	1-10	
Calcário	1-10	

Material	Permeabilidade intrínseca (cm²)	Condutividade hidráulica (cm/s)
Argila	10⁻¹⁴ – 10⁻¹¹	10⁻⁹ – 10⁻⁶
Silte	10⁻¹¹ – 10⁻⁹	10⁻⁶ – 10⁻⁴
Areia argilosa	10⁻¹¹ – 10⁻⁹	10⁻⁶ – 10⁻⁴
Areia siltosa; areia fina	10⁻¹⁰ – 10⁻⁸	10⁻⁵ – 10⁻³
Areia bem distribuída	10⁻⁸ – 10⁻⁶	10⁻³ – 10⁻¹
Cascalho bem distribuído	10⁻⁷ – 10⁻⁵	10⁻² – 10⁰

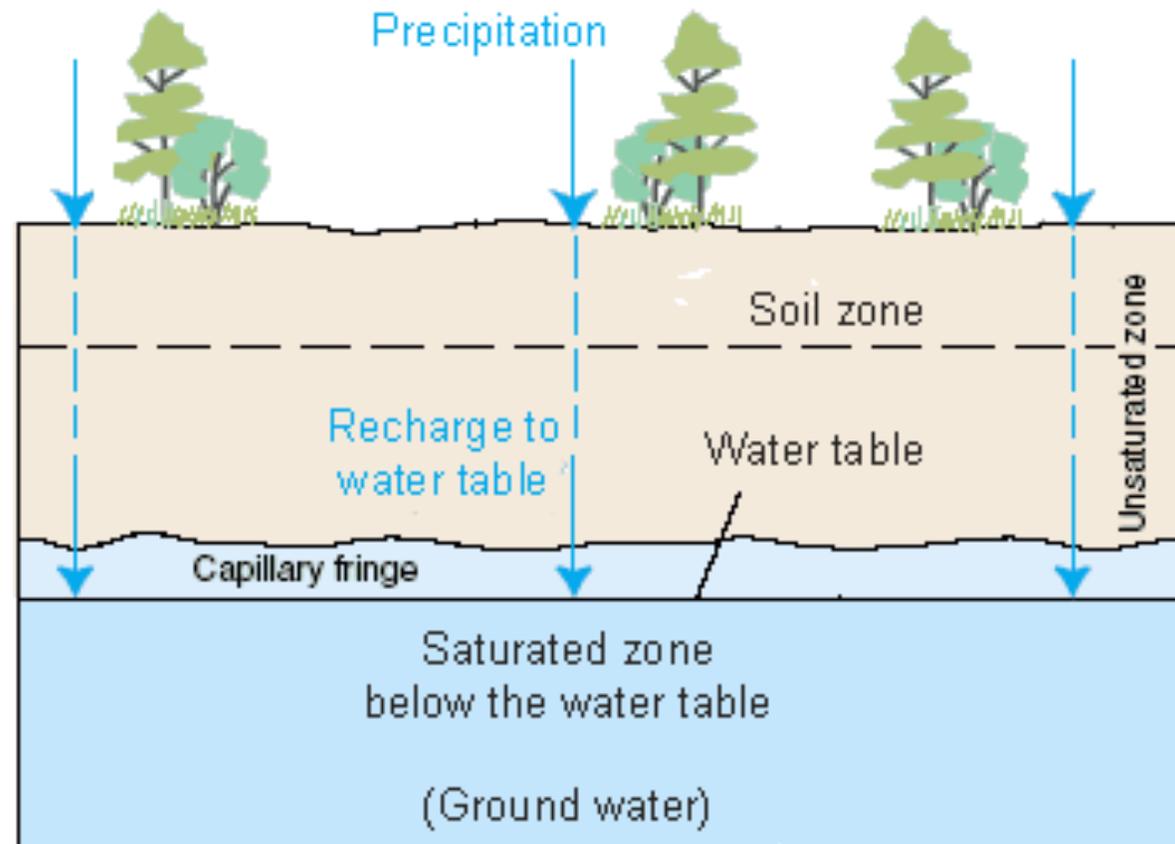
Movimentação da água subterrânea



a direção e o sentido do fluxo de água: o fluxo de água, partindo de um potencial maior para outro menor, determina uma **linha de fluxo**, que segue o caminho mais curto entre dois potenciais diferentes, em um traçado perpendicular às **linhas equipotenciais**.

Contaminação do solo e da água subterrânea

Solo → água subterrânea



Fonte: USGS (2012)

Como o conhecimento acerca do comportamento das águas subterrâneas pode ser empregado para avaliar a degradação ambiental?

O entendimento integrado do comportamento das águas subterrâneas e do solo, discutido no capítulo 2, é fundamental para o estudo de ambientes degradados, sobretudo por contaminação. No estudo de remediação de solos e aquíferos contaminados consideram-se como propriedades relevantes:

- tipo de aquífero (livre, suspenso ou confinado) – vai determinar a intensidade da contaminação;
- distribuição espacial do aquífero e suas relações com os materiais circundantes e outras unidades geológicas (aqüicluda, aqüitarda e aqüífuga) – condiciona como podem se propagar os contaminantes;
- composição química das águas subterrâneas – auxilia na determinação do tipo de contaminante;
- constituição dos materiais na zona não-saturada – condiciona os processos que podem contribuir para a atenuação da contaminação;
- nível do lençol freático e direção do fluxo de água subterrânea – contribuem para o planejamento das atividades de remediação;
- áreas de recarga – a determinação dessas áreas contribui a esse estudo, pois nas mesmas os efeitos da contaminação pelo processo de infiltração são mais intensos;
- condutividade hidráulica – permite deduzir a velocidade com que o fluxo contaminado permeia por um aquífero;
- constituição dos diferentes materiais do perfil de alteração e suas propriedades intrínsecas – condiciona os processos no solo e na zona não-saturada.

Sánchez e Gallardo – apostila de recuperação de áreas degradadas do Pece

Contaminação do solo e da água subterrânea

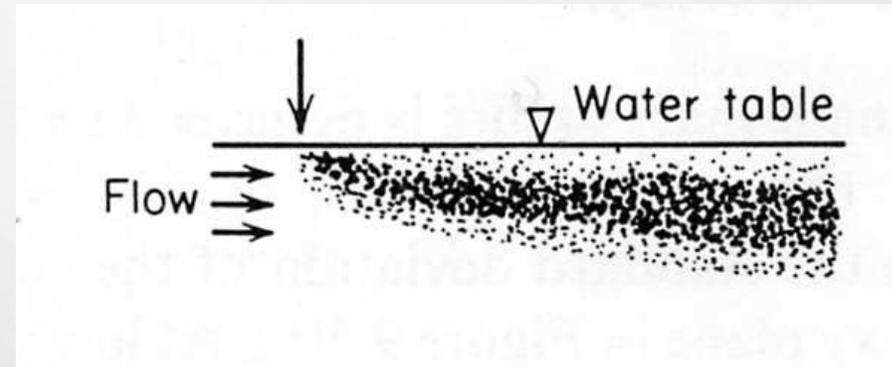
TRANSPORTE DE CONTAMINANTES NO SOLO

Premissas:

Meio poroso – substrato com porosidade intergranular ou densamente fraturado com conexão;

Fluidos miscíveis – solutos dissolvidos em água;

Fluidos sem diferenças de densidade – fluxos com diferentes densidades são regidos por outras equações.

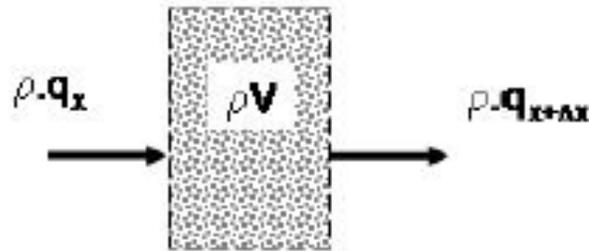


Sem diferença de densidade

Equação de advecção-dispersão

Transporte – fluxo subterrâneo – equação de Darcy:
princípio da conservação de massa

Soluto=massa - substâncias dissolvidas na água, as quais podem ser constituintes naturais, traçadores artificiais ou contaminantes (Freeze & Cherry, 1979)



$$\left[\begin{array}{l} \text{variação de massa} \\ \text{de soluto em um} \\ \text{elemento} \\ \text{volumétrico} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{fluxo de soluto} \\ \text{que} \\ \text{entra no elemento} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{fluxo de soluto} \\ \text{que} \\ \text{sai do elemento} \end{array} \right] \pm \left[\begin{array}{l} \text{perda ou ganho} \\ \text{de massa de soluto} \\ \text{devido a reações} \end{array} \right]$$

Sorção: habilidade do solo, pelas suas características, em reter substâncias

Volatilização: passagem para a fase gasosa

Complexação: reação entre um íon metálico, M, e um ligante, L, resultando na formação de um complexo, ML

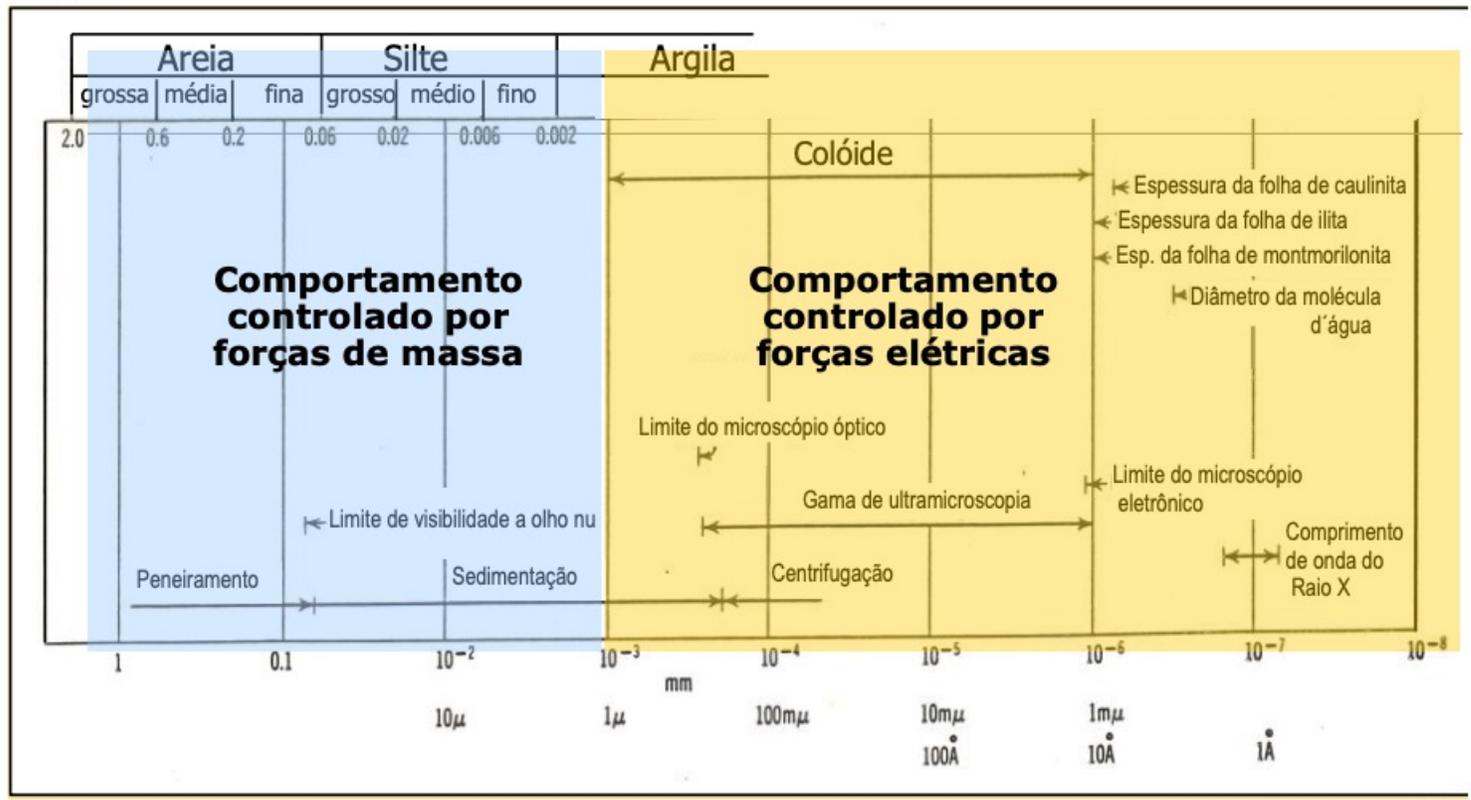
Transformação bioquímica: processos bioquímicos degradativos

Hidrólise: reação da substância com molécula de água

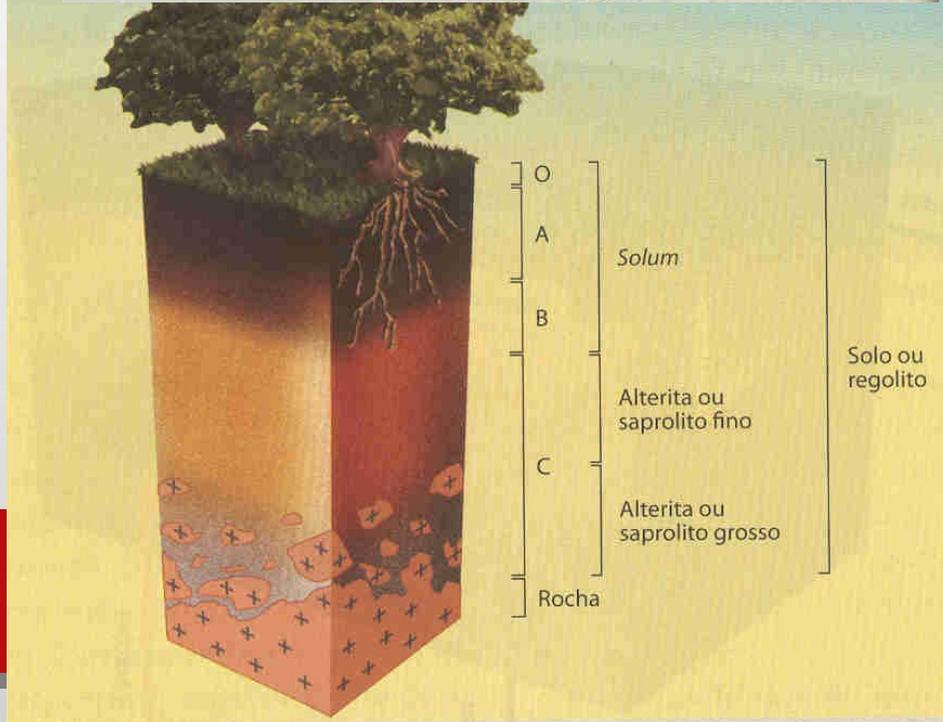
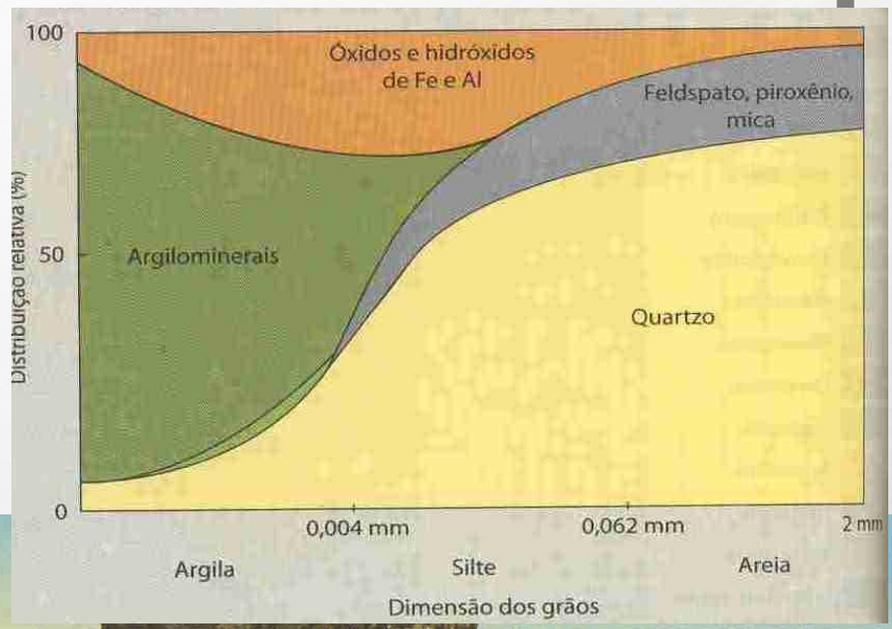
Atenuação natural: processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo
redução da massa ou concentração de contaminantes na água subterrânea em função do tempo e da distância da fonte de contaminação devido a processos naturais.



Figura 12.18 Representação esquemática dos processos de atenuação natural de contaminantes em água subterrânea. Fonte: Adaptado de Hirata & Fernandes (2004).



T.M.P. de Campos (2007)



Mecanismos de transporte de solutos em meios porosos

Processos Físicos

Advecção
Dispersão Hidrodinâmica
Dispersão Mecânica
Difusão Molecular

Processos Bio-Físico-Químicos

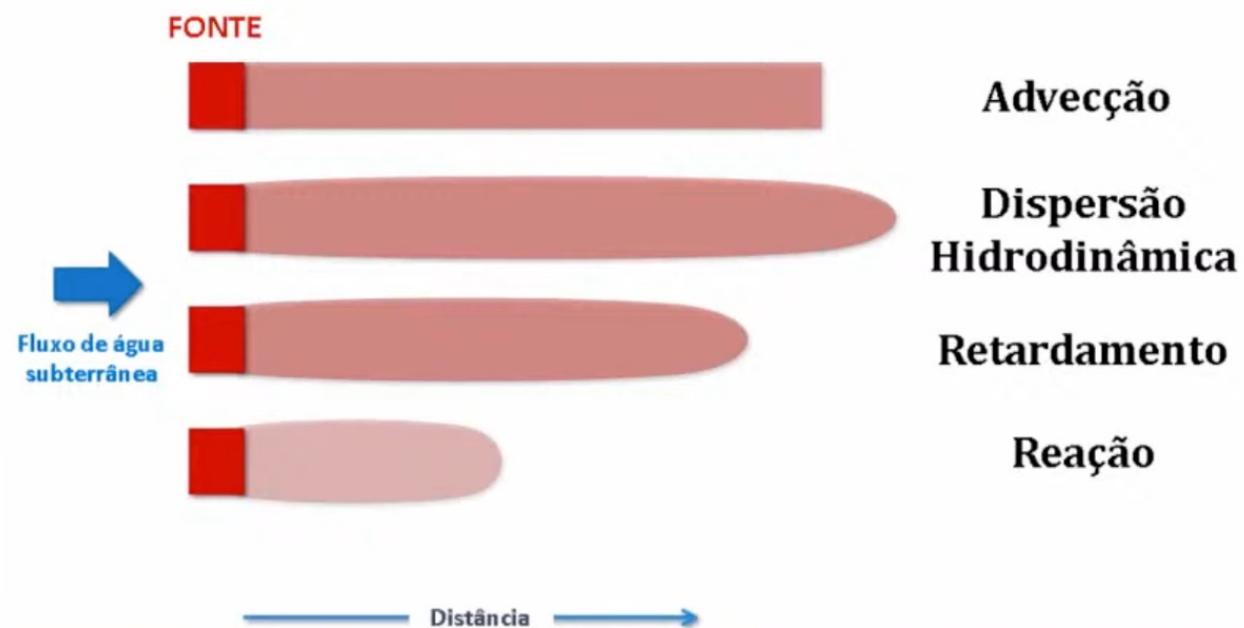
Retardamento ou Aceleração

Adsorção / Dessorção
Precipitação / Dissolução
Troca Iônica
Óxido-Redução
Co-Solvência
Complexação
Ionização
Sorção Biológica
Filtração

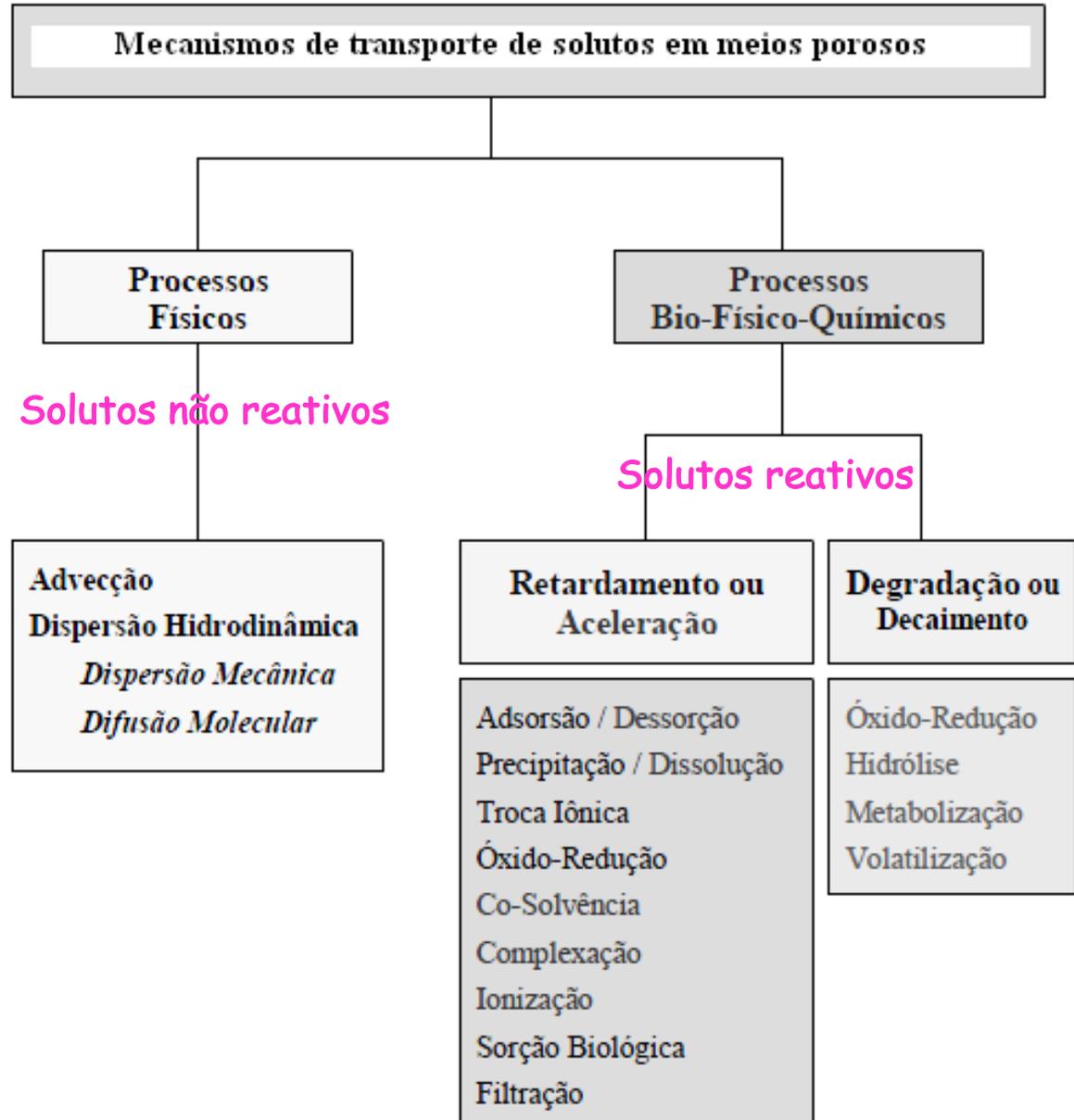
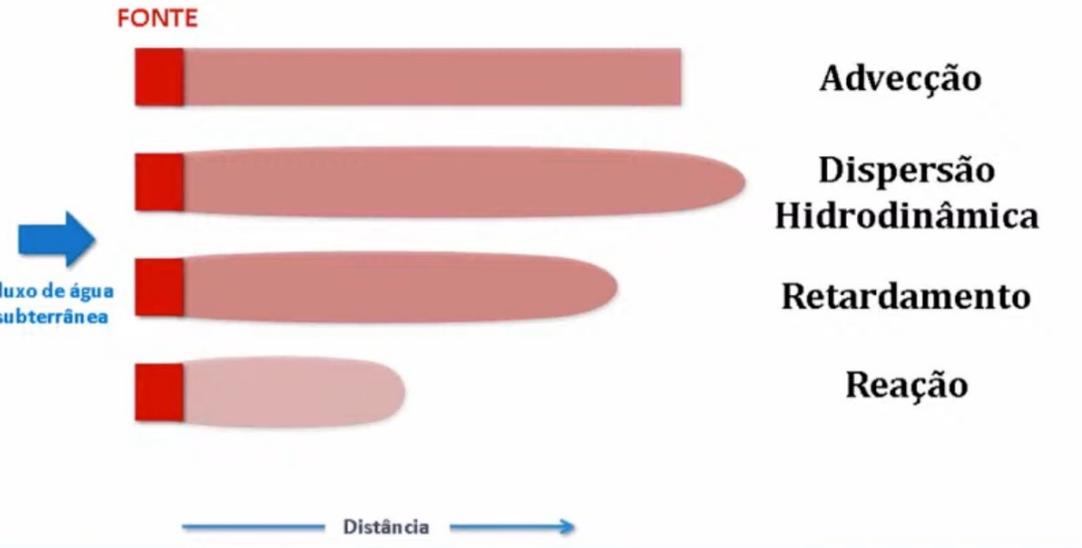
Degradação ou Decaimento

Óxido-Redução
Hidrólise
Metabolização
Volatilização

Processos de Transporte



Processos de Transporte



Leia a descrição desses processos durante a atividade – slide 75 a 85

Mecanismos de transporte

Advecção – Lei de Darcy

Dispersão hidrodinâmica



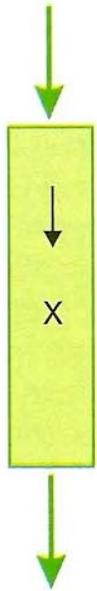
dispersão mecânica



difusão molecular

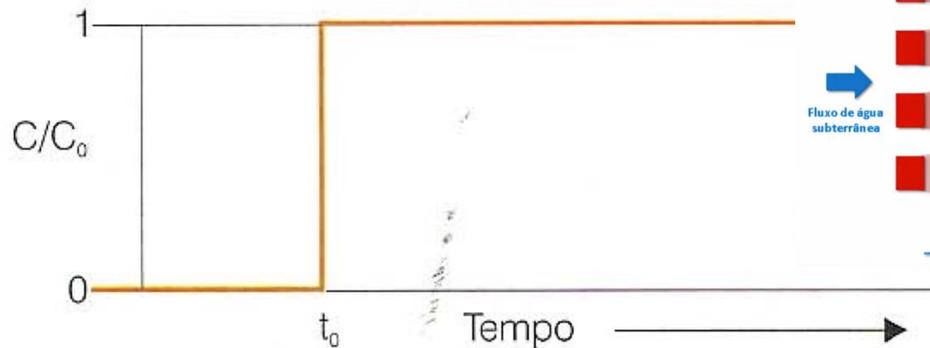
Advecção

Injeção contínua de traçador com uma concentração C_0 após um tempo t_0

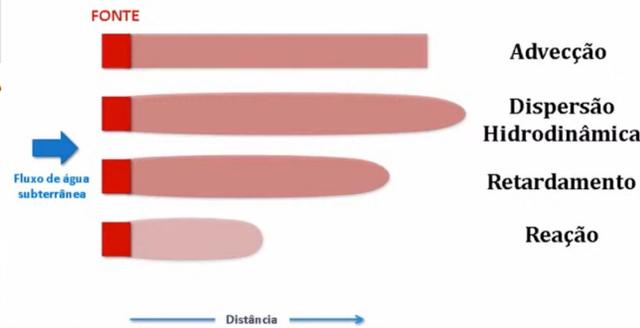


O transporte da substância se dá através do fluxo do fluido no qual ela está dissolvida.

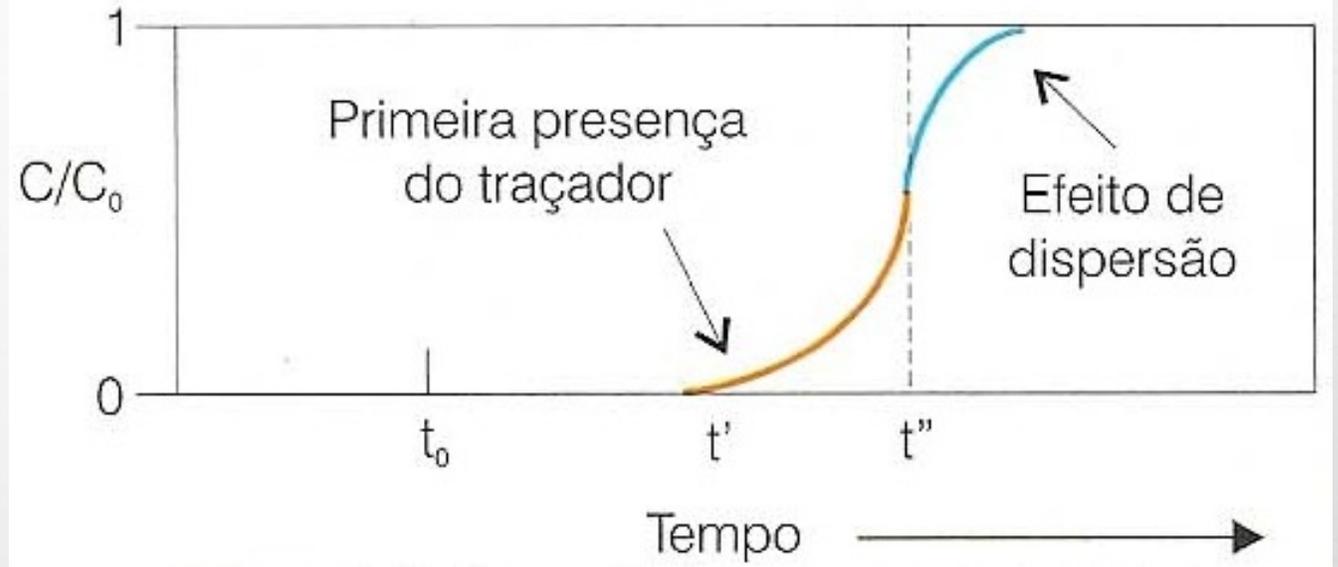
Saída do traçador com uma concentração $C(x, t)$ após um tempo t'



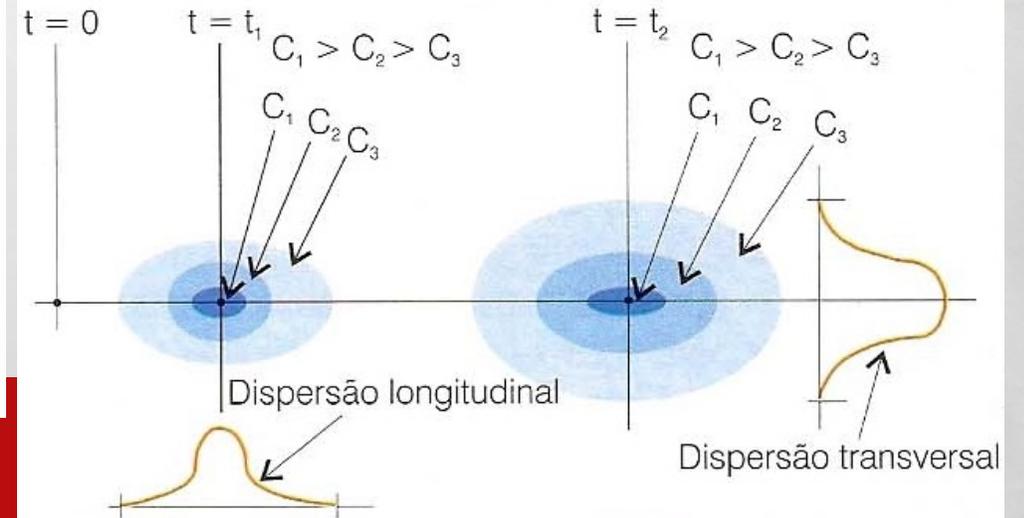
Processos de Transporte



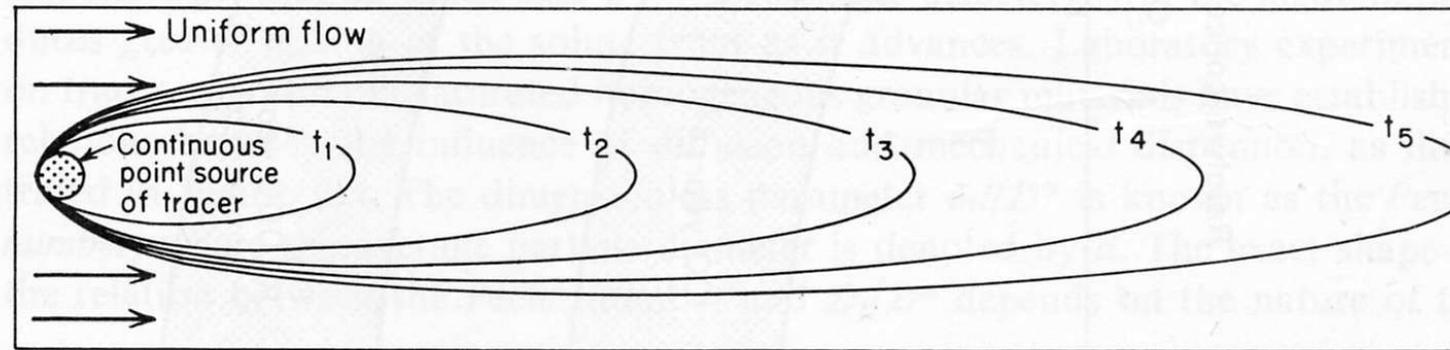
Dispersão hidrodinâmica



Fenômeno que mistura água e contaminante

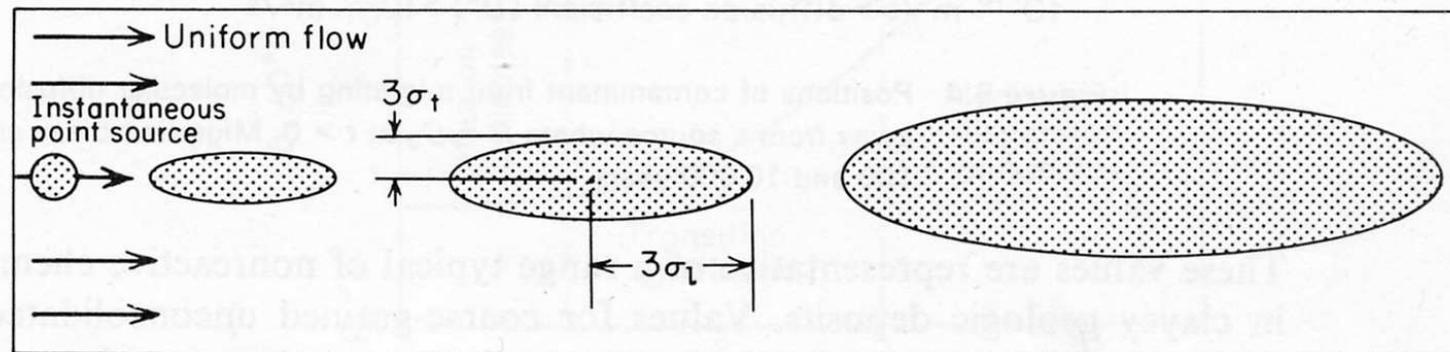


Efeitos de fonte na advecção-dispersão



(a)

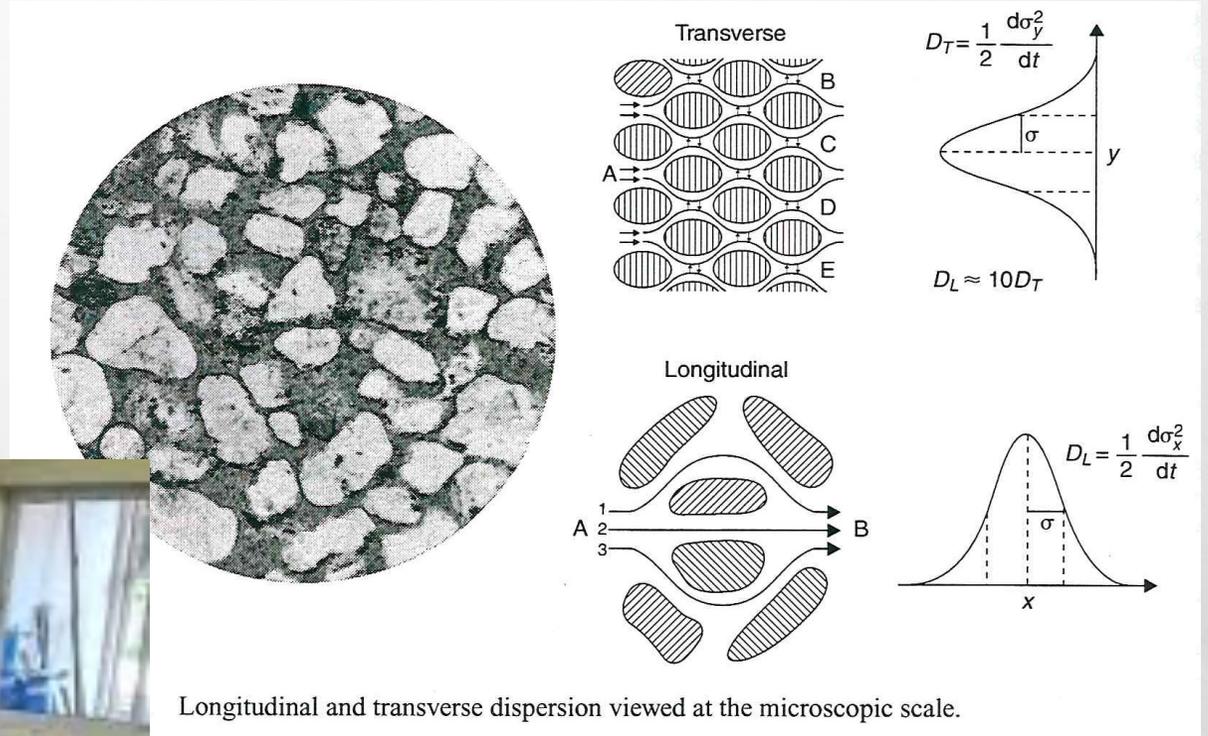
Fonte pontual contínua



(b)

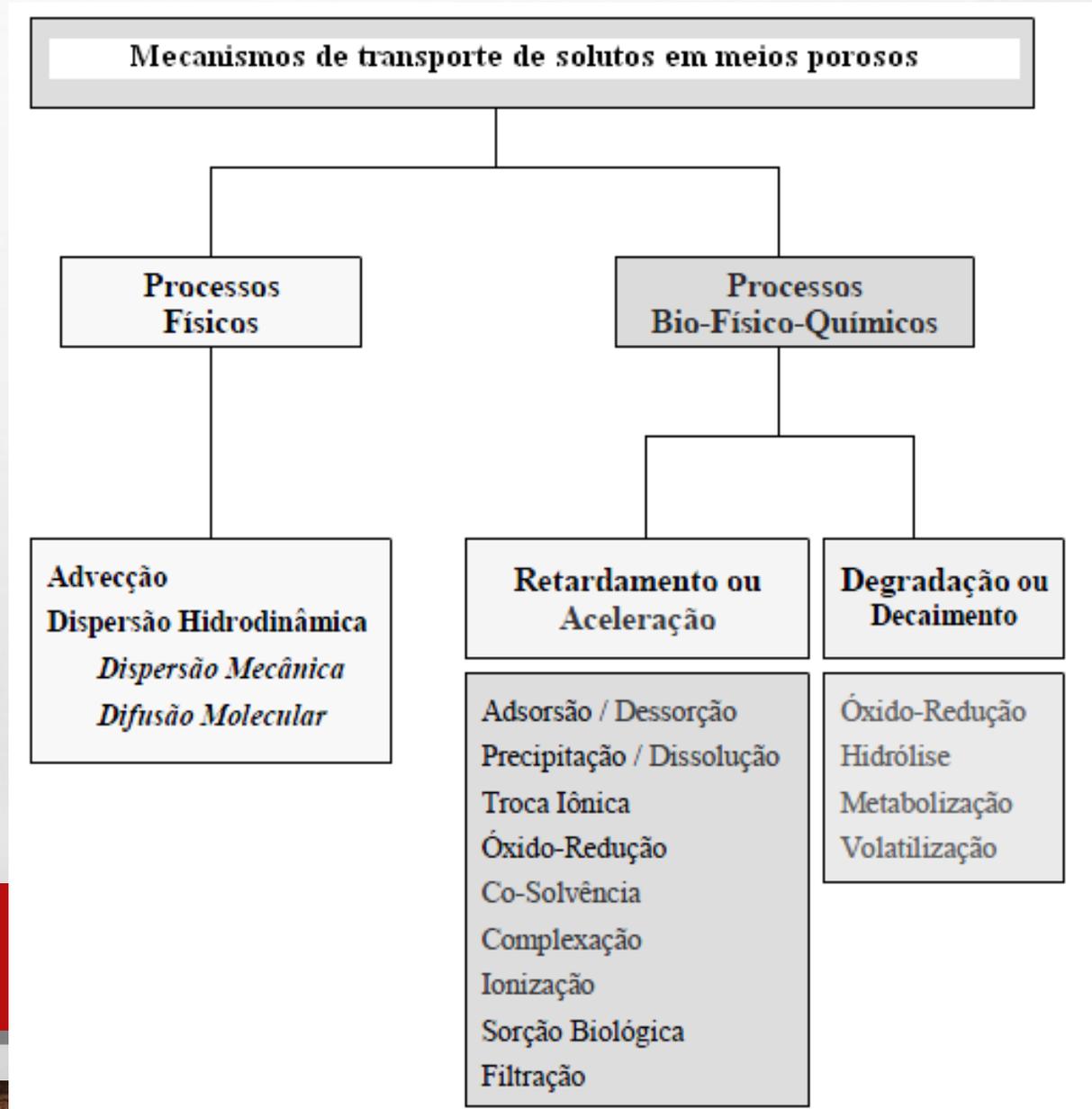
Fonte pontual instantânea Fonte: Freeze and Cherry (1979)

Dispersão em escala microscópica



Processos bio físico químicos

- ocorrem reações entre o soluto e o solo, acarretando mudanças na concentração da solução. Estas reações podem acontecer totalmente na fase líquida ou na transferência de substâncias entre a fase líquida e a fase sólida do meio poroso ou a fase gasosa (no caso de solos não saturados).
- A constituição dos solos (tamanho e composição de partículas, estrutura do solo, presença e tipo de matéria orgânica, etc.) é fator condicionante para esses processos.



Retardamento

- Fração argila é a mais reativa, pois é composta de minerais secundários e pode apresentar matéria orgânica.
- Os processos mais relevantes são aqueles que produzem acumulação do contaminante no solo, pela transferência de substâncias para a fase sólida, recebendo o nome genérico de **sorção**.
- Esta retenção do contaminante pelo solo resulta na diminuição da velocidade da frente de contaminação. Este fenômeno é chamado de retardamento da frente de contaminação

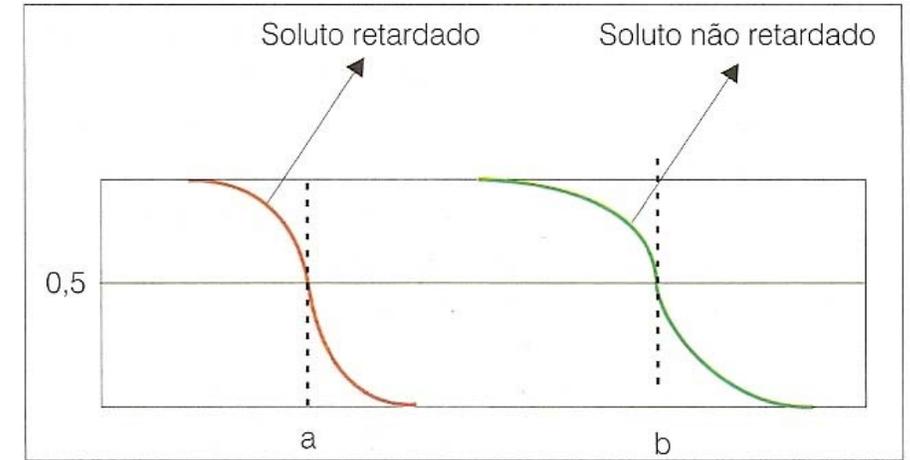
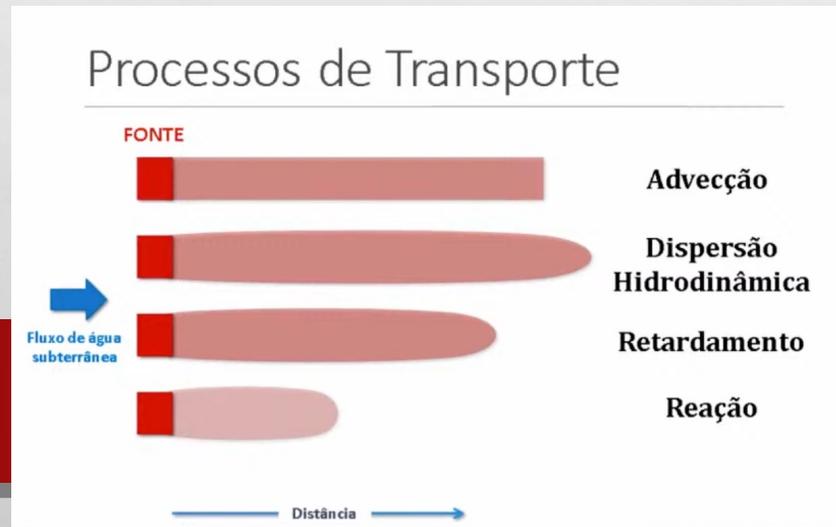
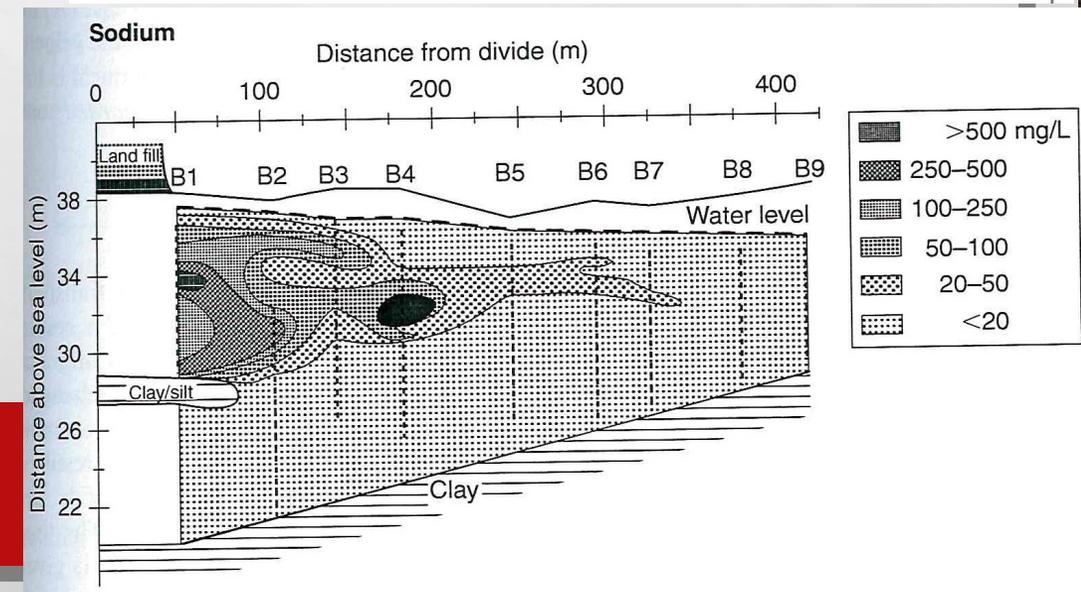


Figura 5.3.17 - Avanço de solutos com adsorção e sem adsorção em uma coluna de material poroso.



O retardamento é maior em solos mais ativos e diminui com o aumento da velocidade de percolação (tempo disponível para reações é menor).

A taxa de retenção de substâncias pelo solo vai diminuindo com o tempo, até tornar-se nula, atingindo aí sua capacidade de retenção.

Os principais tipos de reações que causam **transferência** de substâncias para a estrutura sólida (e portanto com retardamento da frente de contaminação) são as de:

- Adsorção e absorção
- Sorção hidrofóbica

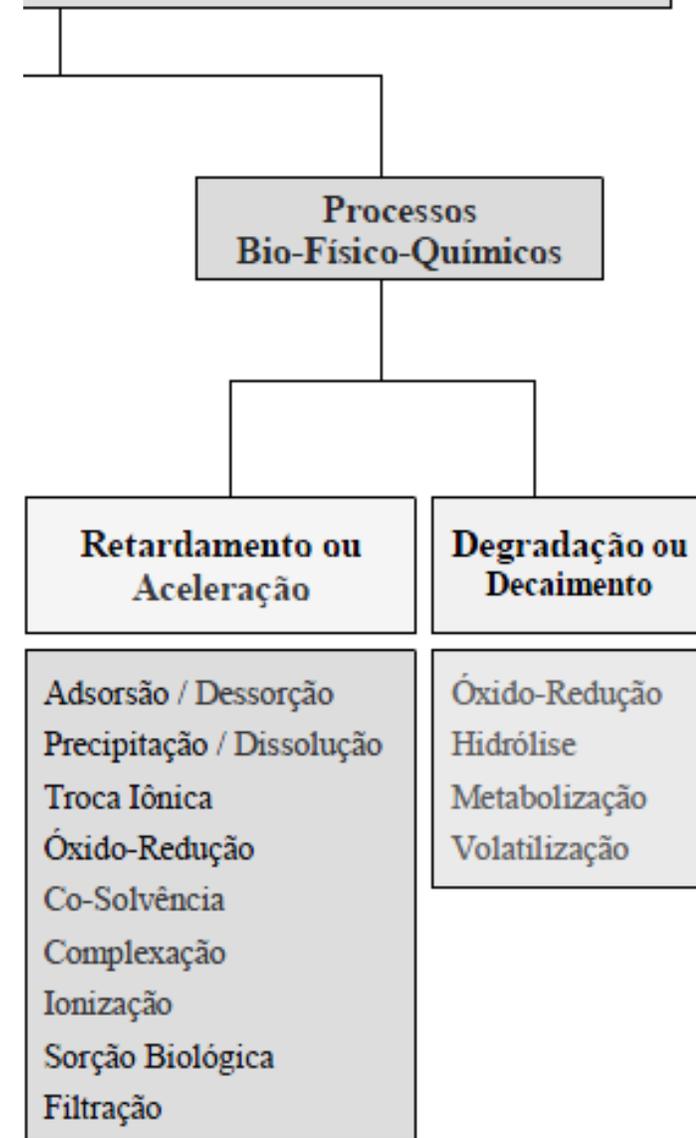
As principais reações causadoras de **atenuação** das substâncias no solo, por perdas ou transformação em outras substâncias, são:

- Biodegradação
- Degradação abiótica
- Volatilização
- Decaimento radioativo

Existem também reações que aumentam a mobilidade dos contaminantes através do solo (efeito geralmente maléfico), entre elas:

- Dissolução
- Formação de complexos ou quelção
- Co-solvência
- Ionização

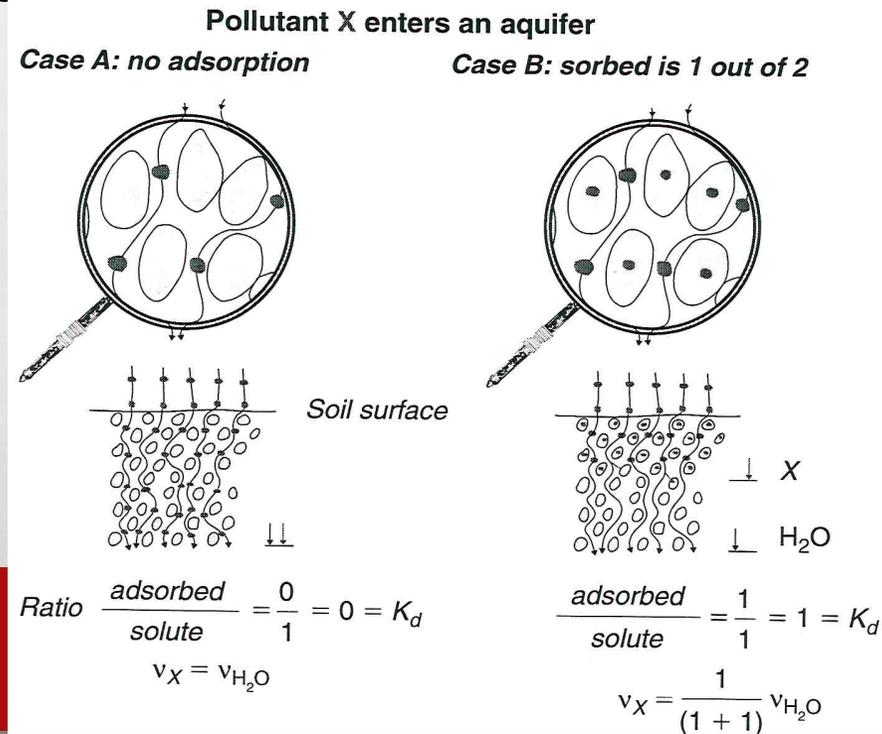
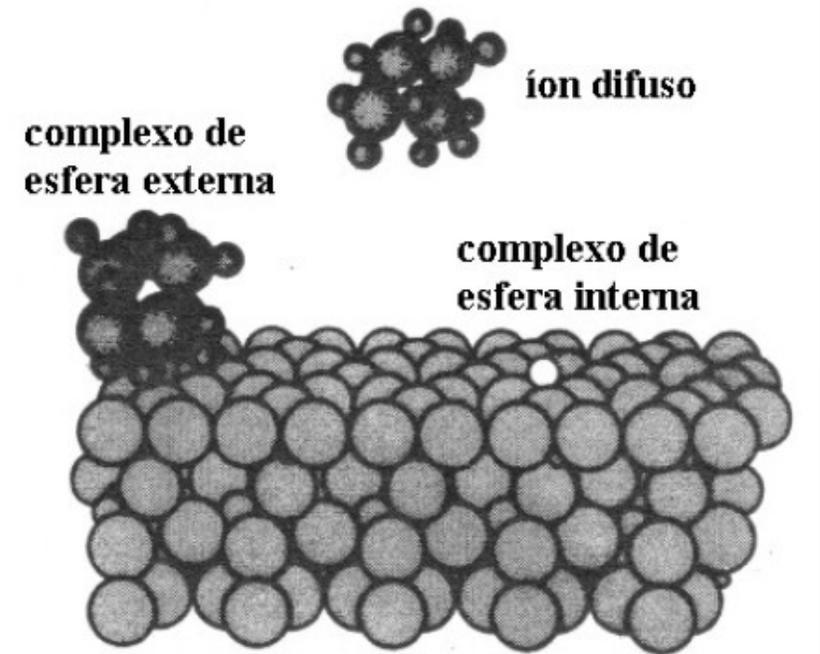
Parte de solutos em meios porosos



Adsorção

Acumulação de matéria na interface entre a fase sólida (partículas minerais) e líquida (água intersticial ou do fluxo subterrâneo);

Reações de complexação de esfera interna e externa e de íons difusos



Mecanismos de adsorção de cátions em superfícies minerais de meios porosos

Adsorção

Constituinte	Carga da camada*	CTC (mmol _c .kg ⁻¹)	Superfície específica (m ² .g ⁻¹)	Carga permanente	Carga variável
<i>Argilo-minerais</i>					
Caulinita	<0,01	10-20	10-20	Sim	Sim
Ilita		100-400	80-150	Sim	
Montmorilonita	0,5-1,2	800-1.200	600-800	Sim	Não
Vermiculita	1,2-1,8	1.200-1.500	300-500	Sim	Não
Mica	1,0	200-400	70-120	Sim	Não
Clorita	variável	200-400	70-150	Sim	Sim
Alofanos (não cristalino)		100-1.500	70-300	Não	Sim

* carga da camada por fórmula unitária do mineral

Adsorção x absorção

- **Adsorção** : As substâncias em solução partícula por forças de atração elétrica, devido a substituições iônicas na estrutura cristalina dos minerais ou quebra de ligações moleculares. Isto ocorre principalmente na fração de argila dos solos, pois estas partículas possuem grande superfície específica e capacidade de atração de íons.
- **Absorção**: processo que envolve retenção de substâncias nos poros do solo.

Mecanismos de transporte de solutos em meios porosos

Processos Físicos

Advecção
Dispersão Hidrodinâmica
Dispersão Mecânica
Difusão Molecular

Processos Bio-Físico-Químicos

Retardamento ou Aceleração

Adsorção / Dessorção
Precipitação / Dissolução
Troca Iônica
Óxido-Redução
Co-Solvência
Complexação
Ionização
Sorção Biológica
Filtração

Degradação ou Decaimento

Óxido-Redução
Hidrólise
Metabolização
Volatilização

Precipitação: Quando a concentração de um contaminante excede o seu grau de solubilidade no fluido, a sua quantidade em excesso sai de solução, precipitando

Volatilização: Difusão do contaminante na fase gasosa.

Decaimento Radioativo: Liberação de energia, de forma espontânea, de elementos radioativos, causando diminuição da concentração dos mesmos no solo.

Dissolução: Contrário de precipitação, podendo ocorrer, por exemplo, através de lixiviação.

Formação de Complexos : ou quelação, é a formação de uma ligação coordenada entre um cátion metálico e um ânion ou molécula polar (ligante), aumentando a mobilidade potencial do metal, ficando mais solúvel.

Co-Solvência : O contaminante é dissolvido em mais de um solvente.

Ionização: Dissociação de ácidos e bases, aumentando sua mobilidade na água

FINALIZANDO...

Pode-se dizer que os fatores que intervêm no transporte de substâncias em solos são:

- Características do contaminante (solubilidade, densidade, concentração, pH, D.B.O., D.Q.O, etc.);
- Características do solo pelo qual ele percola (granulometria, mineralogia da fração argila, permeabilidade, matéria orgânica, etc.);
- Características do ambiente (tempo de exposição do solo ao contaminante, presença de microorganismos, condições hidrogeológicas, condições aeróbicas/anaeróbicas e temperatura).

OBS: A temperatura pode alterar a permeabilidade do solo (muda a viscosidade do fluido), a velocidade de reações químicas e a solubilidade do contaminante.

FATORES INTERVENIENTES



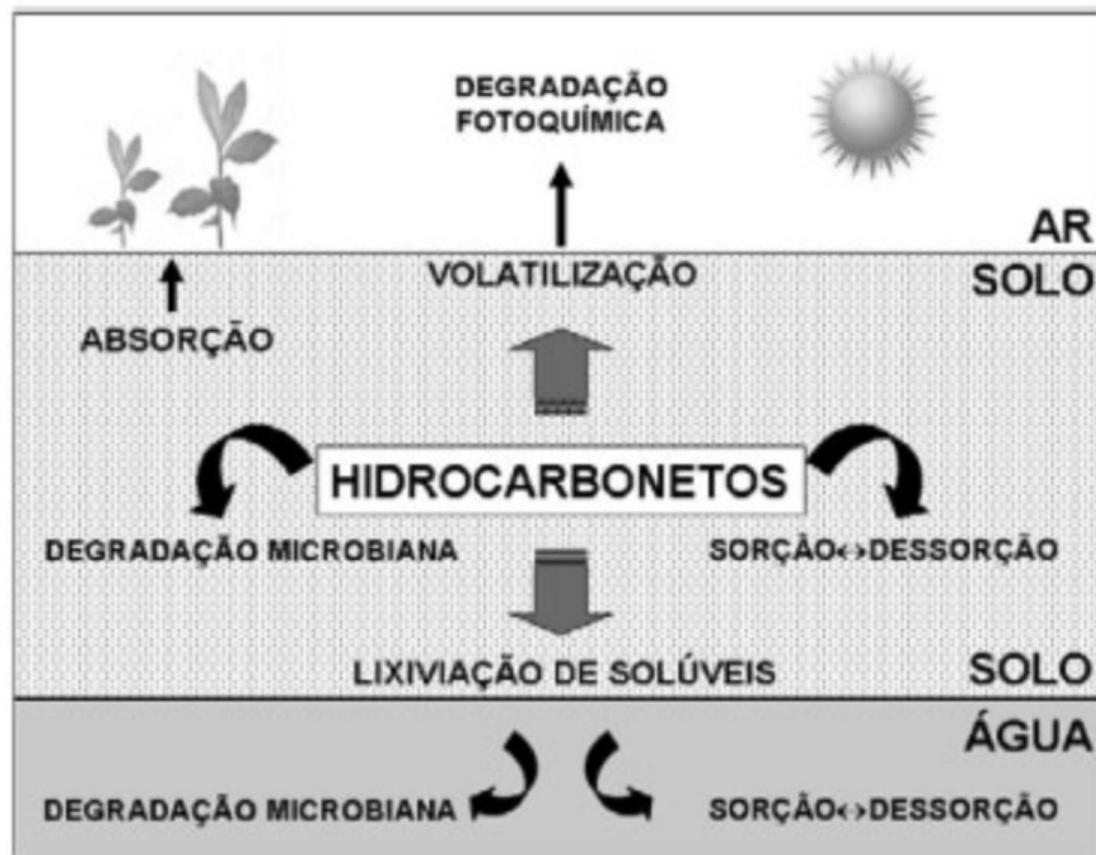


Figura 1. Representação esquemática da dinâmica dos hidrocarbonetos no solo contaminado

Diagnóstico ambiental e avaliação de risco de áreas contaminadas

compartilhe

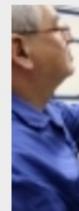


Ensaio de caracterização de áreas contaminadas

O **Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas - LRAC** realiza ensaios em campo que permitem obter a condição do meio a ser avaliado, bem como ensaios laboratoriais, por meio de amostragens de solo, de resíduos, de água, de vapores e de gases que fornecem os parâmetros físico-químicos obtidos em condições controladas para representar as condições reais da área investigada. Destaca-se também a realização de projetos voltados ao desenvolvimento de técnicas para avaliação de periculosidade e classificação de resíduos.

Para a realização desses ensaios, o LRAC conta com os seguintes equipamentos e infraestrutura laboratorial para a investigação em alta resolução do meio:

Equipamentos



Vamos olhar um pouco?



https://www.ipt.br/solucoes/complementos/53/335-diagnostico_ambiental_e_avaliacao_de_risco_de_areas_contaminadas.htm



amarilisgallardo@usp.br

Agradeço à amiga Professora Sandra Gabas que compartilhou boa parte do conteúdo dessa aula