



**PHA 3523
TECNOLOGIAS DE
REMEDIÇÃO DE ÁREAS
CONTAMINADAS**

PROFESSORA AMARILIS LUCIA CASTELI FIGUEIREDO GALLARDO

PHA



AULA 4

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

AGENDA DA AULA DE HOJE: SOLO

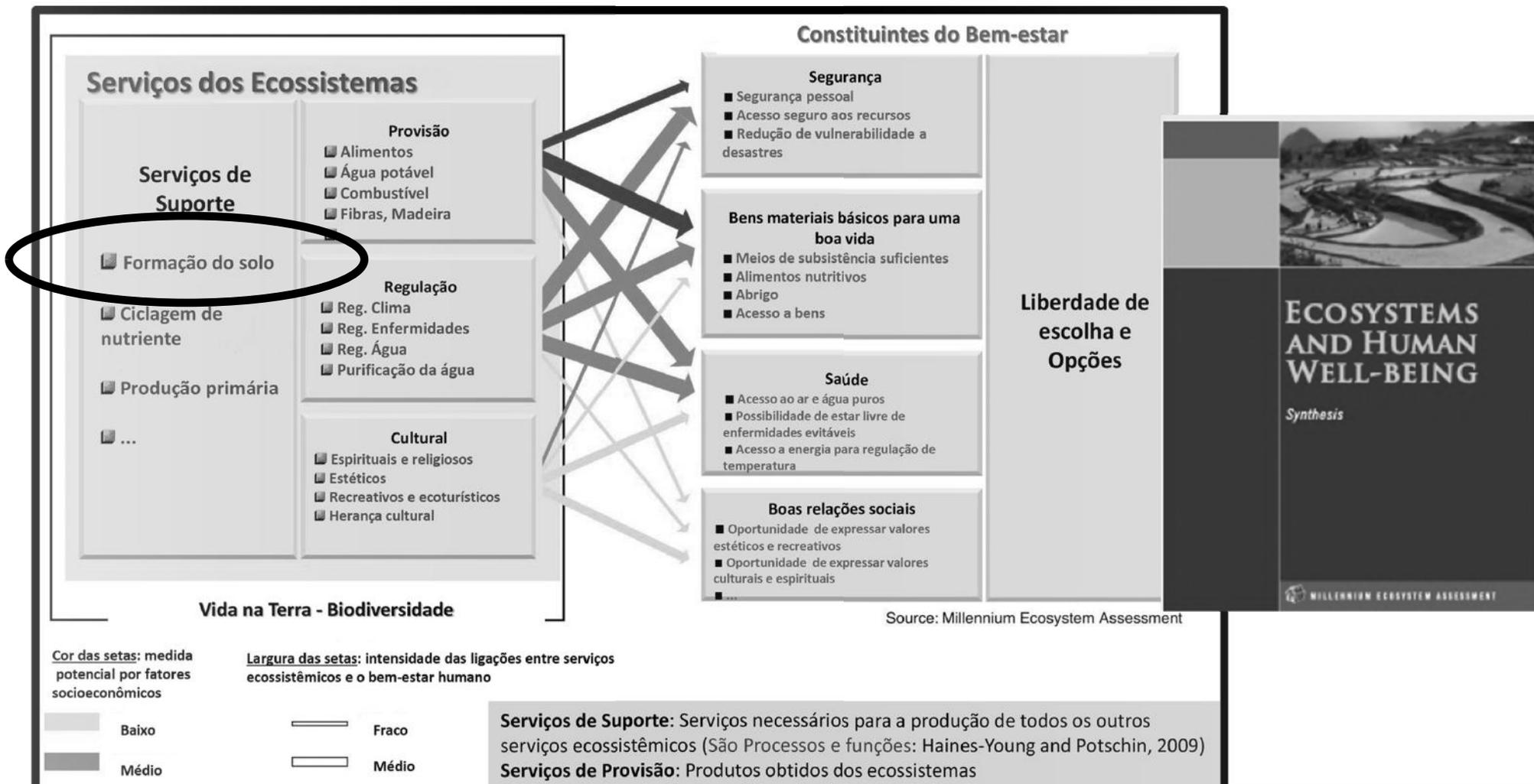
- **FORMAÇÃO DO SOLO**
- **PROPRIEDADES DO SOLO**
- **COMPORTAMENTO DOS CONTAMINANTES NO SOLO**

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)

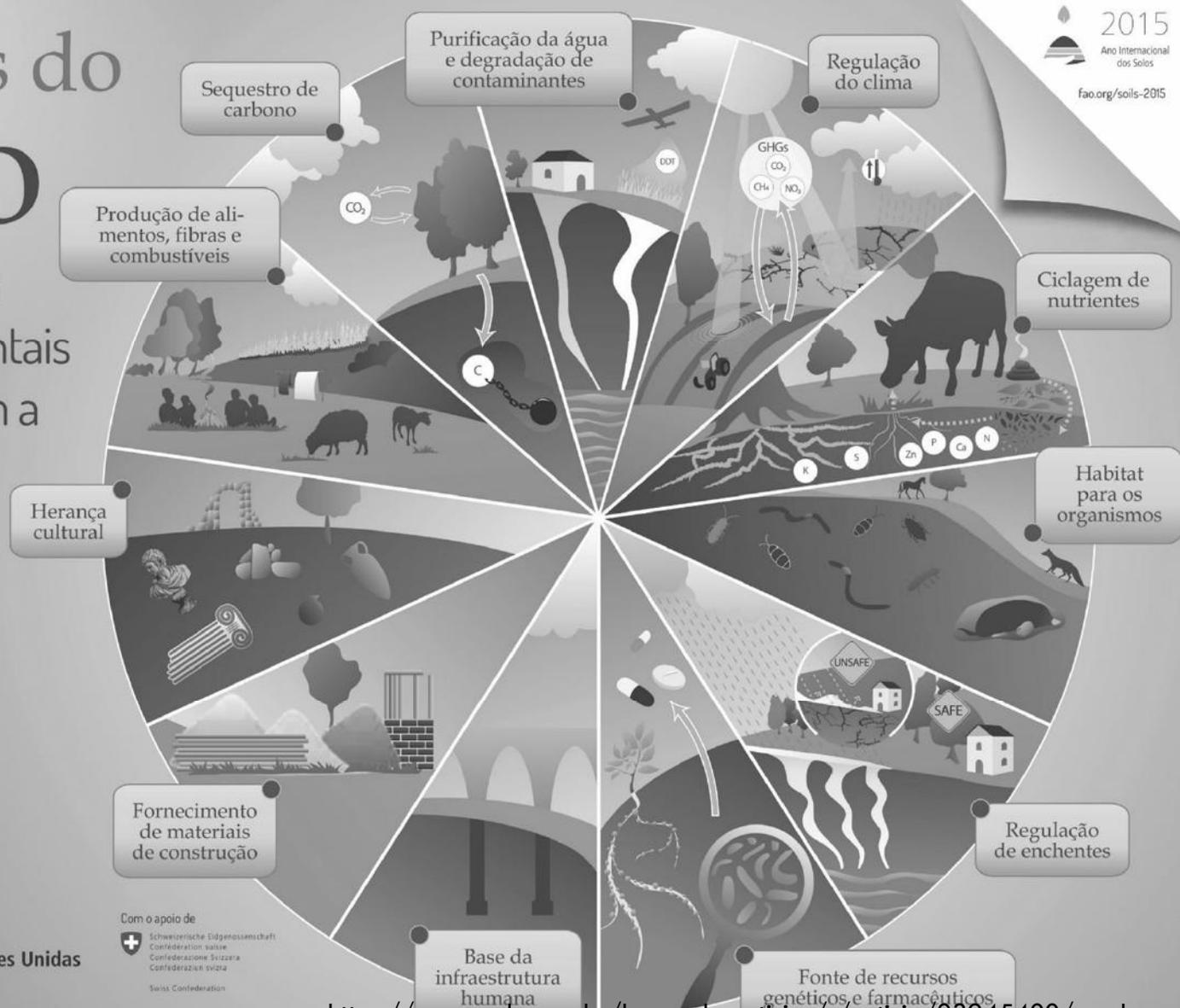
SOLO:

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



Funções do solo

Solos fornecem serviços ambientais que possibilitam a vida na Terra



2015
Ano Internacional dos Solos
fao.org/soils-2015

 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,
Innovation and Research EAIK
Federal Office for Agriculture FOAG

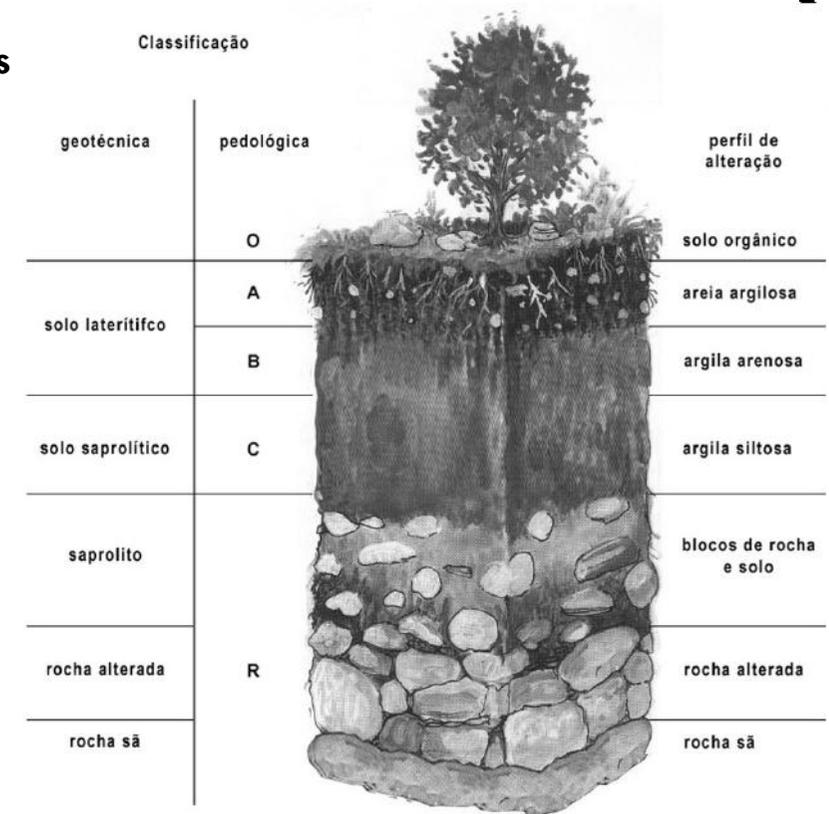
<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/23945400/o-solo-e-vivo-e-responsavel-pelos-servicos-ecossistemicos-necessarios-a-vida>

Por que é necessário conhecer como se forma o solo e águas subterrâneas e suas principais características?

- **Filtragem e depuração;**
- **Produção florestal e agrícola (cadeia alimentar);**
- **Herança cultural;**
- **Preservação genética e produção (biodiversidade);**
- **Infraestrutura (suporte e material para obras de engenharia);**
- **Fonte de matérias primas (bens minerais para indústria).**

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



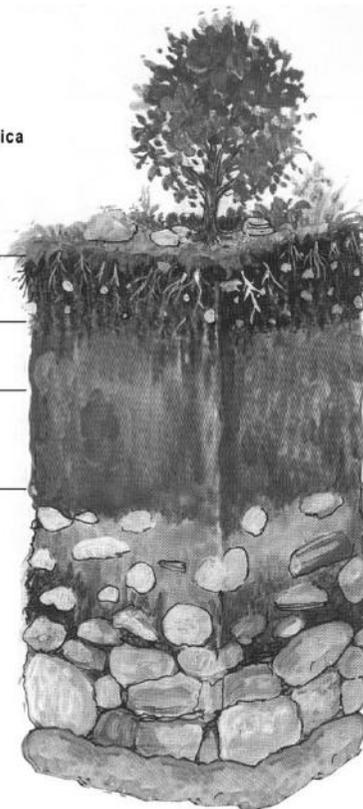
Perfil do solo hipotético

CONCEITO DE SOLO

► Apresenta diferentes significados para cada profissional atuante:

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



Agrônomo



Engenheiro Civil



Engenheiro de Minas

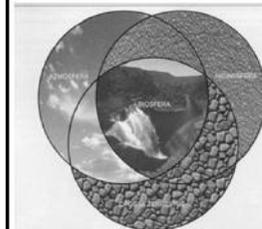


Economista



Fator de produção

Ecologista



CONCEITO DE SOLO

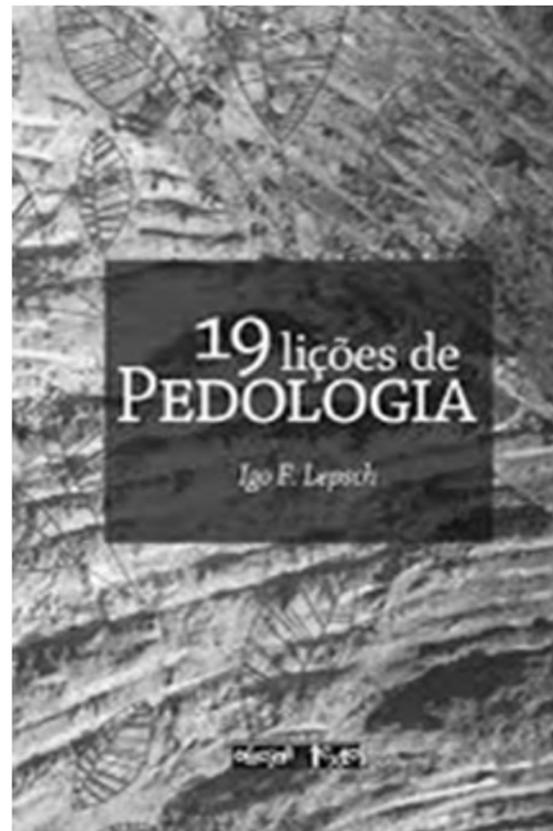
- ▶ Independente da abordagem, o mau uso do solo implica em problemas de grandes magnitudes!



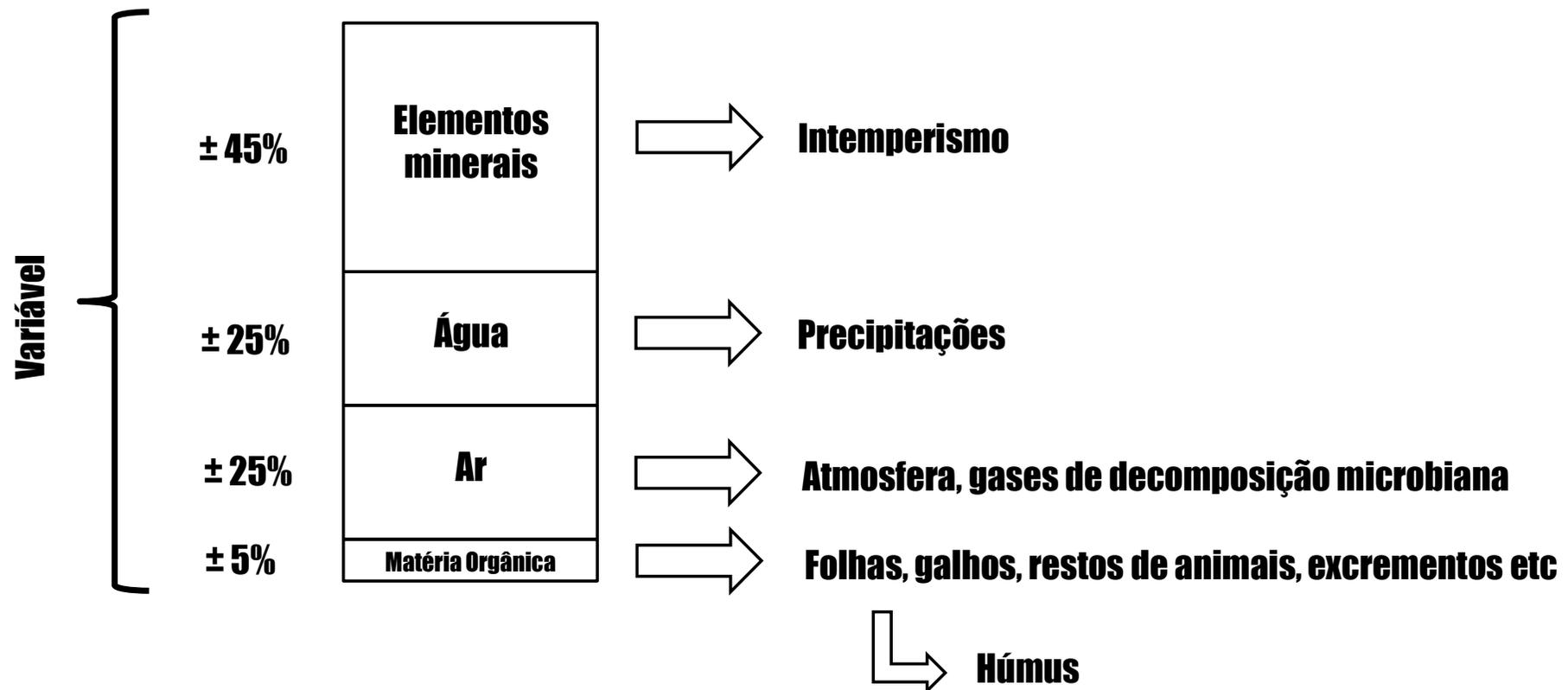
SOLO:

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

BOAS REFERÊNCIAS SOBRE SOLO:



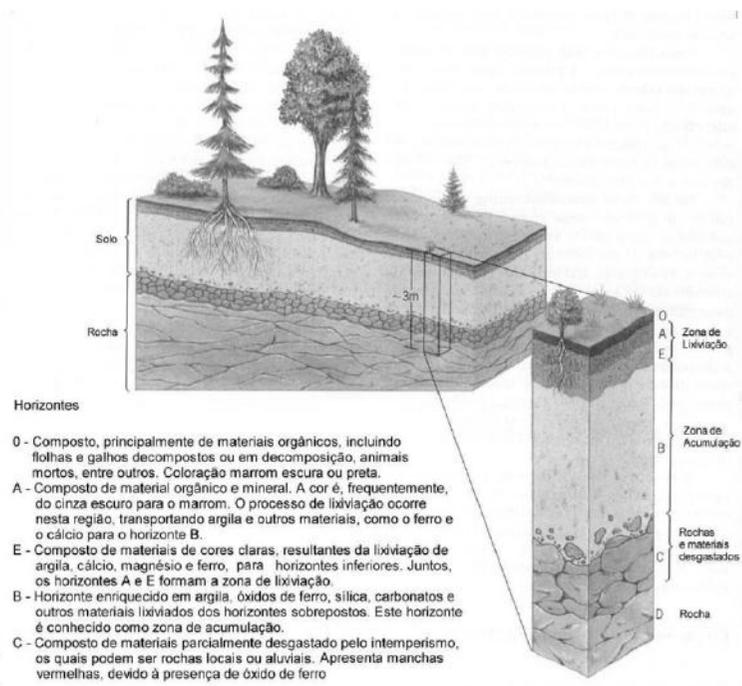
COMPOSIÇÃO DO SOLO



Constituição dos solos

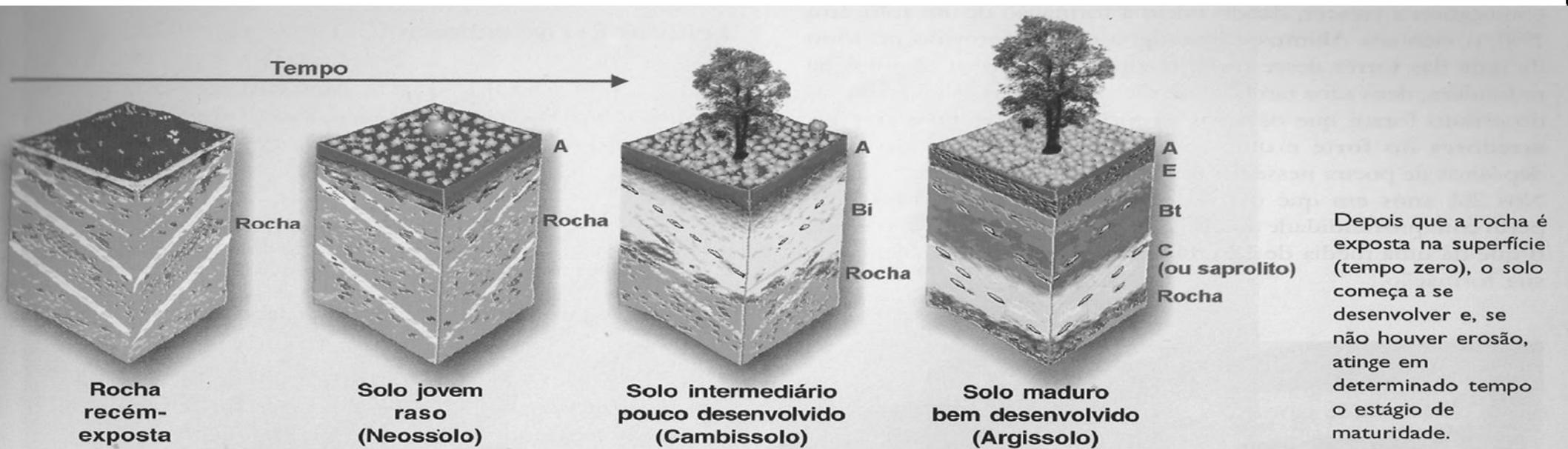
Os componentes inorgânicos compreendem:

- 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!



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

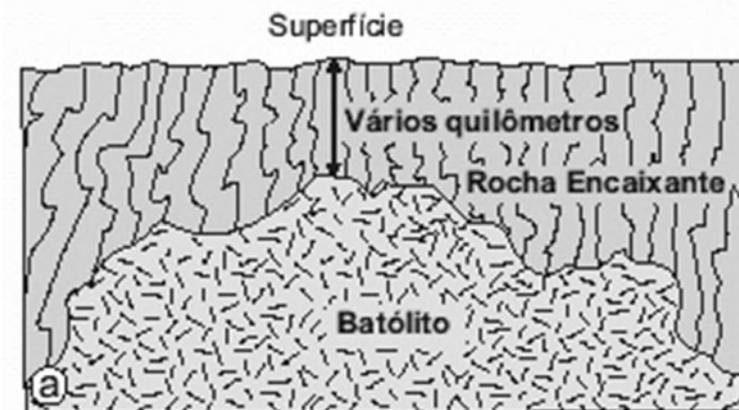
CONCEITO DE SOLO

- MANTO SUPERFICIAL FORMADO POR:

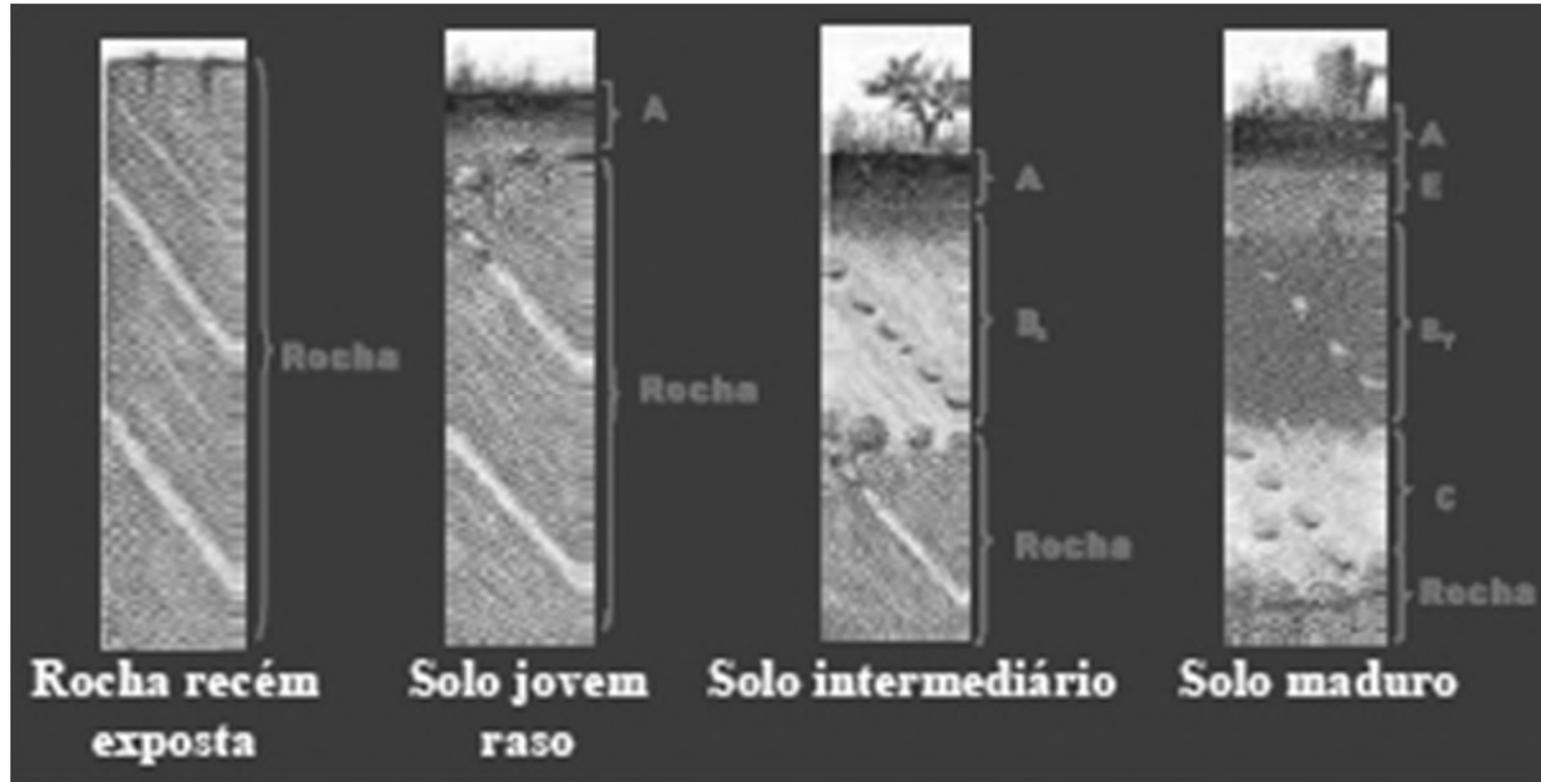


INTEMPERISMO

- ❖ Conjunto de modificações de ordem física e química que as rochas sofrem quando afloram na superfície terrestre.
- ❖ Seus produtos são a rocha alterada (alterita ou saprolito) e o solo.
- ❖ À espessura de rocha alterada + solo denomina-se manto de intemperismo ou de alteração.
- ❖ A pedogênese ou formação do solo ocorre na porção superior do manto de alteração, com a formação de minerais secundários (os argilominerais e os óxi-hidróxidos de ferro e alumínio).



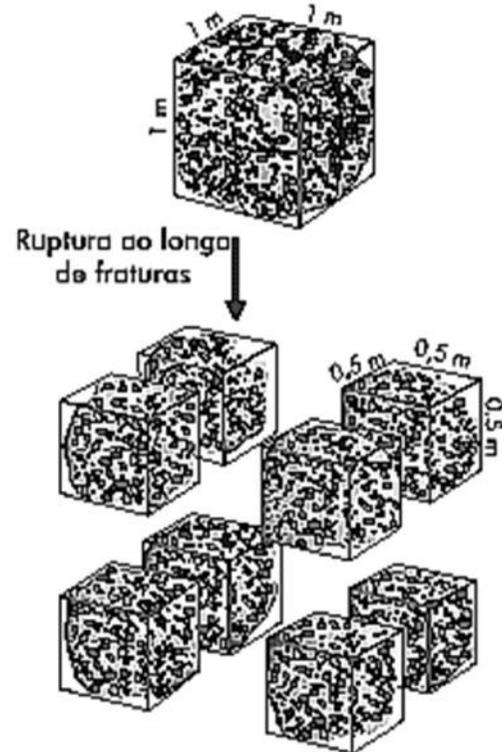
INTEMPERISMO



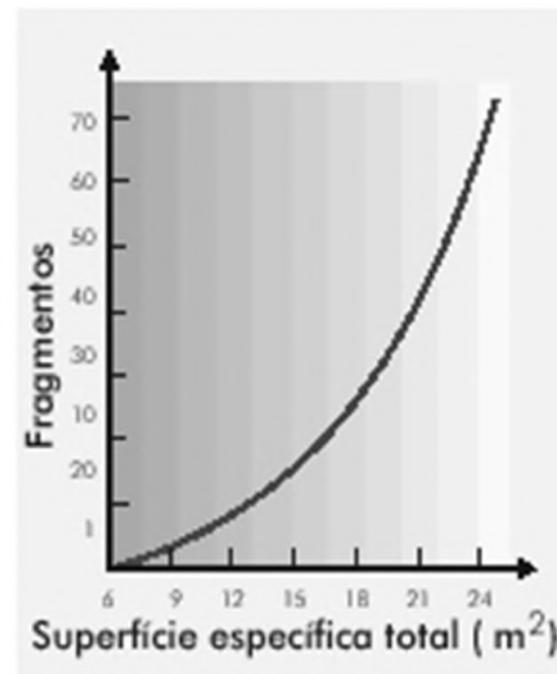
intemperismo físico facilita o intemperismo químico

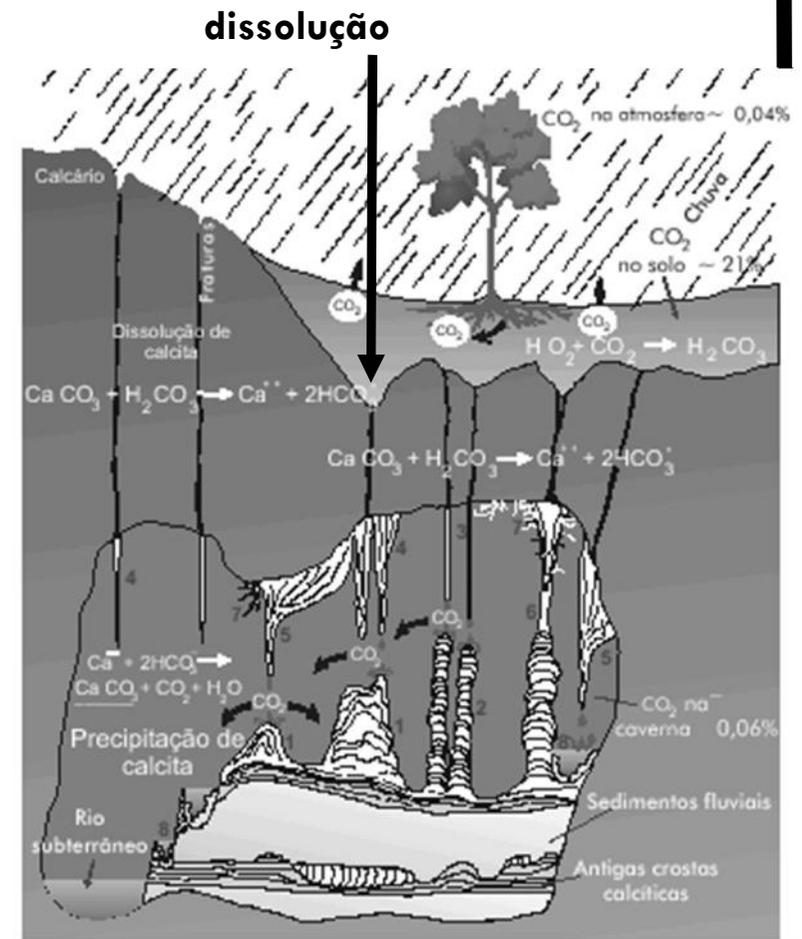
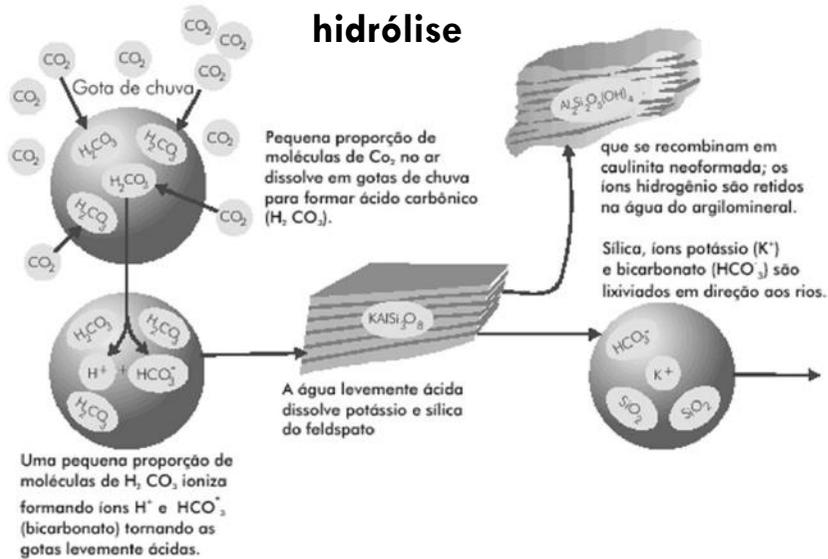
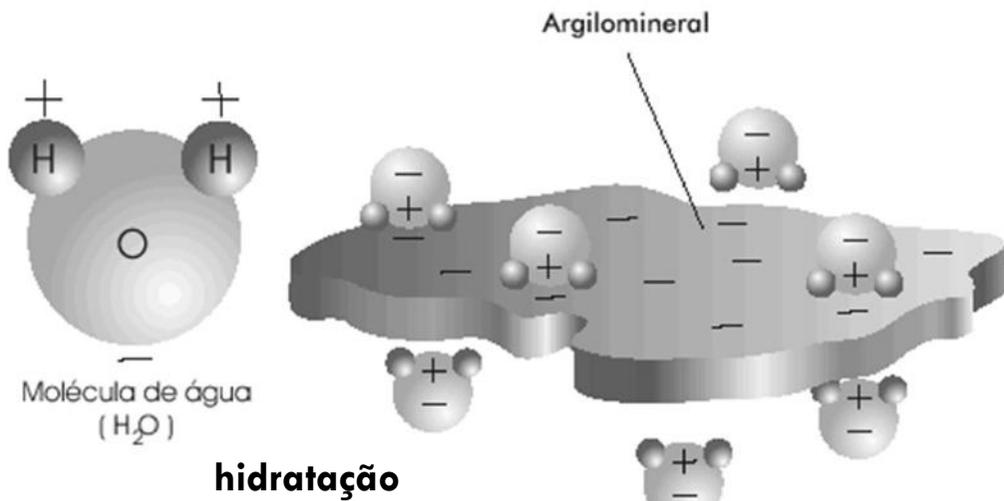
- Volume = 1 m^3

- Superfície específica = 6 m^2



Modificação da composição química e estrutura cristalina dos minerais





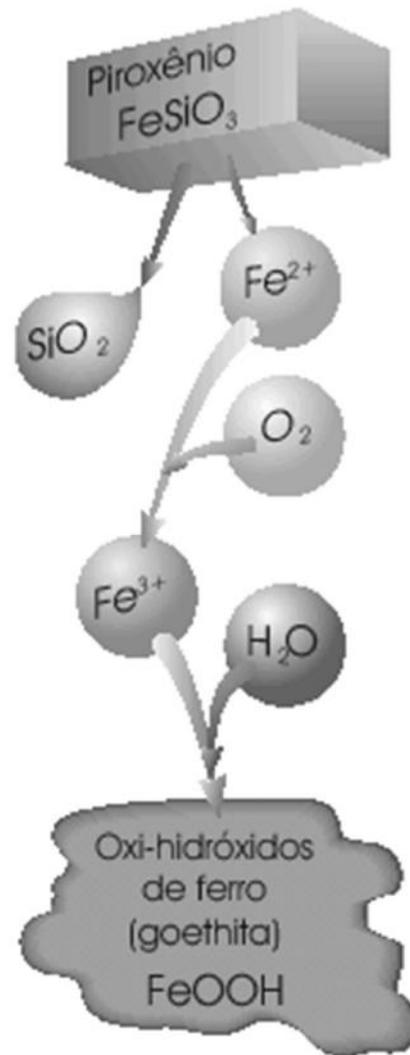
Ação da água

Ação do ar

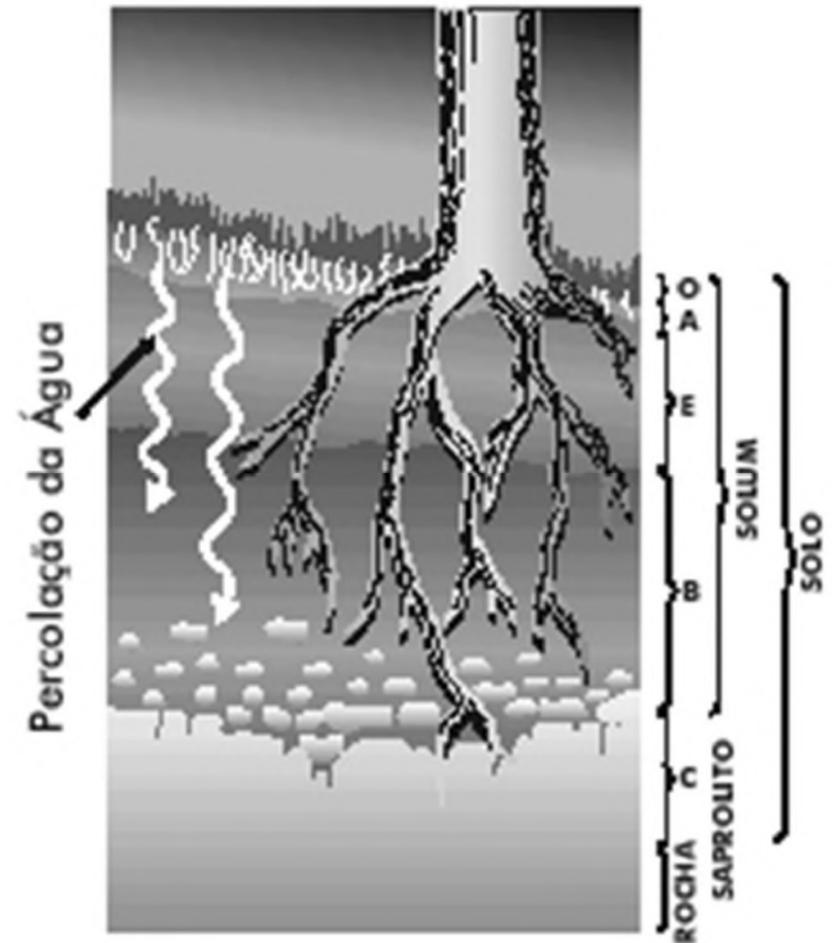
Piroxênio rico em ferro, libera sílica e íons ferrosos para a solução.

Ferro ferroso é oxidado pelas moléculas de oxigênio, formando ferro férrico.

Ferro férrico combina com água precipitando produtos ferruginosos.



Ação da vegetação



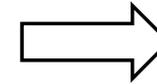
Fonte: Teixeira et al. 2000

FORMAÇÃO

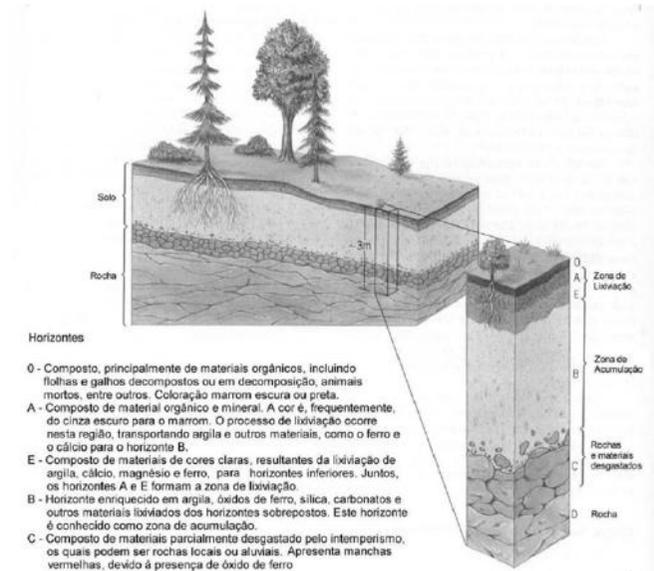
• RESULTADO DA AÇÃO DE CINCO FATORES:

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

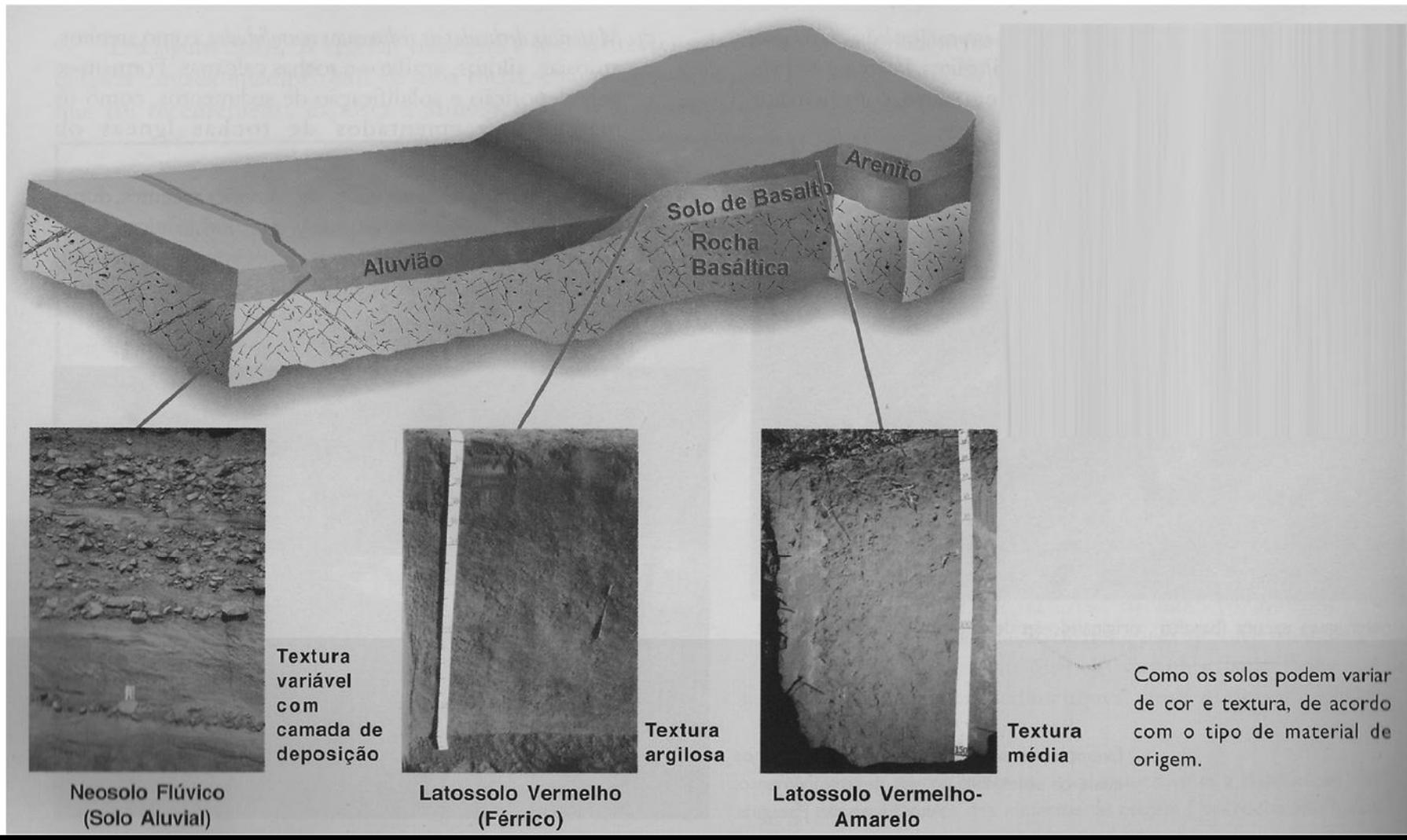
Estágios de
sucessão



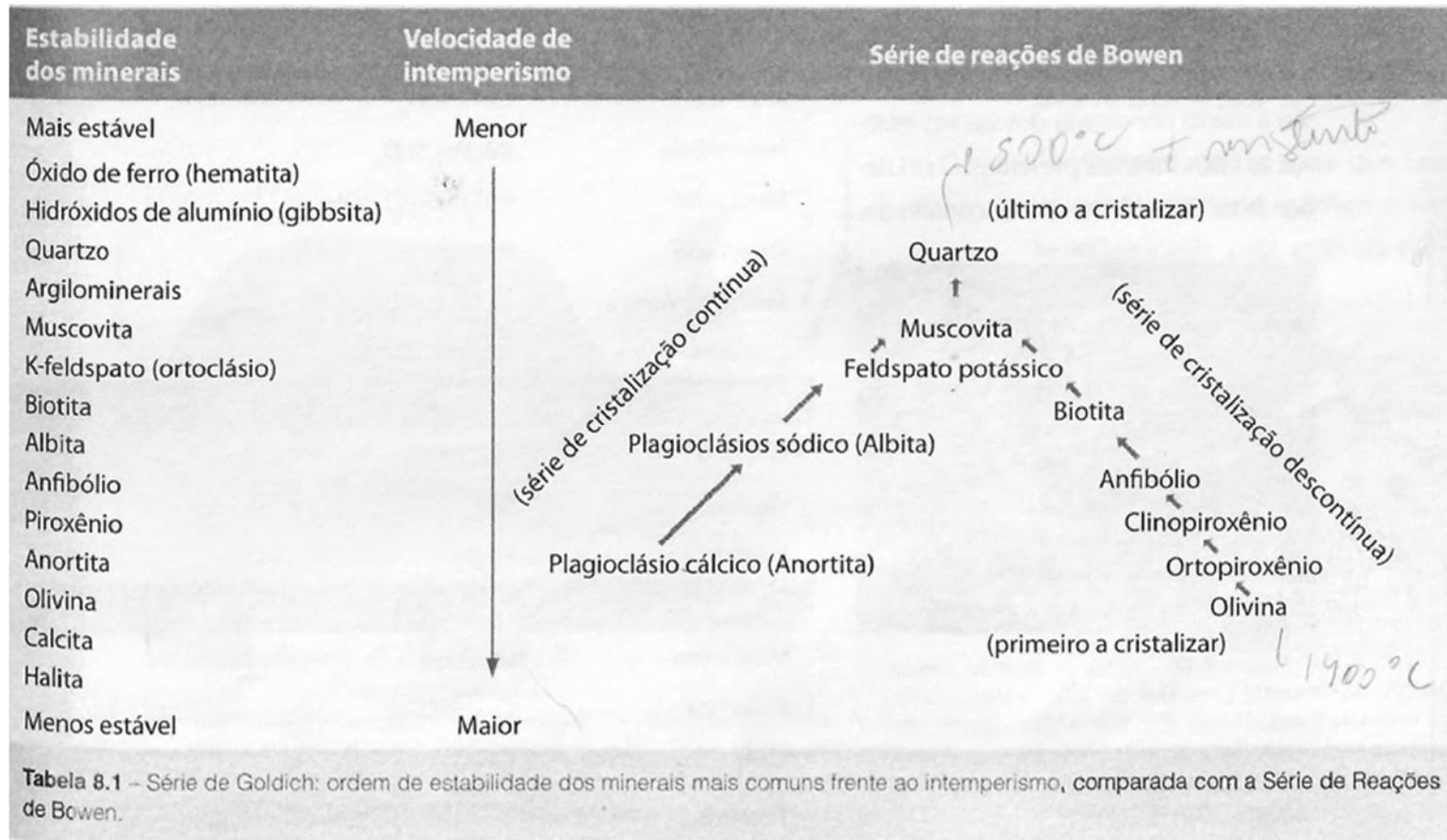
Horizontes do
solo



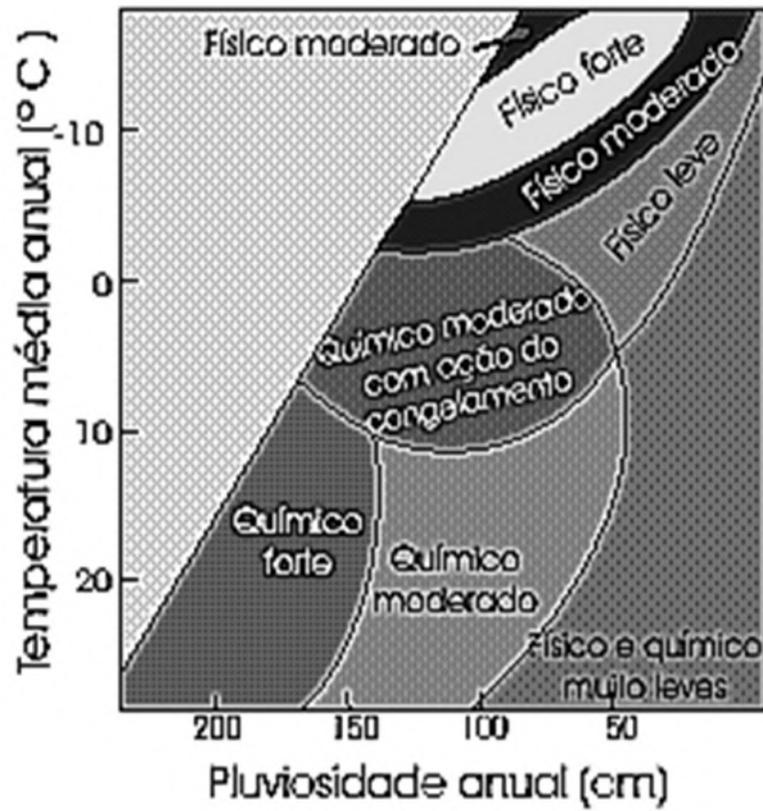
Rocha matriz ou material parental



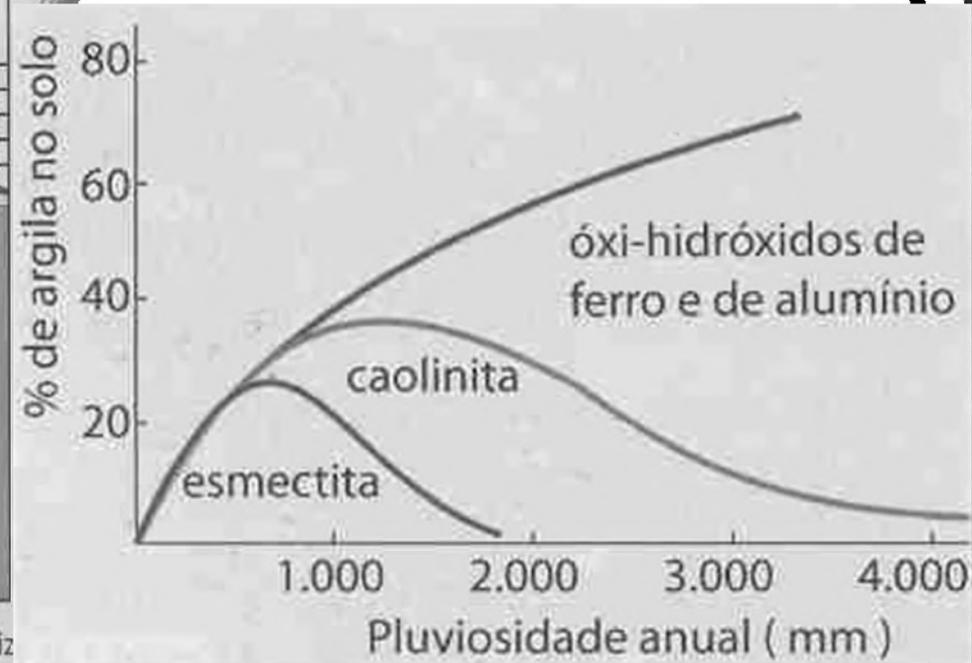
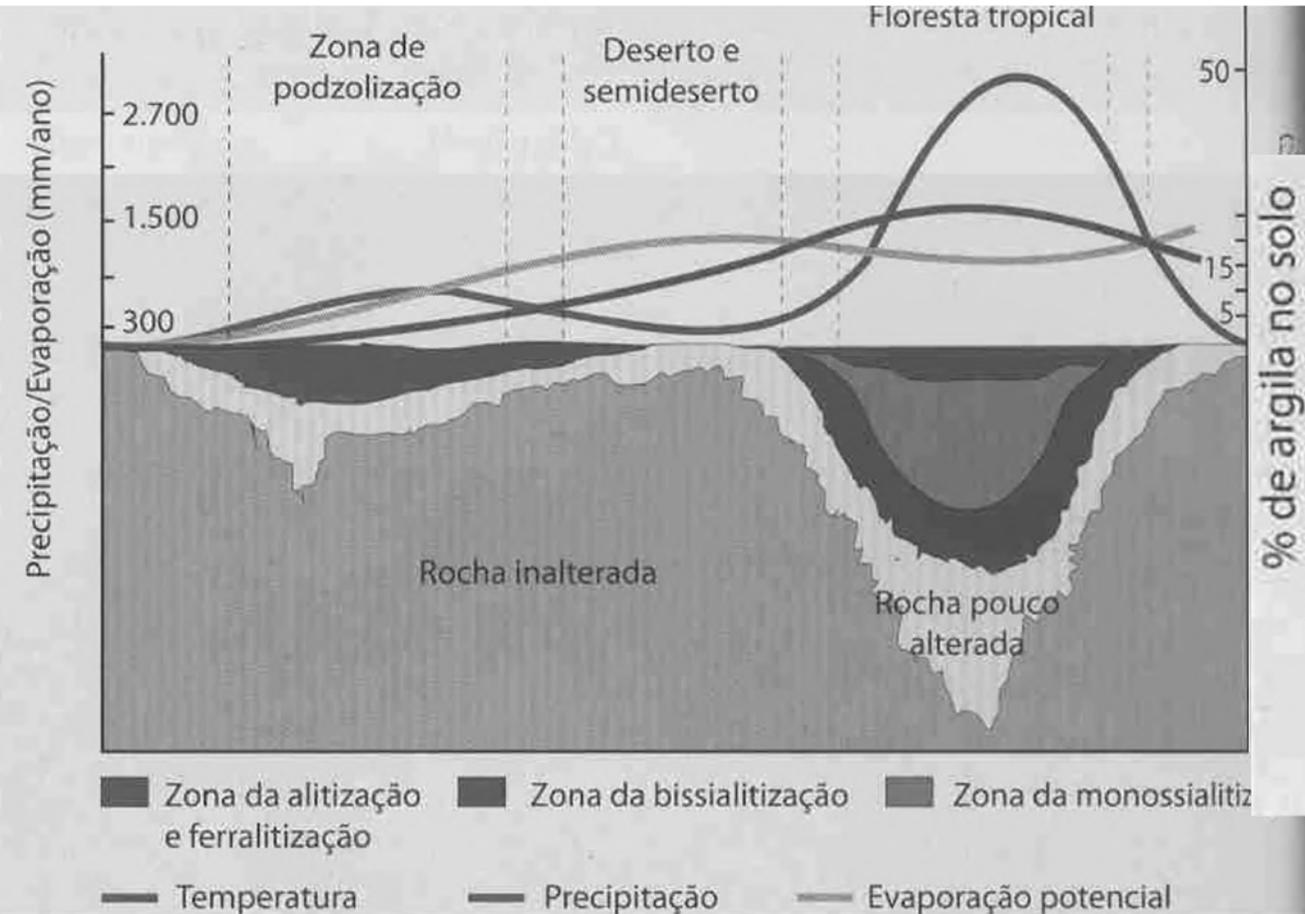
minerais constituintes: material parental



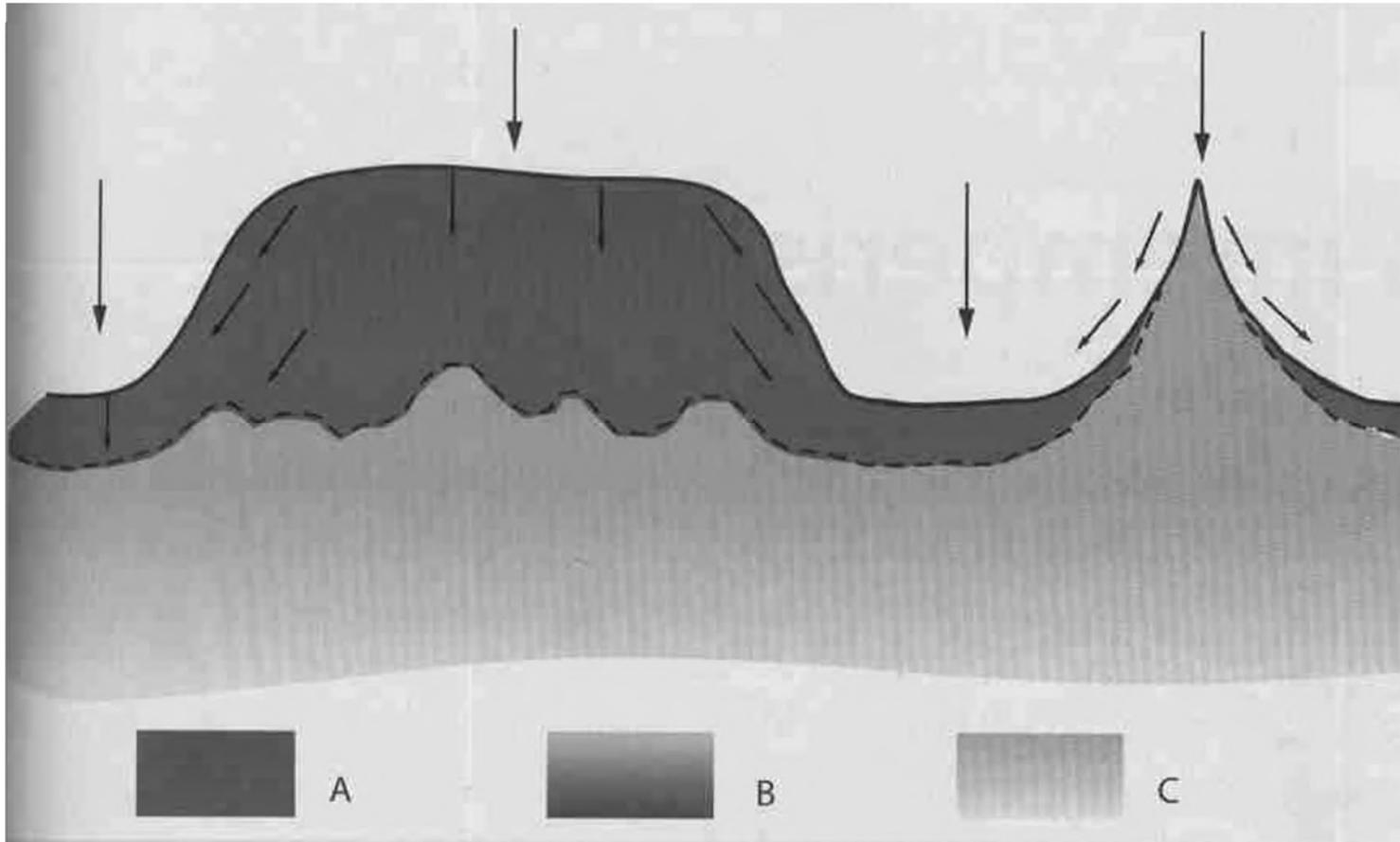
Clima



Clima



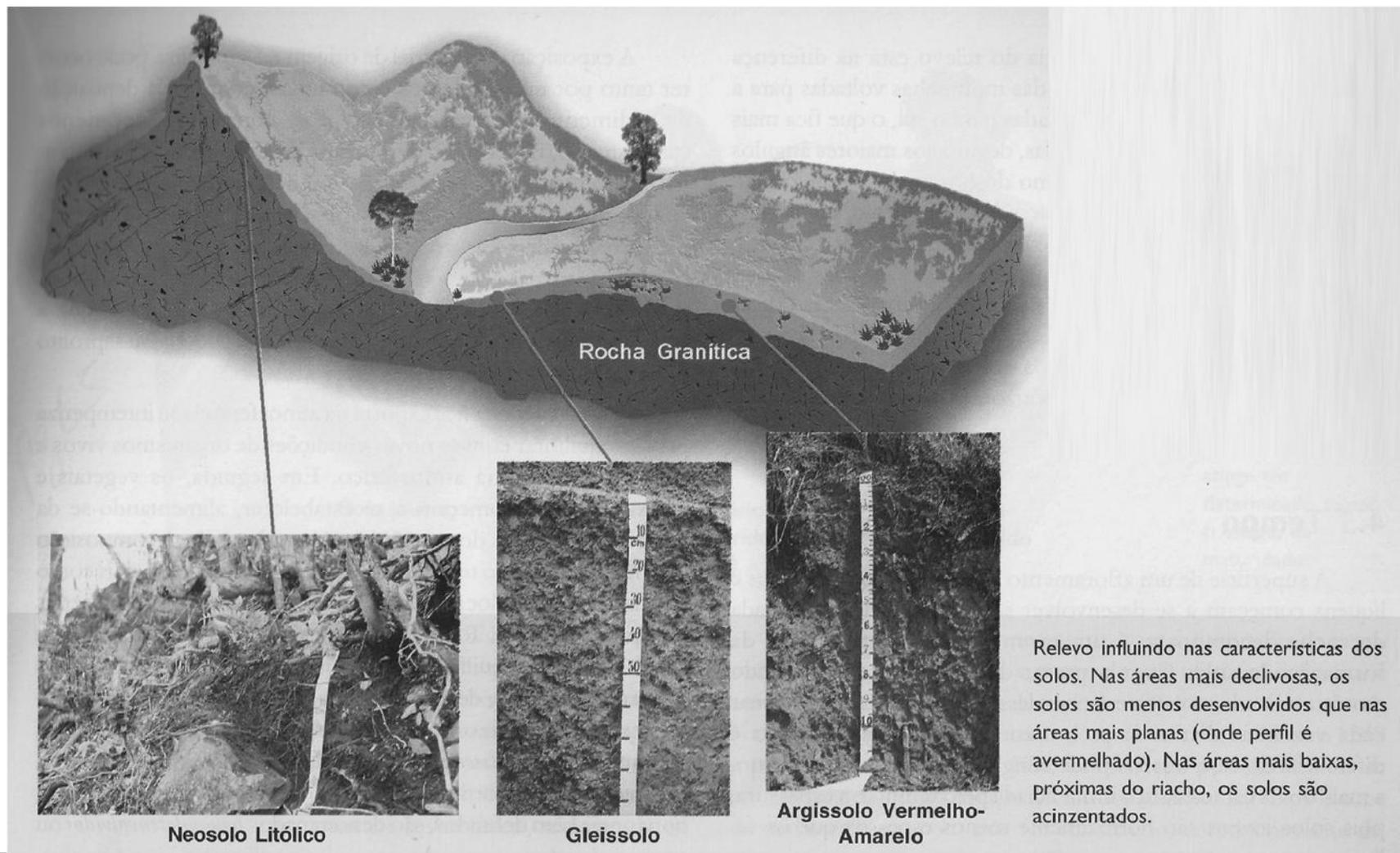
Topografia



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

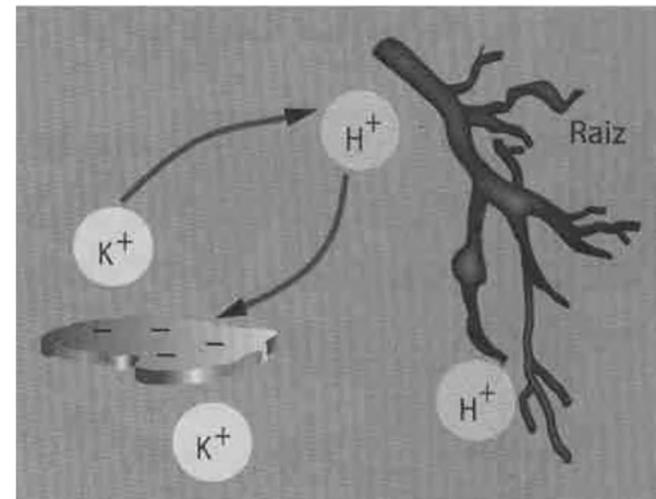
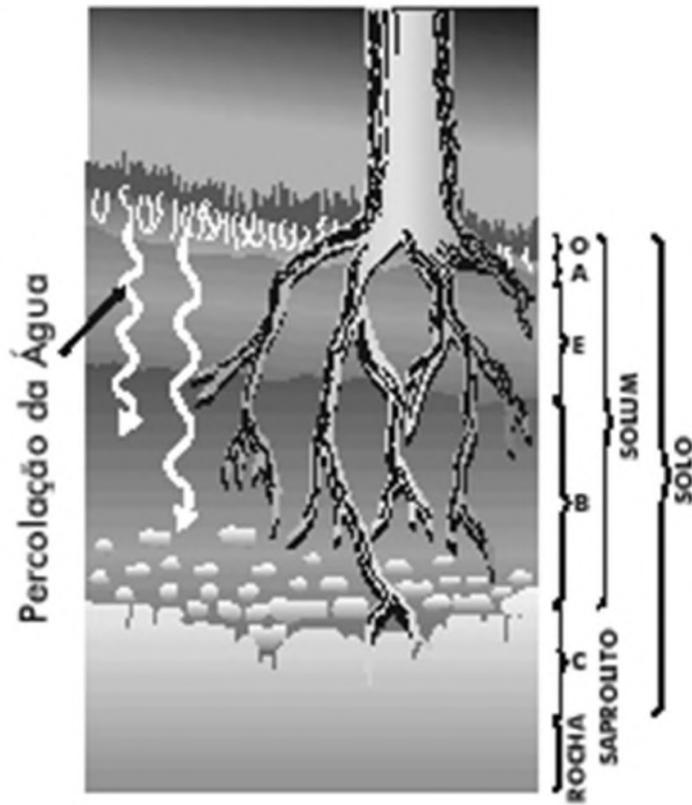
Fonte: Teixeira et al. 2009

Topografia



Fonte: Lepsch, 2000

Biosfera

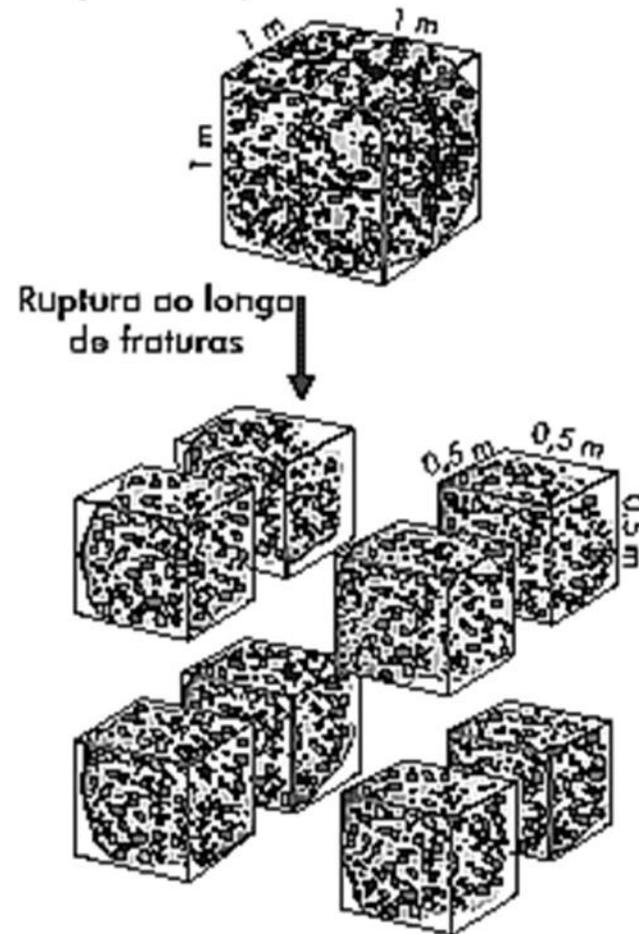


Fonte: Teixeira et al. 2009

Desagregação da rocha

- Volume = 1 m^3

- Superfície específica = 6 m^2



Fonte: Teixeira et al. 2000

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

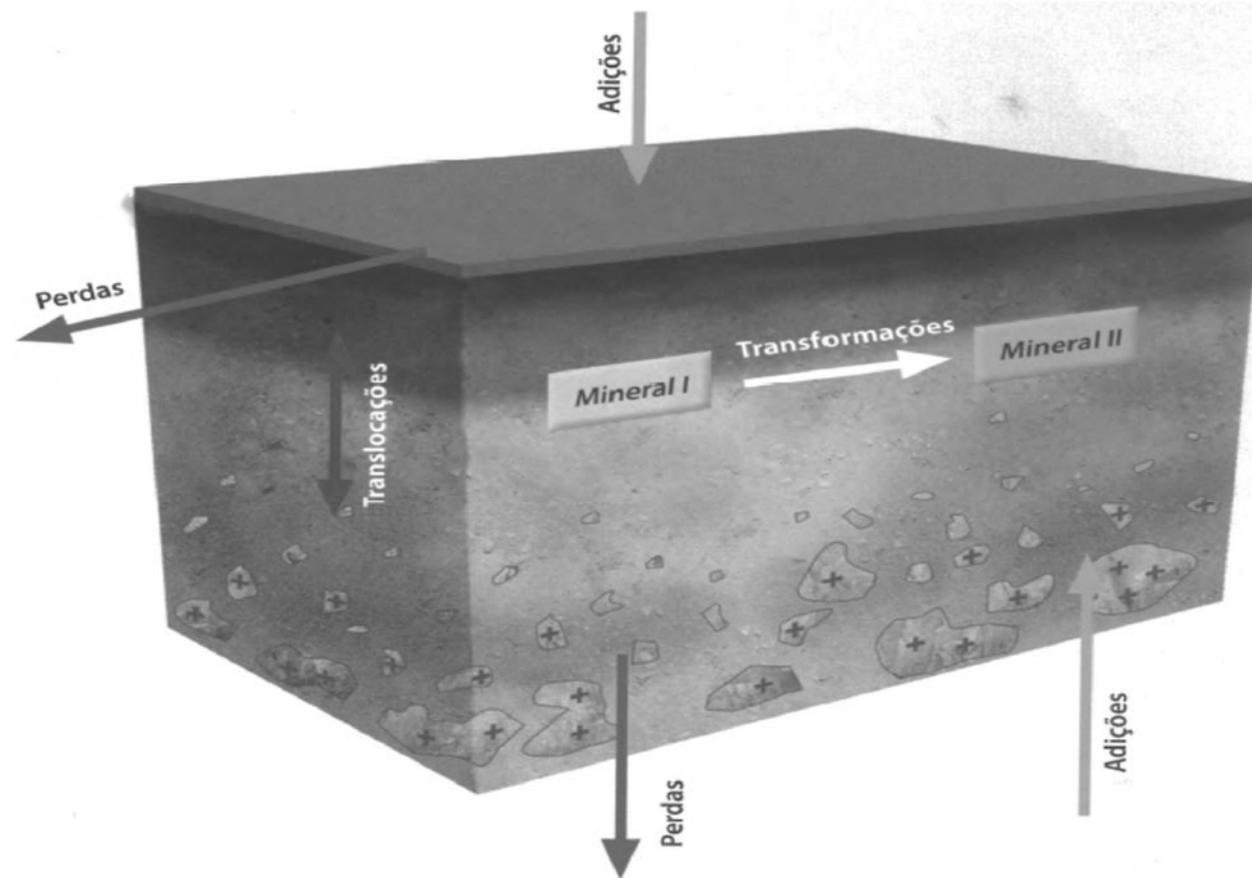


Figura 8.26 – Principais mecanismos envolvidos na formação de um solo.

Reações do intemperismo químico

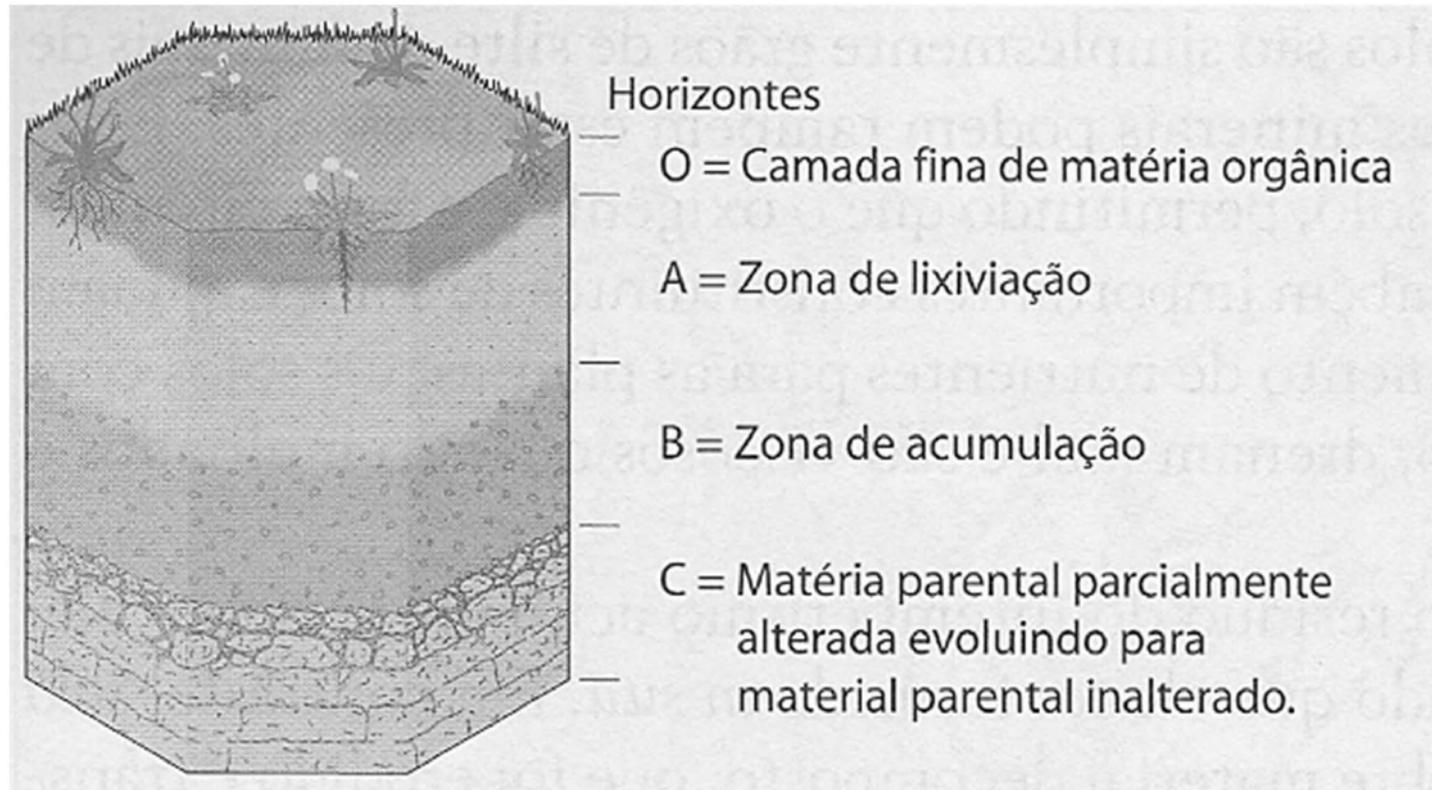
mineral I + solução de alteração = mineral II + solução de lixiviação

Solução de alteração = águas pluviais

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

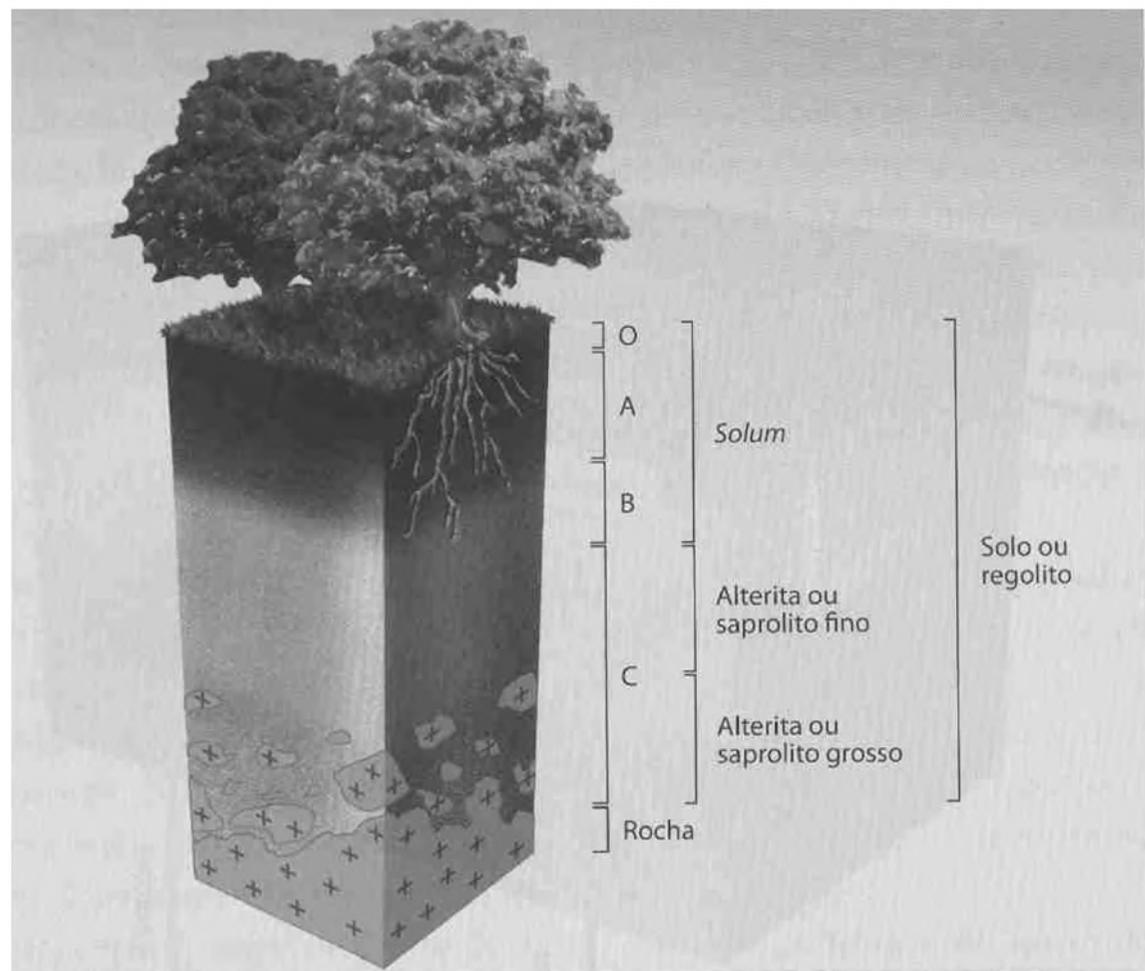
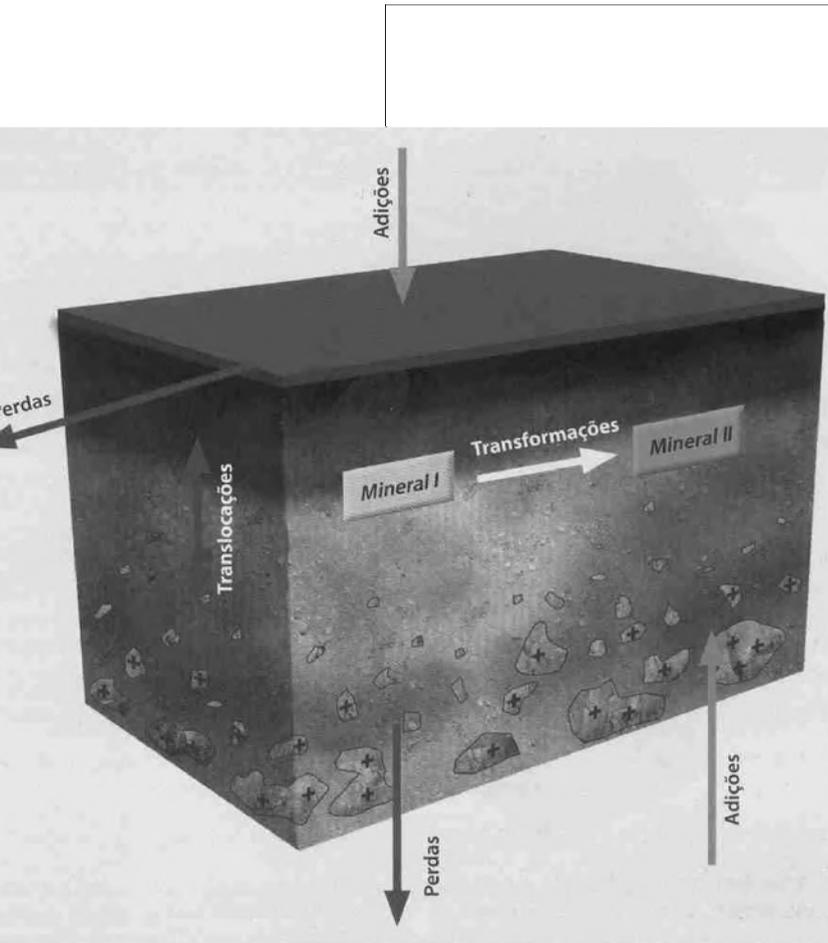


Produtos



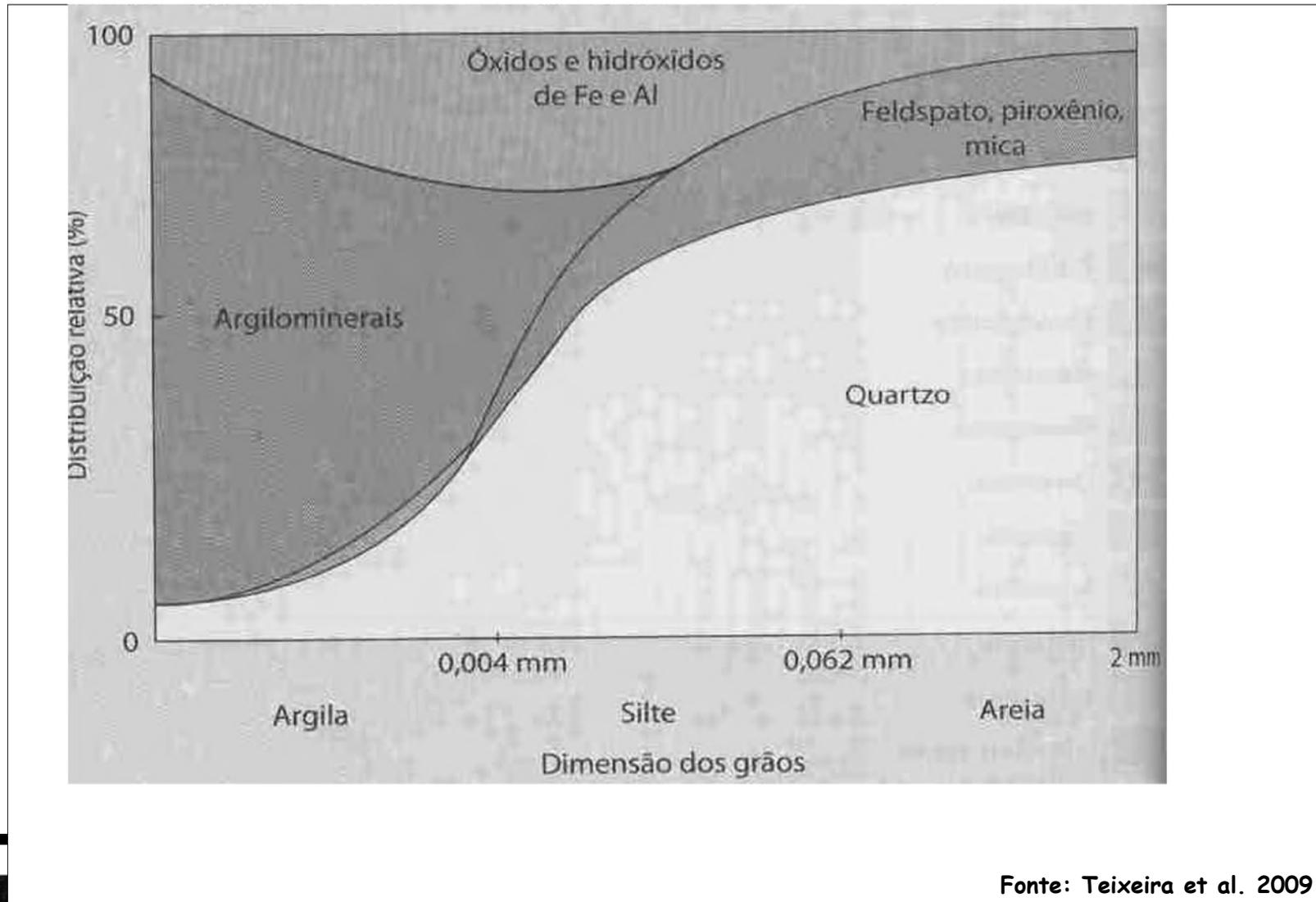
Fonte: Wicander e Monroe 2009

Produtos



Fonte: Teixeira et al. 2009

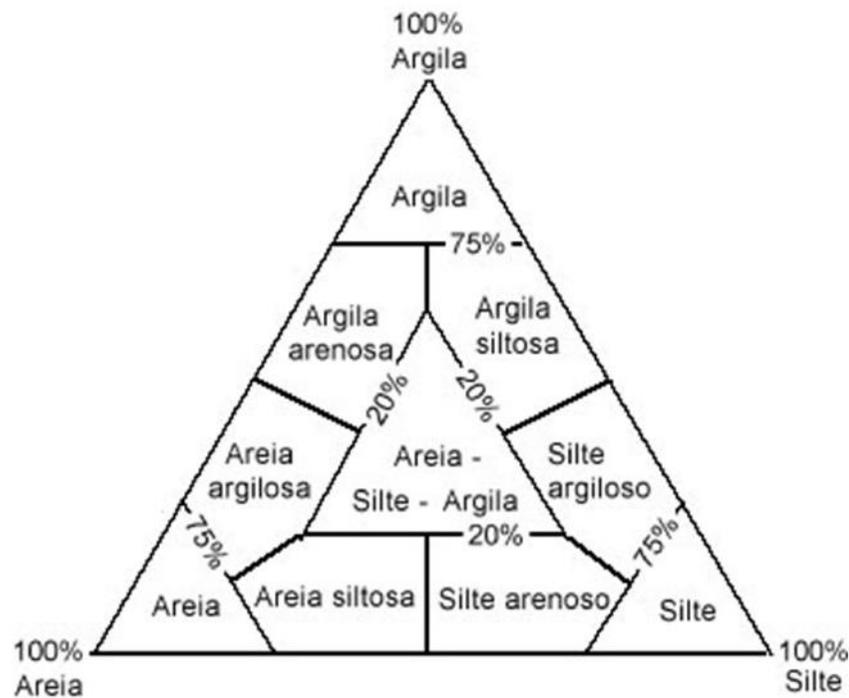
Produtos



Fonte: Teixeira et al. 2009

Caracterização e Classificação de solos

Classificação granulométrica – determinação do tamanho das partículas



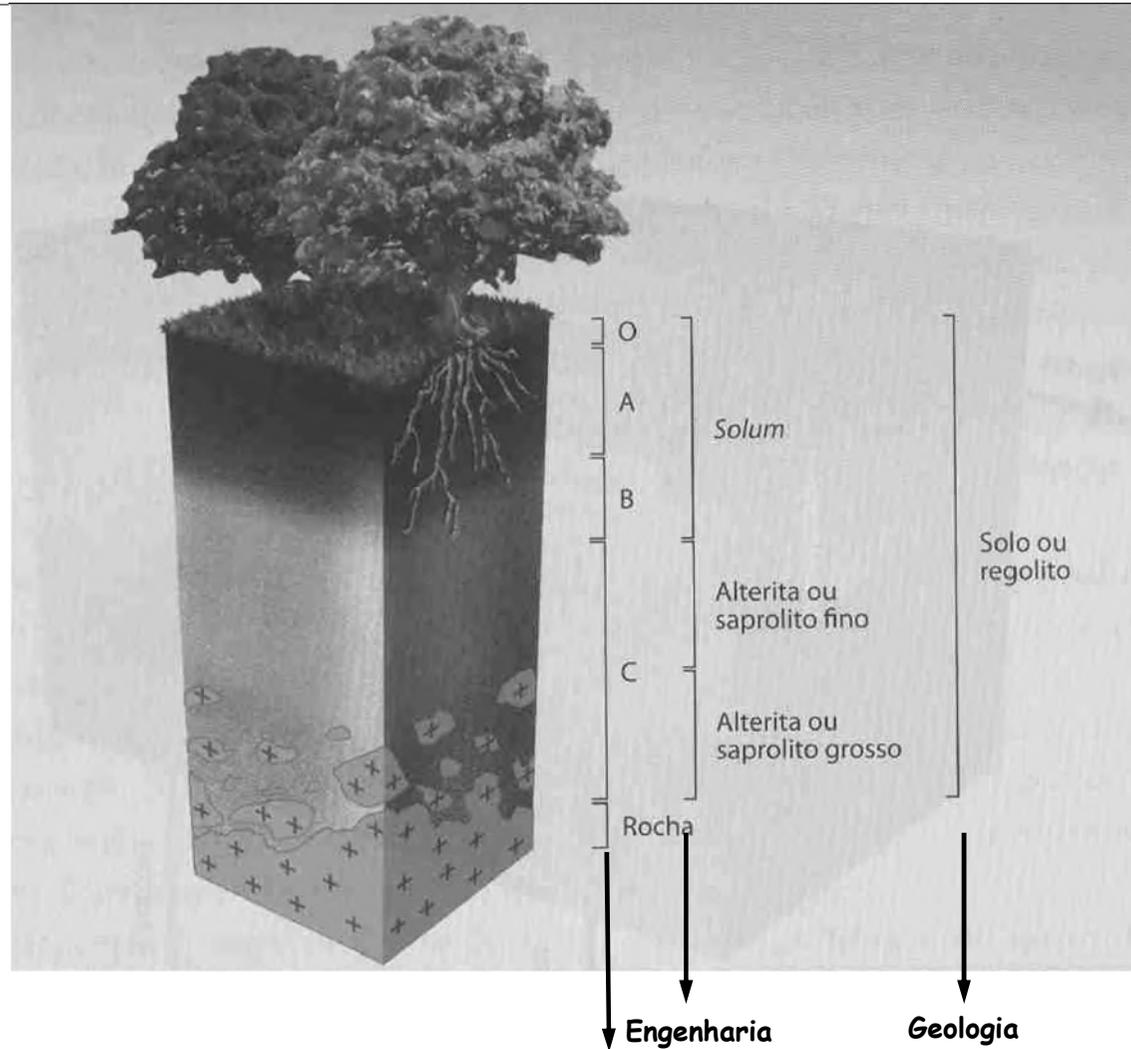
SOLO:

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

SOLO:

- **SOLO: CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA – AGRONOMIA**

SOLO

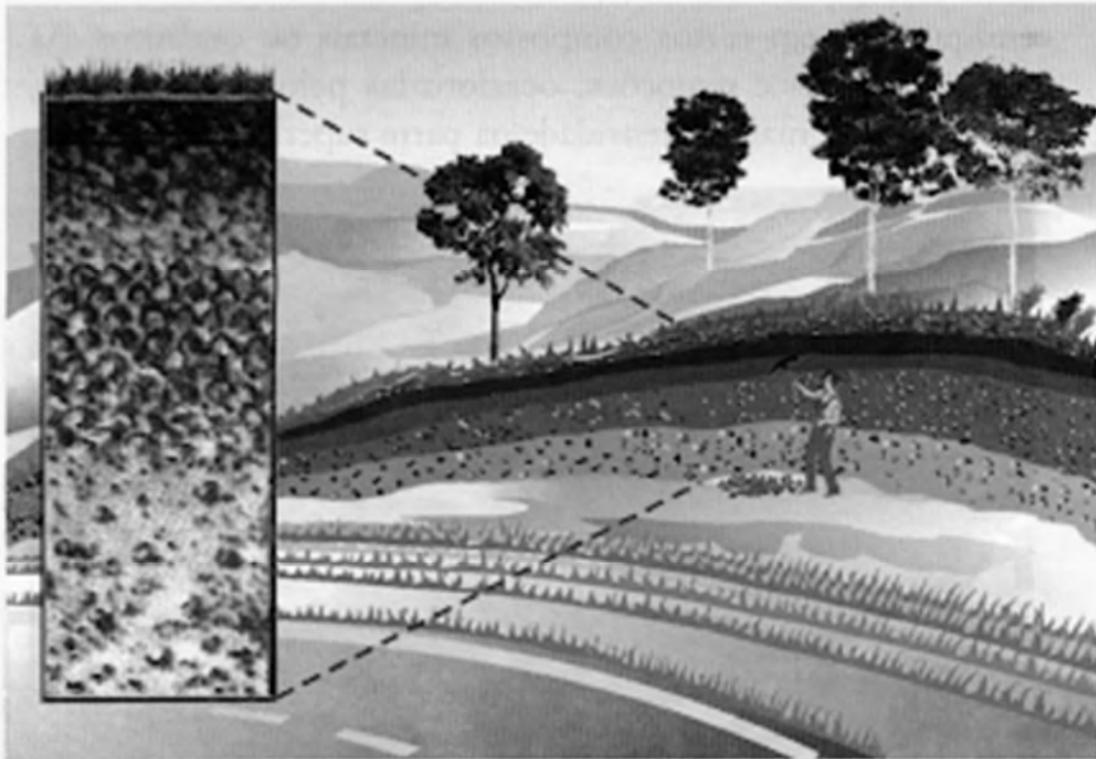


Agronomia

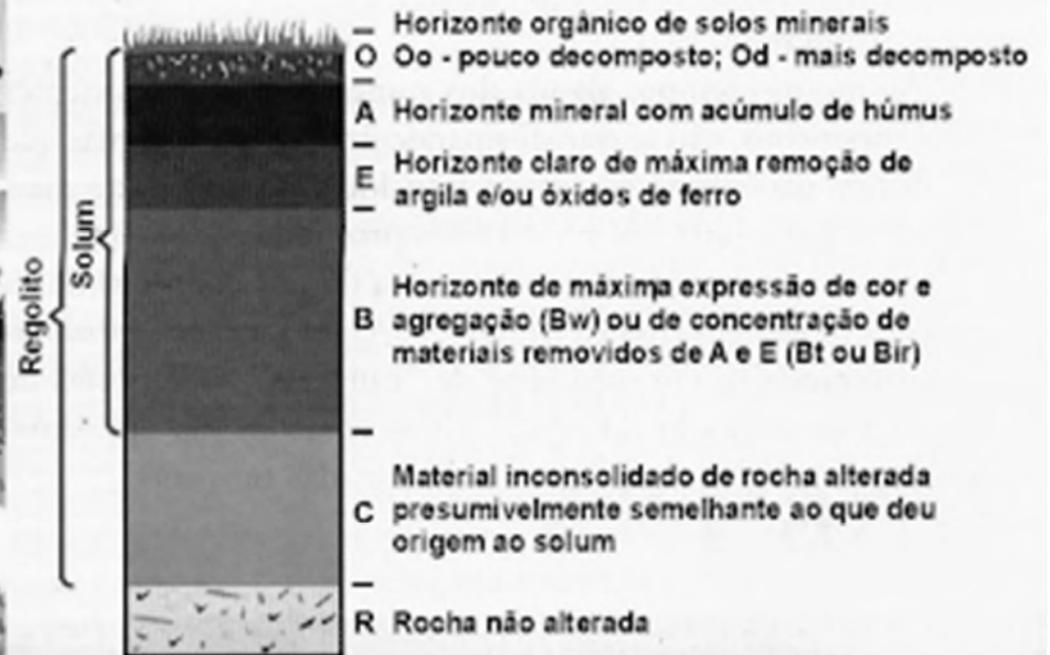
Engenharia

Geologia

Fonte: Teixeira et al. 2009



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. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F.

Resumo: Definição de solo. Capítulo 1: Atributos diagnósticos e outros atributos. Capítulo 2: Horizontes diagnósticos superficiais e horizontes diagnósticos subsuperficiais. Capítulo 3: Níveis categóricos do sistema, nomenclatura das classes, bases e critérios, conceito e definição das classes do 1º nível categórico (ordens). Capítulo 4: Classificação dos solos até o 4º nível categórico. Capítulo 5: Argissolos. Capítulo 6: Cambissolos. Capítulo 7: Chernossolos. Capítulo 8: Espodossolos. Capítulo 9: Gleissolos. Capítulo 10: Latossolos. Capítulo 11: Luvisolos. Capítulo 12: Neossolos. Capítulo 13: Nitossolos. Capítulo 14: Organossolos. Capítulo 15: Planossolos. Capítulo 16: Plintossolos. Capítulo 17: Vertissolos. Capítulo 18: Definições provisórias para 5º e 6º níveis categóricos (famílias e séries). Capítulo 19: Critérios para distinção de fases de unidades de mapeamento.

Ano de publicação: 2018

Tipo de publicação: Livros

(

N

-

S

d

g

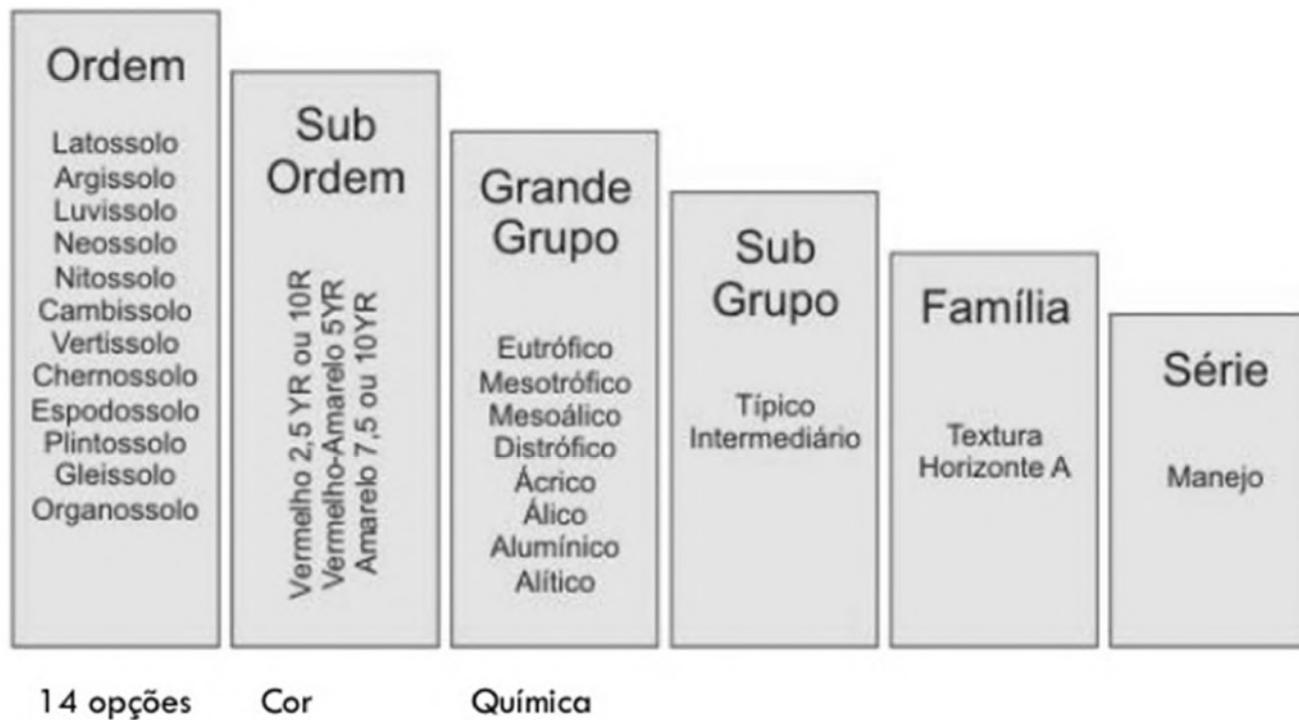
F

s

F

d

Classificação Brasileira de Solos



O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada.

Tweetar

Compartilhar 189



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



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

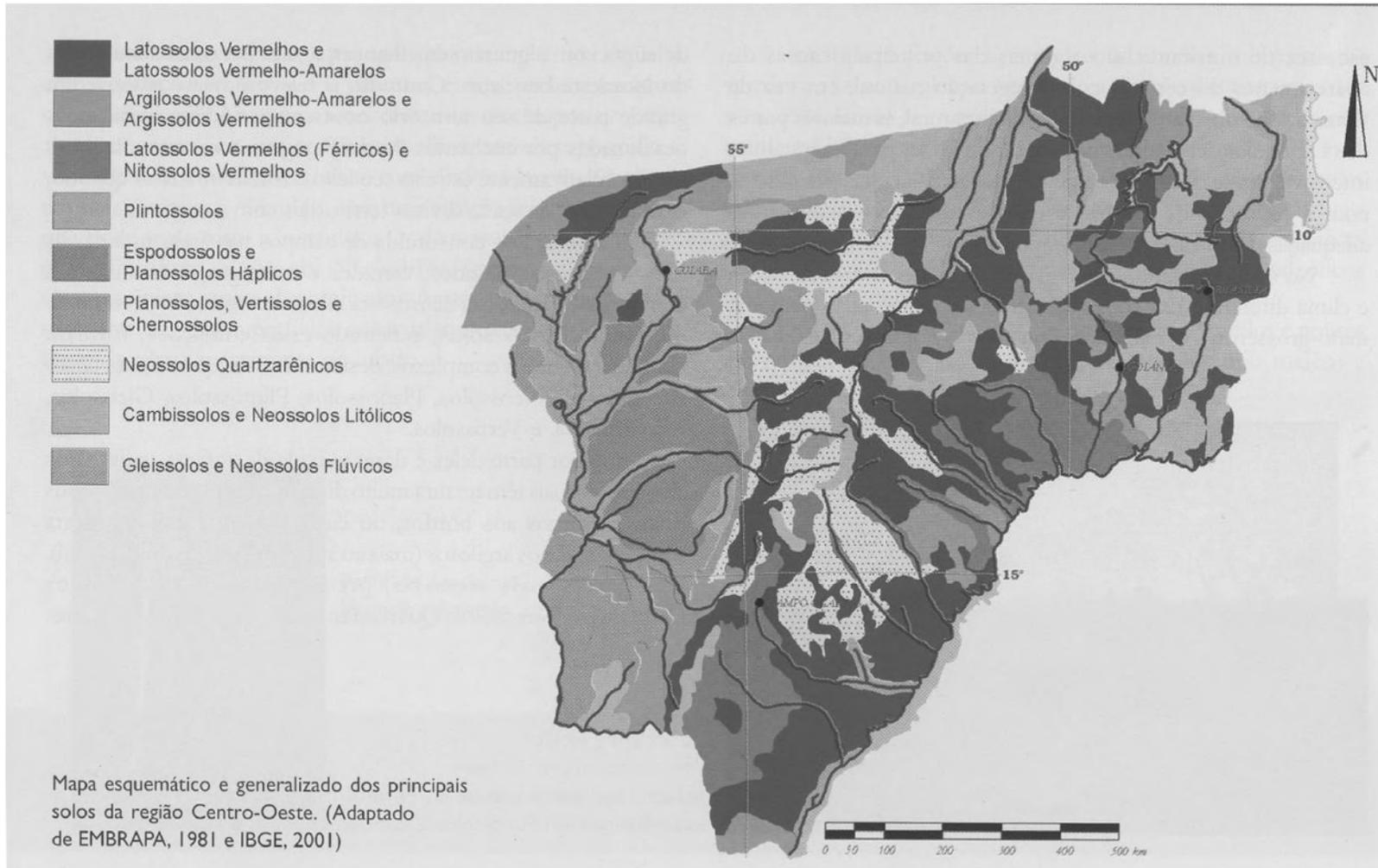
<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/920267/o-novo-mapa-de-solos-do-brasil-legenda-atualizada>



LEGENDA

- ARGISSOLOS
- CAMBISSOLOS
- CHERNOSSOLOS
- ESPODOSSOLOS
- GLEISSOLOS
- LATOSSOLOS
- LUVISSOLOS
- NEOSSOLOS
- NITOSSOLOS
- PLANOSSOLOS
- PLINTOSSOLOS
- ORGANOSSOLOS
- VERTISSOLOS

Solos na região Centro Oeste



Fonte: Lepsch 2002

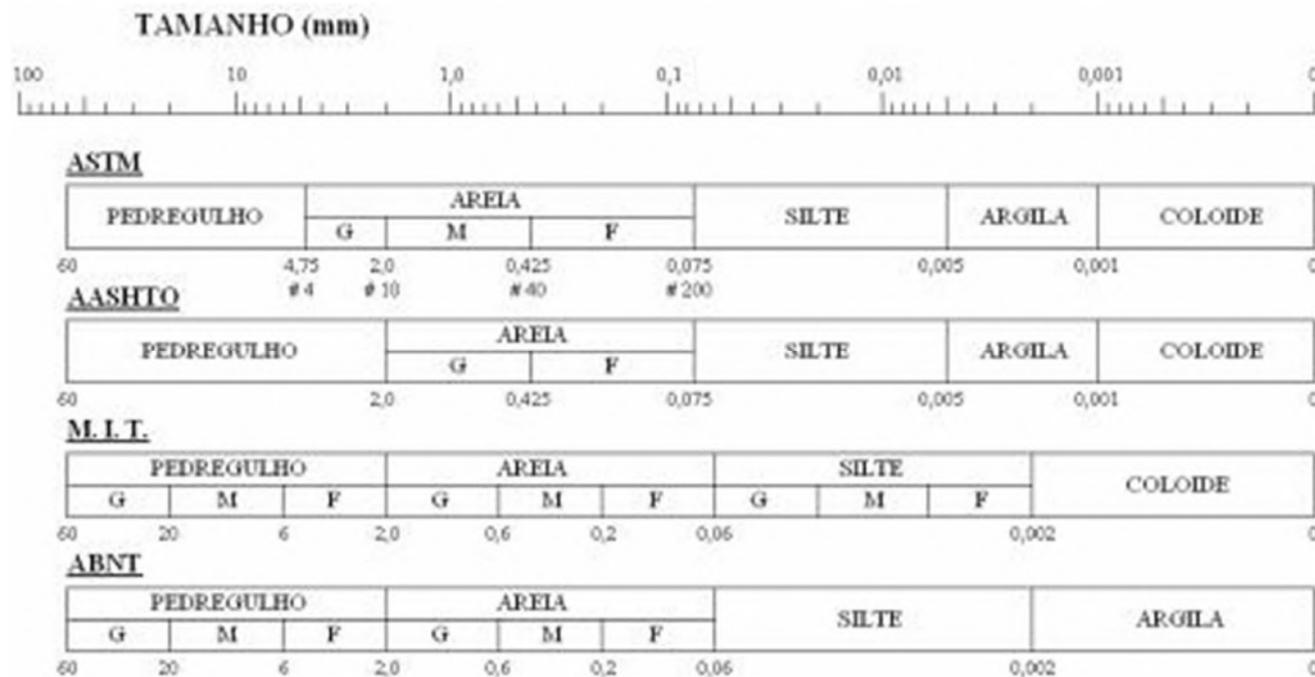
SOLO:

- **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*

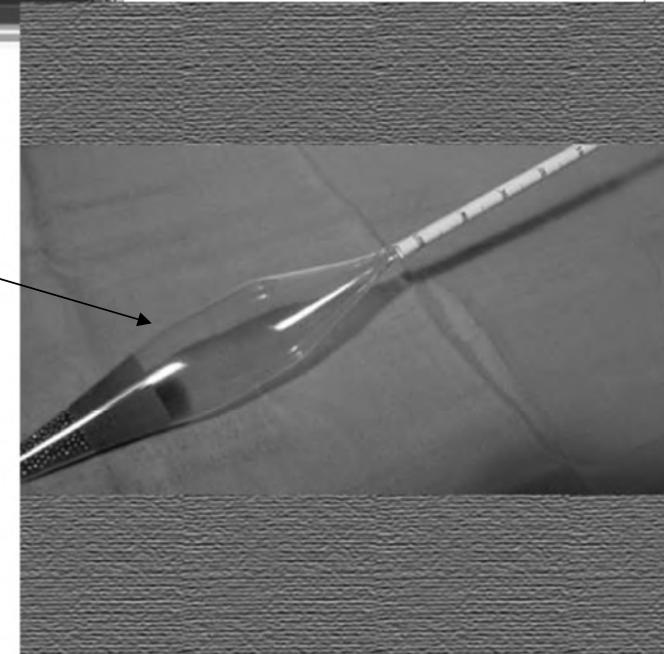
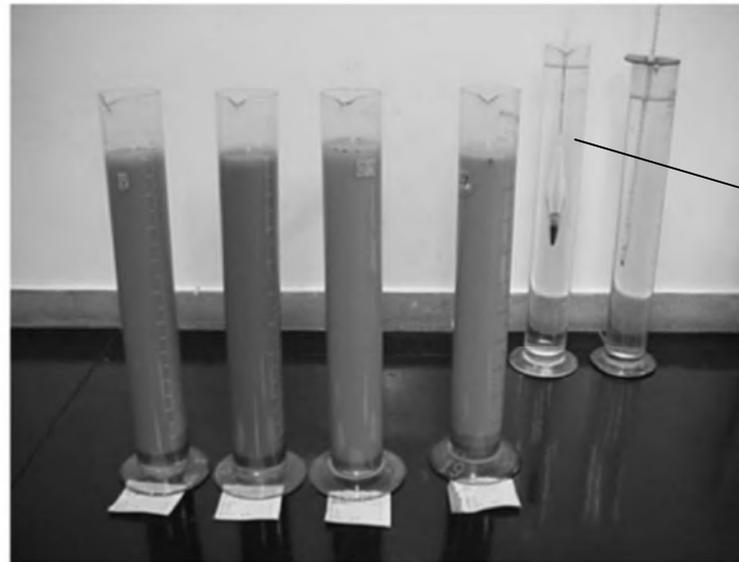
Peso da amostra seca: 1490,8g

100 - P_{ss}
% - (P_{ss} - 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

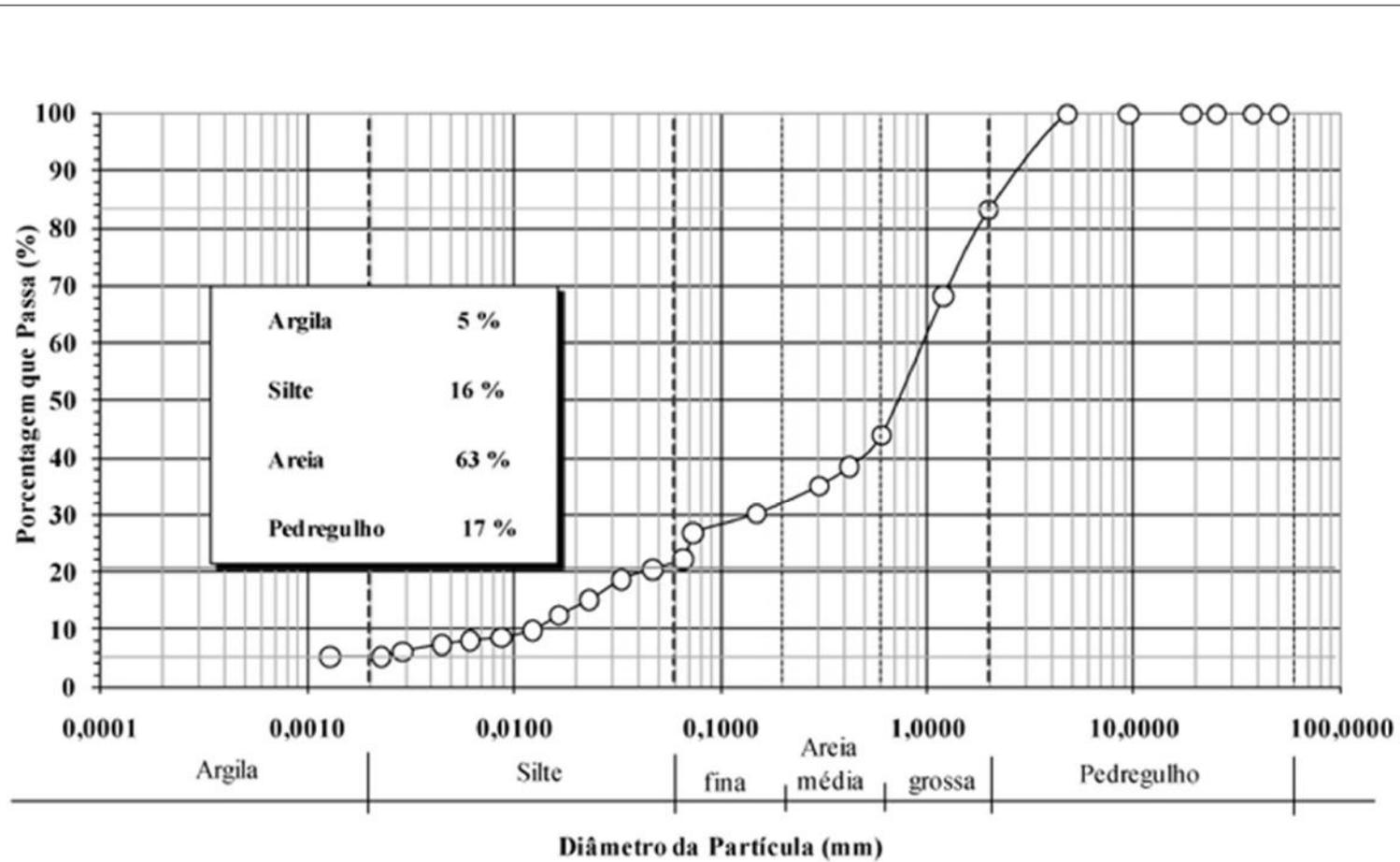
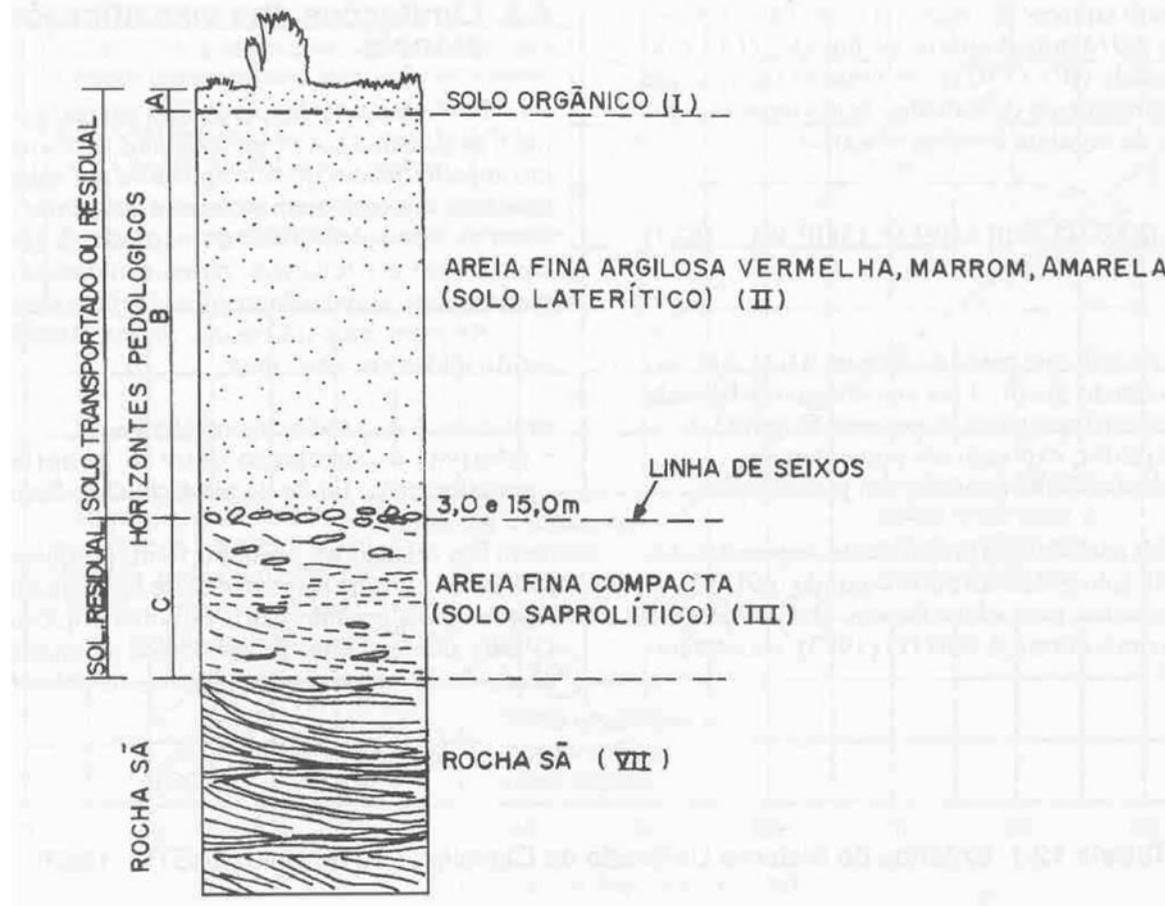


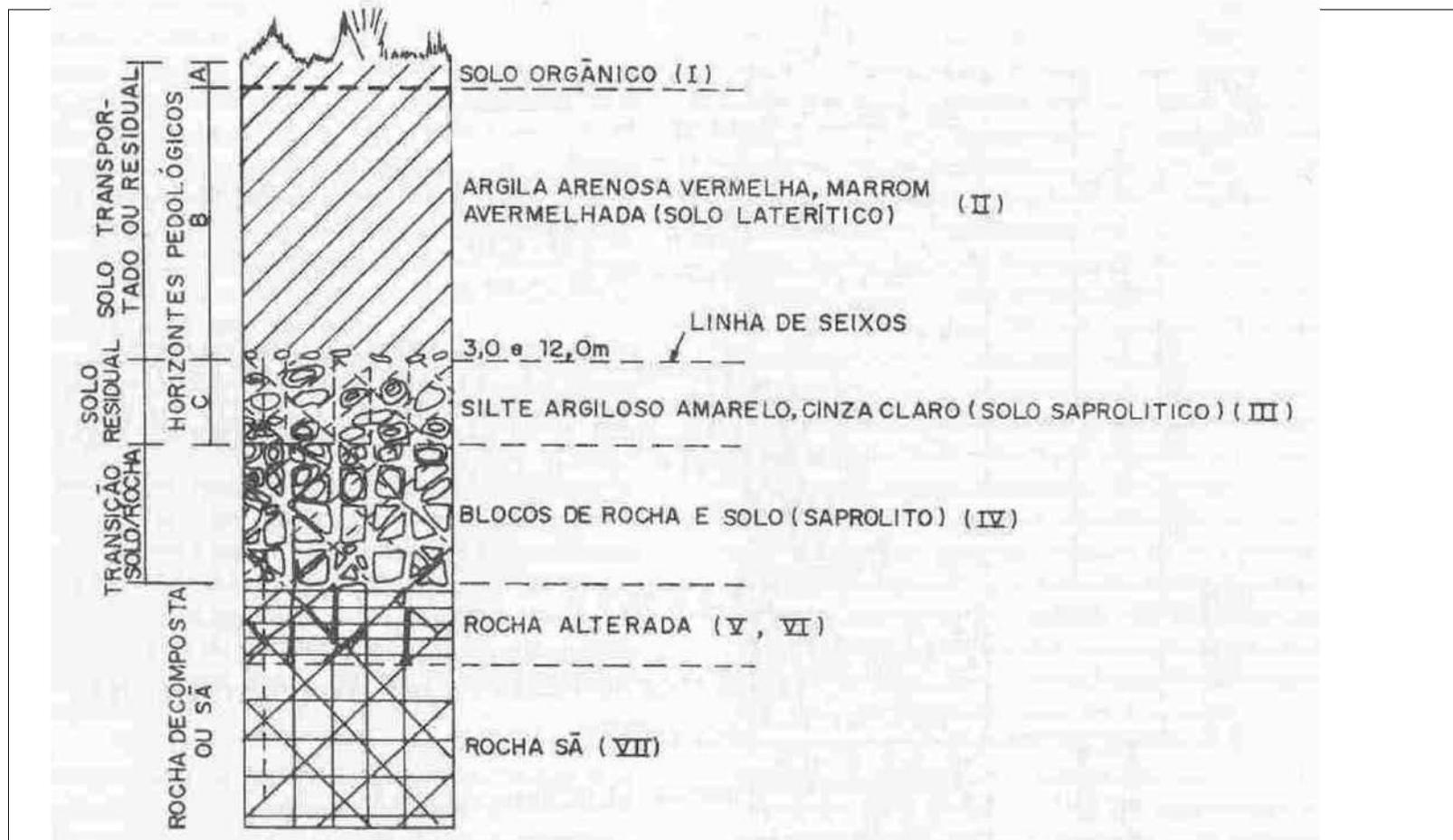
Figura 4 - Curva granulométrica do *grits*

Produtos



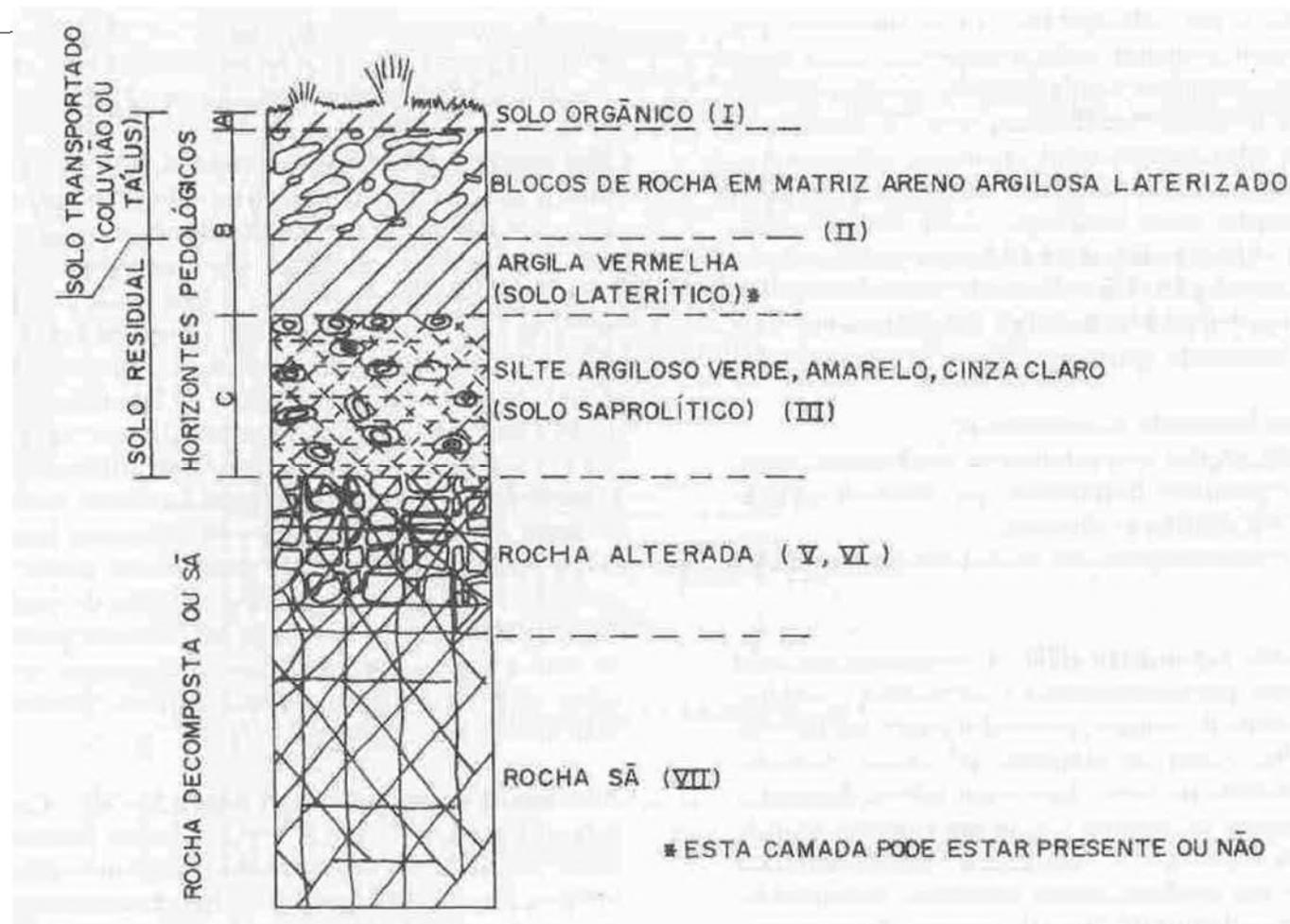
Perfil de alteração típico de rochas areníticas em regiões de relevo suave. (Fonte: Oliveira et al. 1998)

Produtos



Perfil de alteração típico de rochas basálticas em regiões de relevo suave. (Fonte: Oliveira et al. 1998)

Produtos



Perfil de alteração típico de rochas basálticas em regiões de serra.
(Fonte: Oliveira et al. 1998)

Perfil de alteração

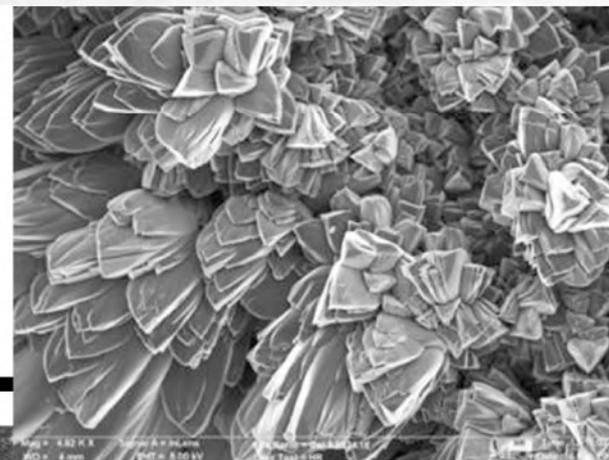
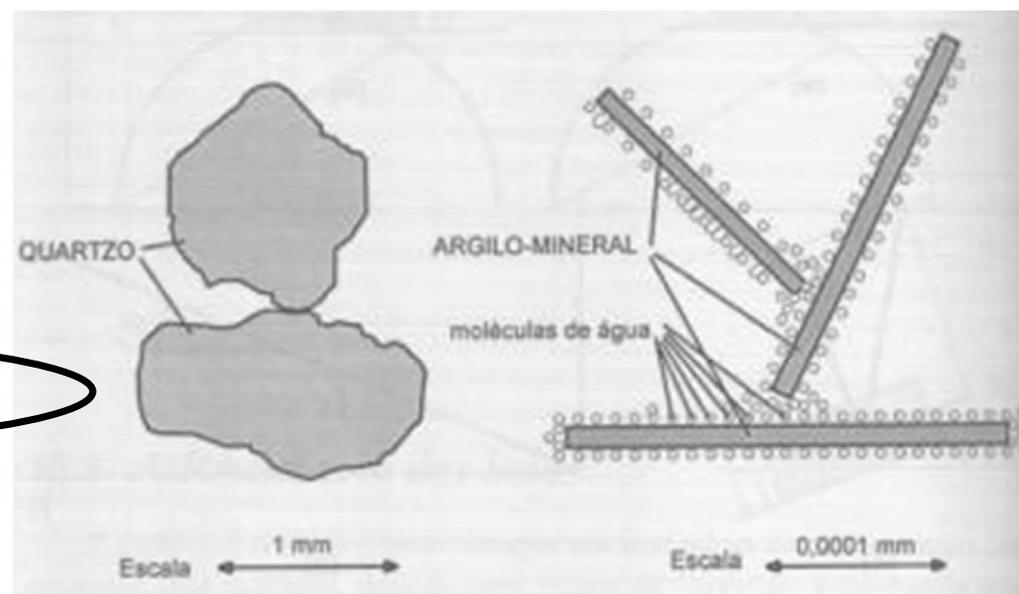
CLASSIFICAÇÃO	CLASSES	PERFIL DE INTEMPERISMO	PROCESSOS	MÉTODOS DE		COMPORTAMENTO
				ESCAVAÇÃO	PERFURAÇÃO	
SOLO RESIDUAL	SOLO VEGETAL		PEDOLÓGICOS	LÂMINA DE AÇO ("SCRAPER", ENXADÃO, FACA) 1°	A PERCUSSÃO COM TRADO OU LAVAGEM ↓ IMPENETRÁVEL AO SPT	HOMOGÊNEO ISOTRÓPICO
	SOLO DE ALTERAÇÃO (SA) soprclito					R3
ROCHA	ROCHA ALTERADA MOLE (RAM)		INCIPIENTES OU AUSENTES	EXPLOSIVO 3°	ROTATIVA	DEPENDENTE DO TIPO DE ROCHA
	ROCHA ALTERADA DURA (RAD)	R2				
	ROCHA Sã (RS)					

Fonte: Vaz 2011

Propriedades dos solos

2) Forma das partículas

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



Propriedades dos solos

2) índices físicos

- **Porosidade – relação entre o volume de vazios e o volume total do solo**
- **Índice de vazios – relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos**
- **Umidade natural – relação do peso da água e o peso de material sólido**
- **Peso específico natural – relação entre o peso e o volume de solo**

Quadro de identificação de solos no campo

Propriedades	Tipos de solos			
	arenosos	siltosos	argilosos	turfosos
Granulação	grossa (olho nu)	fina (tato)	muito fina	fibrosa
Plasticidade	nenhuma	pouca	grande	pouca a média
Compressibilidade (carga estática)	pouca	média	grande	muito grande
Coesão	nenhuma	média	grande	pouca
Resistência do solo seco	nenhuma	média	grande	pouca a média
Resumo para caracterização	tato e visual	1. tato 2. secos, esfarelam 3. secos, desagregam quando submersos	1. tato 2. plásticos, se molhados 3. secos, não desagregam	1. cor preta 2. plásticos, se molhados; fibrosos

Fonte: Chiossi 2013

Deformabilidade de solos

TAB. 4.3 Valores de E e C_c para alguns solos

Material	E kg/cm ² x 10 ³	C_c 1/kg/cm ² x 10 ⁻⁶	Nível de tensões kg/cm ²
Solo residual	1,70	350	0 - 2
Solo saprolítico de basalto	0,60	100	0 - 6
Solo residual de gnaiss	0,50	1.200	0 - 2
	0,40	1.500	0 - 4
	0,35	1.700	0 - 6
Enrocamento de basalto	0,80	875	0 - 4
	0,40	1.750	0 - 8
Brita corrida	0,73	820	0 - 4
Areia artificial	0,28	2.100	0 - 4

Fonte: Cruz (1996).

E = Módulo de deformabilidade

C_c = Coeficiente de deformabilidade

Fonte: Costa 2012

Resistência ao cisalhamento de solos

TAB. 4.5 Parâmetros de resistência ao cisalhamento de alguns solos residuais

Barragem	Rocha de origem	c' (kgf/cm ²)	ϕ' (°)
Porto Colômbia		0,20 - 0,25	17 - 24
Marimbondo	Basalto	0,10	15
		1,00	24
Tucuruí	Metabasito	0,30	25
	Filito	0,36	24
	Quartzito	0,31	22,5
Corumbá	Cloritaxisto	1,20	29
Cana Brava	Metagabro	0,40 - 0,80	20 - 22
Serra da Mesa	Micaxisto	1,80 - 2,85	30
Simplicio	Migmatito	0,20 - 0,30	23 - 27
Sapucaia	Gnaisse	0,90	24
Itacoara		0,30	24

Fonte: Cruz (1996).

c' = coesão

Φ = ângulo de atrito

Fonte: Costa 2012

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

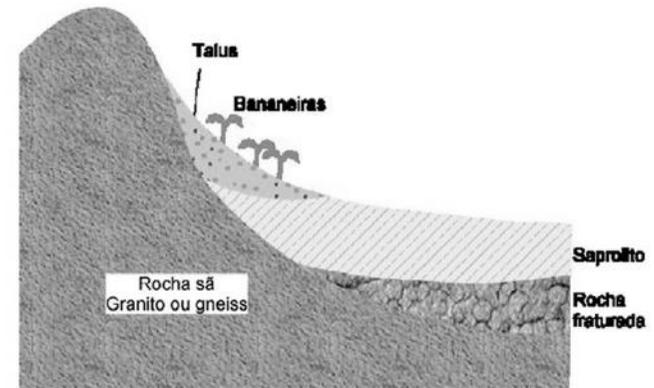
São também conhecidos como depósitos de tálus. São solos transportados por ação exclusiva da gravidade. Apresentam ocorrência localizada, normalmente associados em terrenos com elevações e encostas.

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

J A R Orl



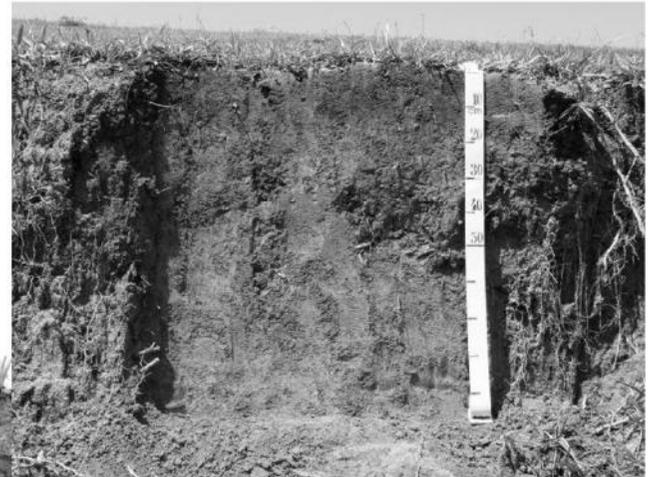
Tipos de solos transportados

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.



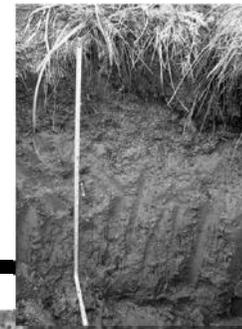


Características ecologicamente importante dos solos:

Cor dos solos:



- Cor vermelha: solos com presença de óxido de ferro e bem drenados - Importante para a fertilidade e conseqüentemente produtividade do ecossistema!!!
- Cor cinza: são indícios de solos encharcados, localizados em baixadas, em várzeas - Ambiente redutor, relação com emissão de gases do solo e presença de bactérias metanogênicas / metanotróficas!!!

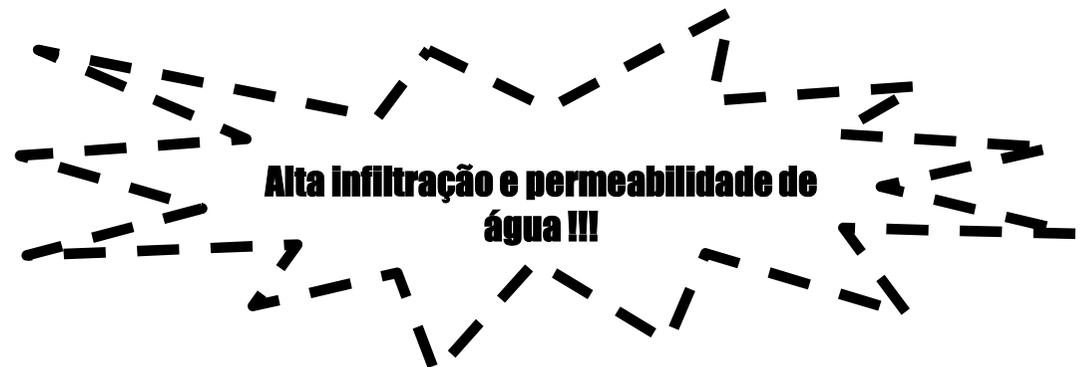


- **Argila (argilominerais – mineral formado):**
- Fração “ativa” da fração mineral do solo por proporcionar a troca de íons determinantes da fertilidade dos solos (existência de nutrientes em quantidade adequada) e da boa nutrição vegetal (capacidade de ceder nutrientes às plantas).



Pós- aula: Discutam possíveis implicações ecológicas em casos de acidentes por derramamento de óleo em um local como este !

- **Areia e frações mais grossas:**
- Garantem drenabilidade, permeabilidade e aeração indispensáveis para o equilíbrio da água-ar exigido para a realização da fotossíntese (captação dos nutrientes em solução por meio de pressão osmótica nas raízes) e da respiração dos organismos existentes no solo.



Discutam possíveis implicações ecológicas em casos de acidentes por derramamento de óleo em um local como este !

- **Fração orgânica:**
- Particularmente sua parcela de decomposição, é importante para dar origem ao húmus, que dá origem aos solos produtivos.



- **As partículas de menor dimensão presentes na fração argilosa do solo, bem como a matéria orgânica e alguns óxidos apresentam cargas elétricas – realizam as trocas químicas.**
- Capacidade de troca catiônica (CTC)/capacidade de troca aniônica (CTA): propriedade do solo de trocar cátions e ânions.

Lembrar que, em geral, o solo tem carga elétrica negativa (colóides) !!!!

- CTC elevado em solo: retém nutrientes essenciais às plantas como cálcio, potássio, magnésio e não retém ânions como nitrato e cloreto que podem passar para o lençol freático contaminando as águas.
- Mais de 10 mg/l de nitrato causa a doença azul.

A cianose ou doença azul ocorre quando a pele da criança apresenta uma coloração azulada, geralmente devida à falta de oxigênio no sangue.

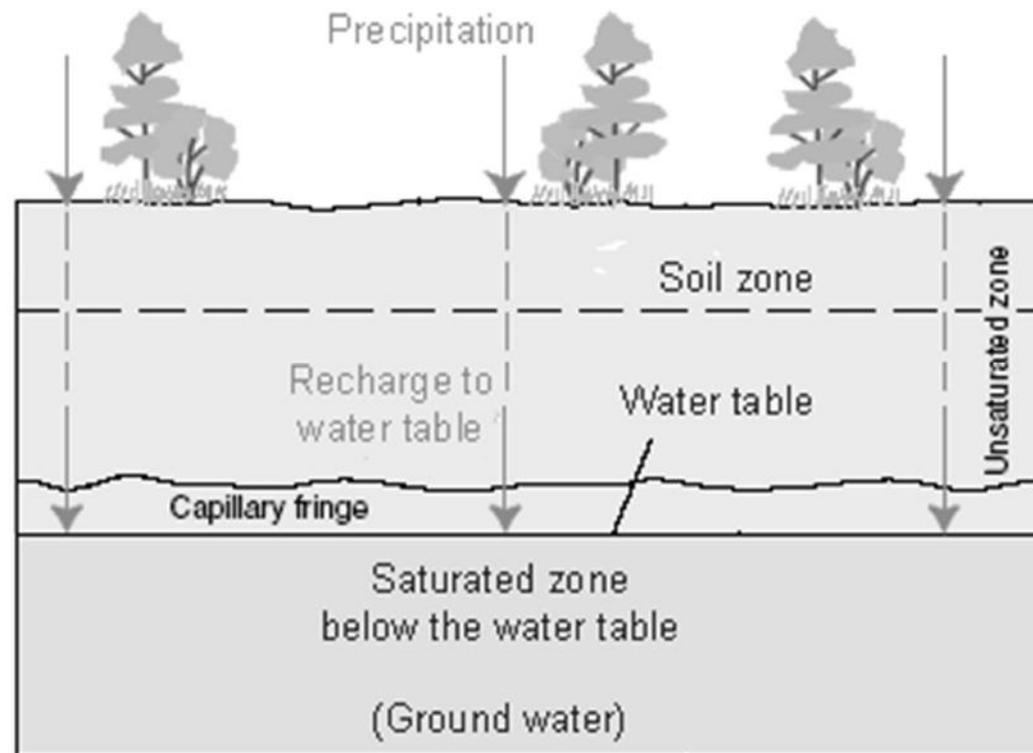
- Condições climáticas no Brasil: totalidade dos solos apresenta pH inferior a 7;
- Solos com pH inferior a 5,5 favorecem a solubilização do alumínio, do manganês e do ferro em detrimento do fósforo, que precipita, tornando reduzida a disponibilidade desse nutriente para as plantas;
- Acidez reduz atividades de bactérias decompositoras de matéria orgânica, diminuindo a quantidade do nitrogênio, fósforo e enxofre no solo, o que prejudica o desenvolvimento das plantas.

Contaminação do solo e da água subterrânea

Solo



água subterrânea



Fonte: USGS (2012)

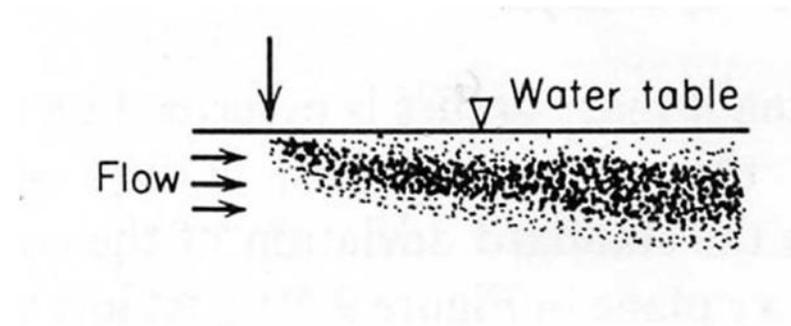
TRANSPORTE DE CONTAMINANTES NO SOLO

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.

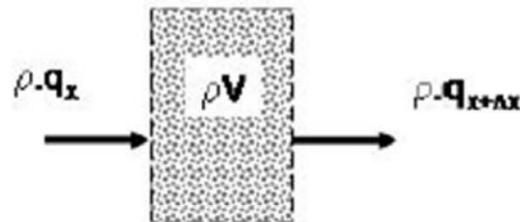


Sem diferença de densidade

Equação de advecção-dispersão

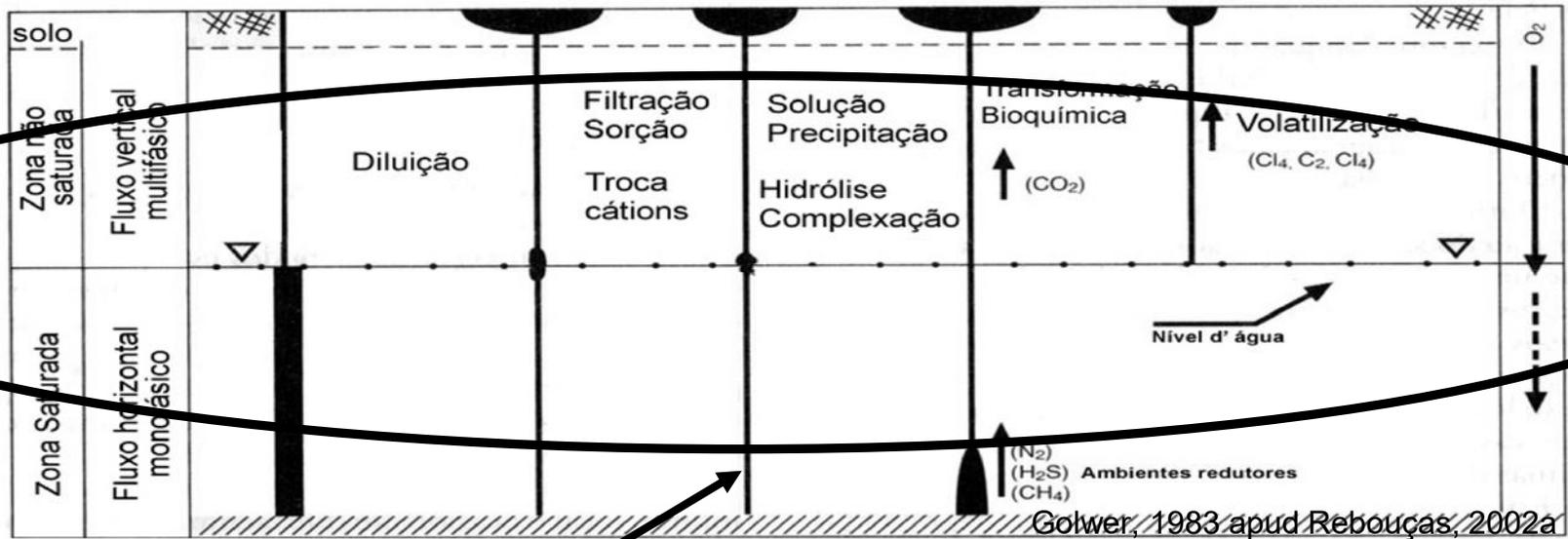
Transporte – fluxo subterrâneo – equação de Darcy: princípio da conservação de massa

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

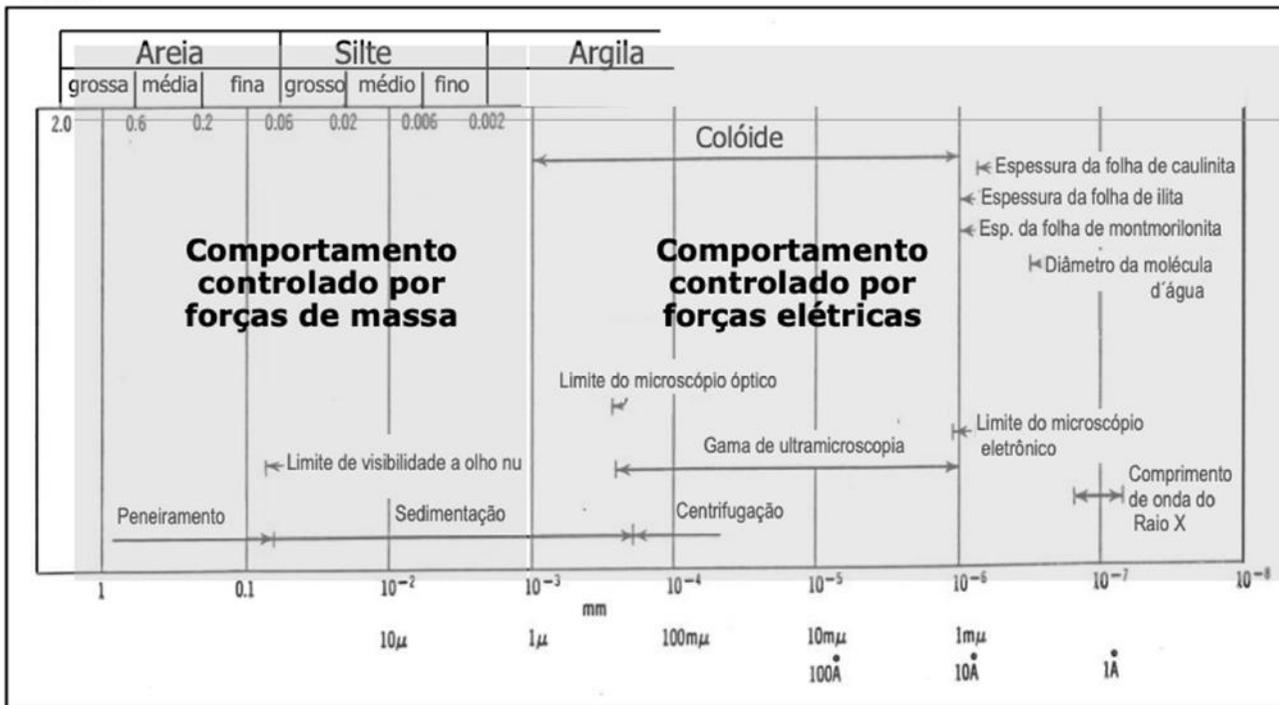


$$\left[\begin{array}{l} \text{variação de massa} \\ \text{de soluto em um} \\ \text{elemento} \\ \text{volumétrico} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{fluxo de soluto} \\ \text{que} \\ \text{entra no elemento} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{fluxo de soluto} \\ \text{que}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

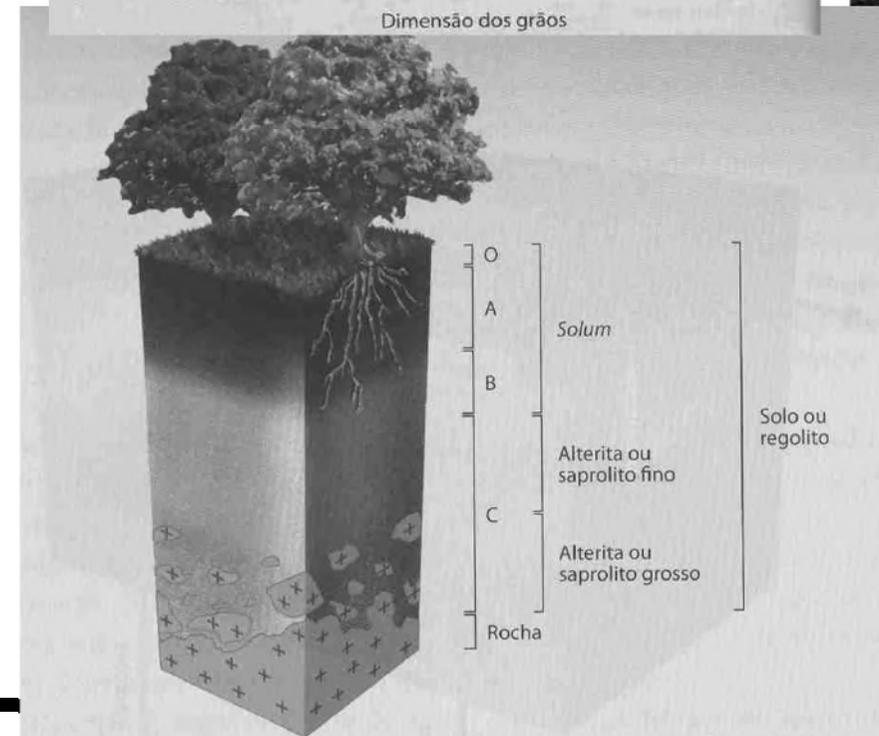
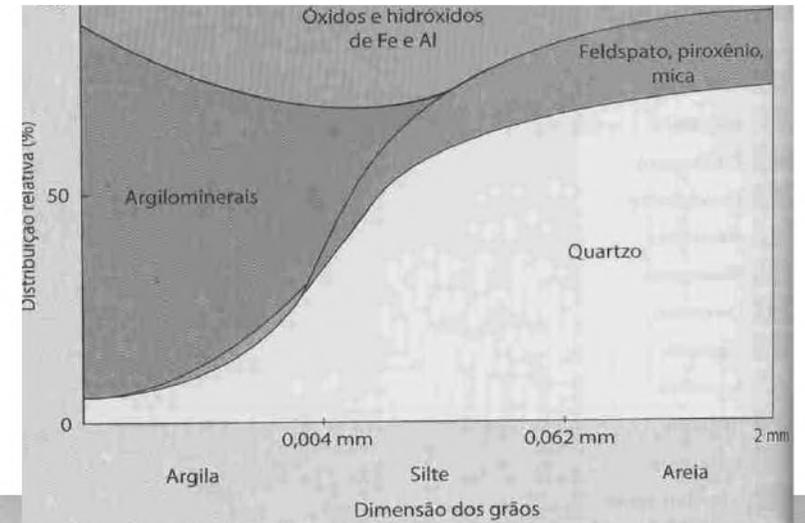
Atenuação natural: processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo
redução da massa ou concentração de contaminantes na água subterrânea em função do tempo e distância da fonte de contaminação devido a processos naturais.



Vamos falar na semana que vem!



T.M.P. de Campos (2007)



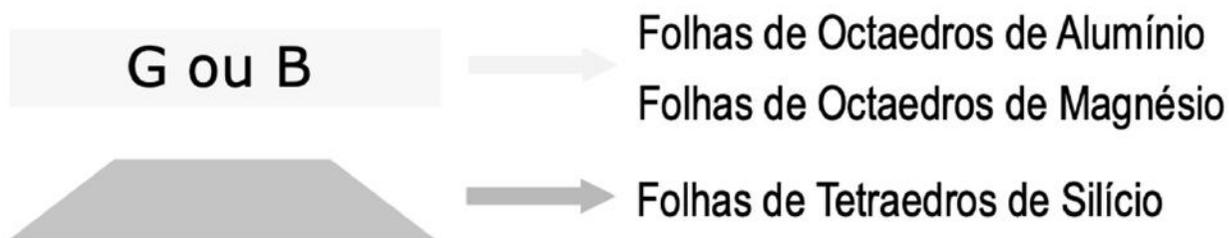
Fração ativa do solo – responsável pela CTC

Argilominerais

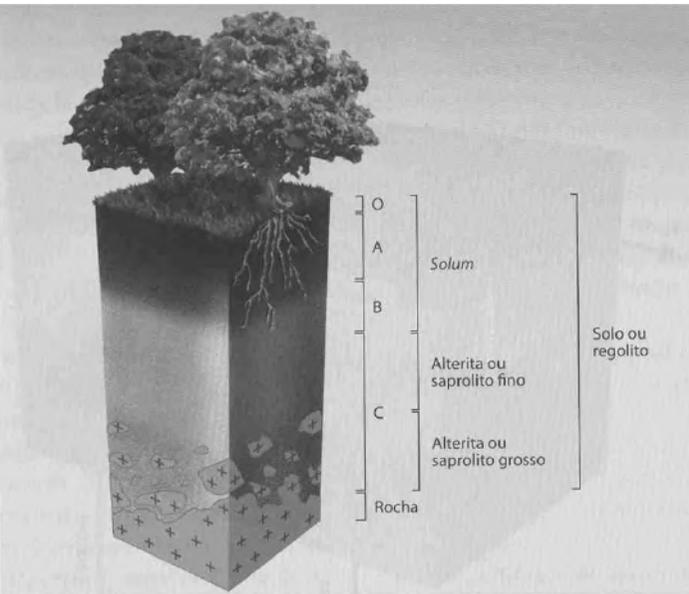
- › São silicatos de alumínio hidratados, podendo conter pequenas quantidades de elementos alcalinos (K, Na, Li) e alcalino terrosos (Ca, Mg).

O Al de sua estrutura cristalina pode ser substituído por Fe^{3+} , Fe^{2+} ou Mg^{2+} .

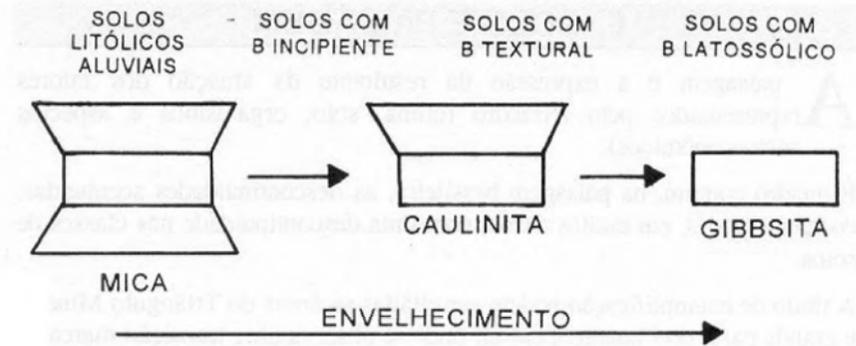
Três grupos principais de agrupamentos atômicos formam sua estrutura cristalina:



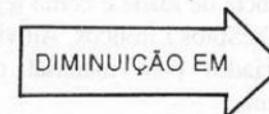
G = gibisita (Al); B = brucita (Mg)



Relações entre a idade do solo e suas características

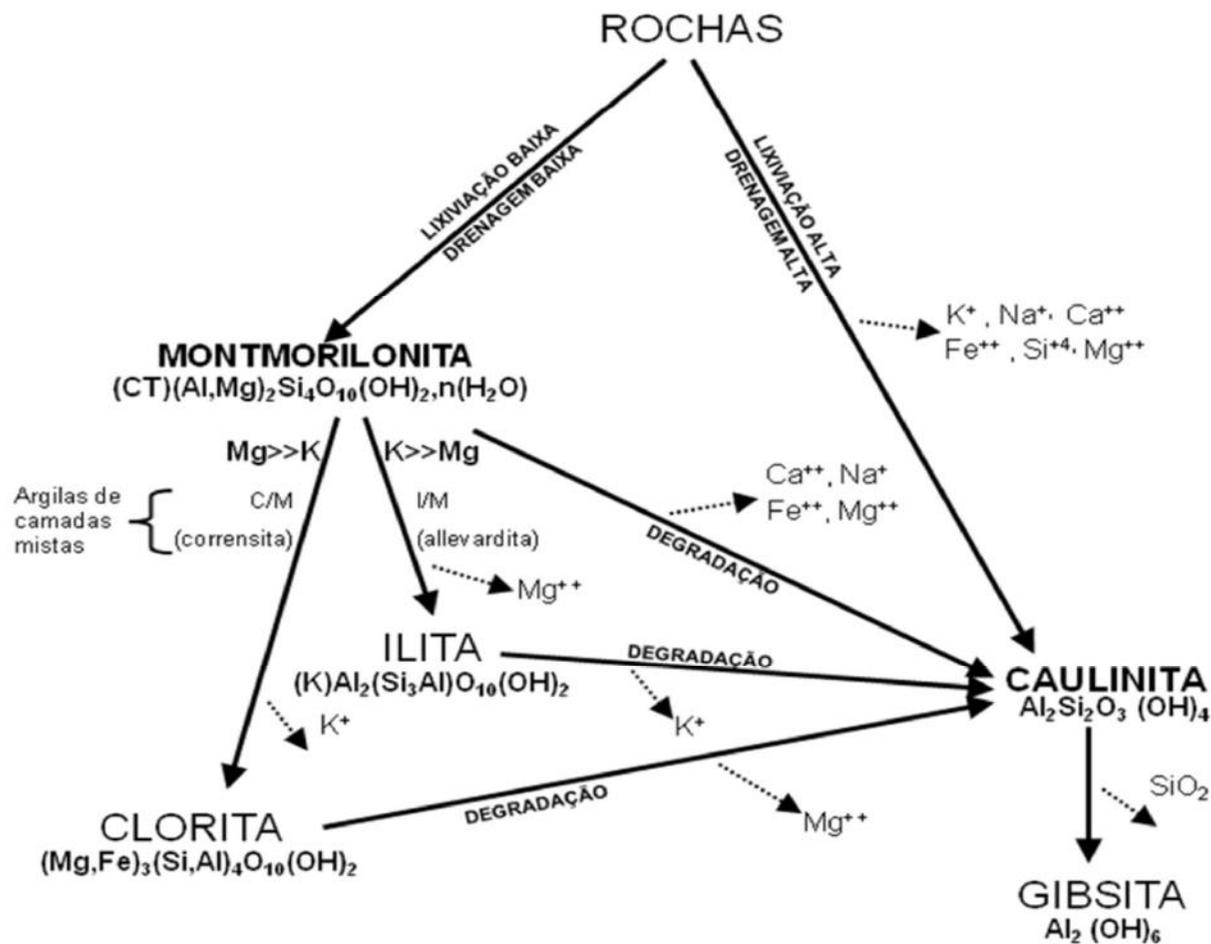


- INTEMPERIZAÇÃO
- PROFUNDIDADE
- POROSIDADE
- RESISTÊNCIA À EROÇÃO LAMINAR
- FIXAÇÃO DE P
- LIXIVIAÇÃO



- FERTILIDADE NATURAL
- ATIVIDADE DA FRAÇÃO ARGILA (CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA)
- MINERAIS PRIMÁRIOS FACILMENTE INTEMPERIZÁVEIS
- TEOR DE SILTE
- RESISTÊNCIA À EROÇÃO EM SULCOS

FIGURA 6.A - Algumas tendências nas relações entre idade do solo e suas características.



Mecanismos de transporte de solutos em meios porosos

Processos Físicos

Processos Bio-Físico-Químicos

Advecção
Dispersão Hidrodinâmica
Dispersão Mecânica
Difusão Molecular

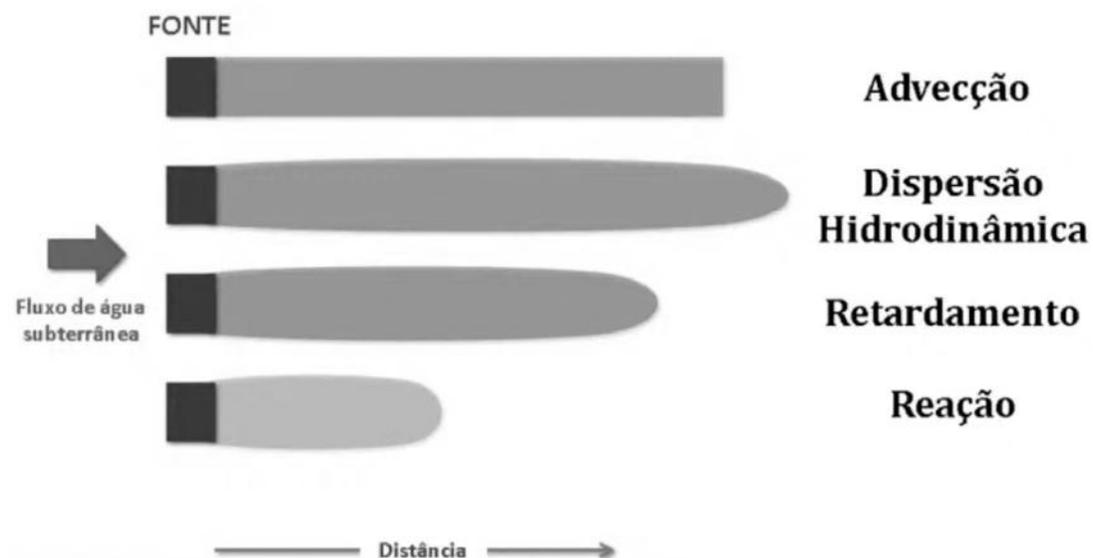
Retardamento ou Aceleração

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

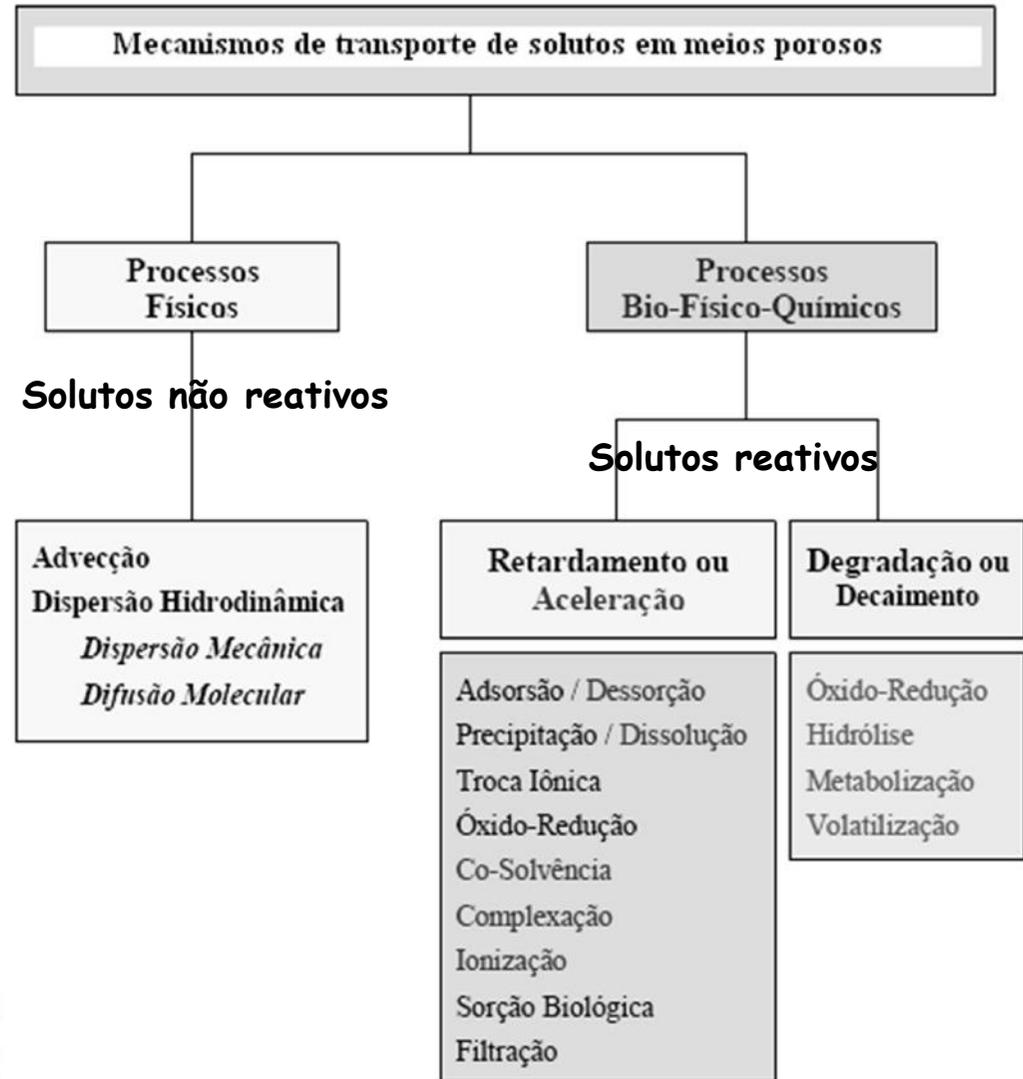
Degradação ou Decaimento

Óxido-Redução
Hidrólise
Metabolização
Volatilização

Processos de Transporte



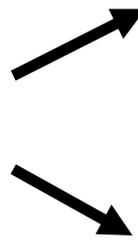
Processos de Transporte



Mecanismos de transporte

Advecção – Lei de Darcy

Dispersão hidrodinâmica



dispersão mecânica

difusão molecular

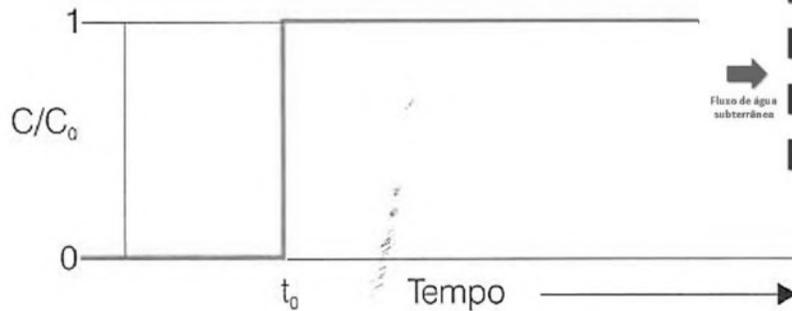
Advecção

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

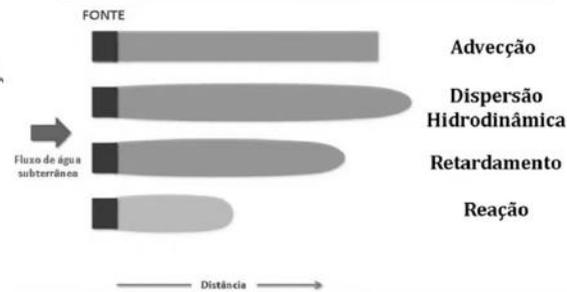


O transporte da substância se dá através do fluxo do fluido no qual ela está dissolvida.

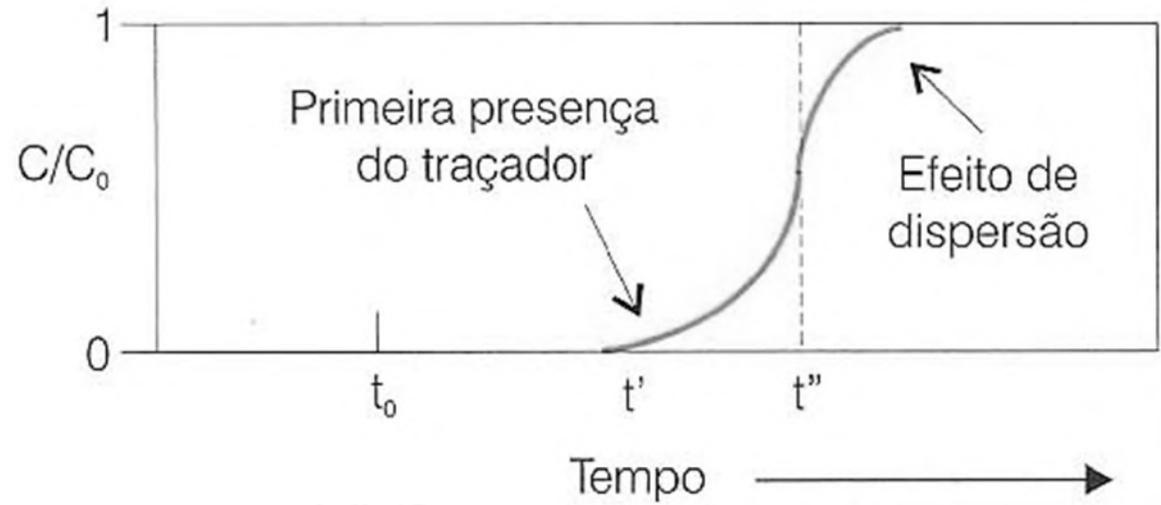
Saída do traçador com uma concentração $C(x, t)$ após um tempo t'



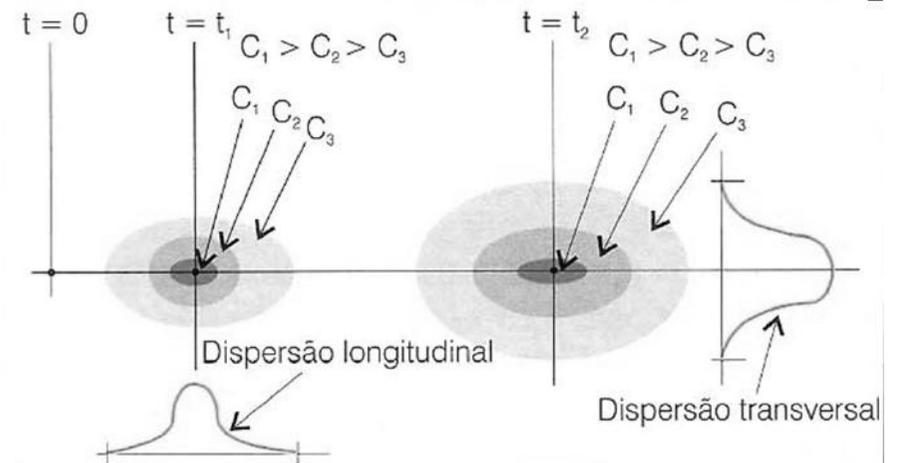
Processos de Transporte



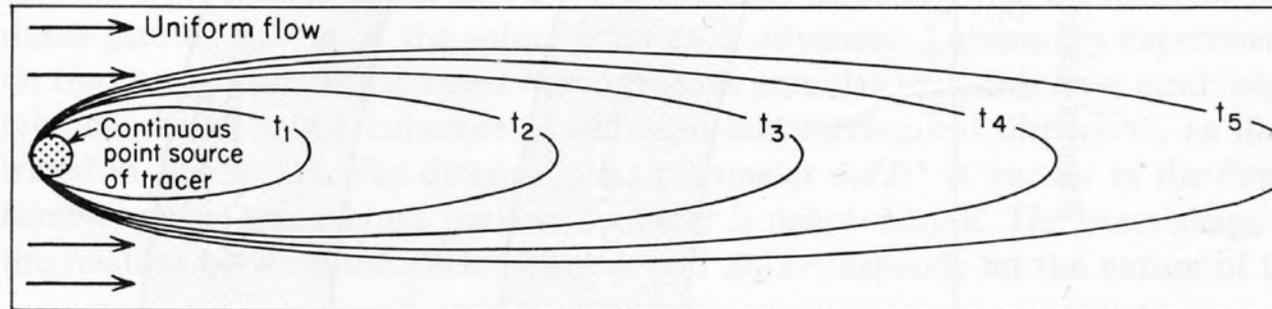
Dispersão hidrodinâmica



Fenômeno que mistura água e contaminante

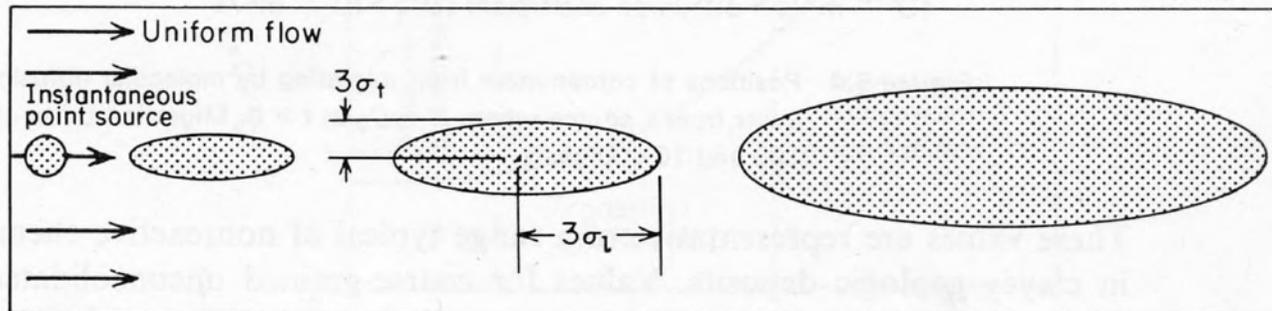


Efeitos de fonte na advecção-dispersão



(a)

Fonte pontual contínua



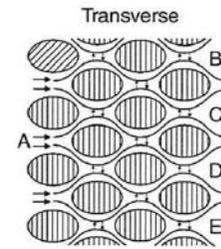
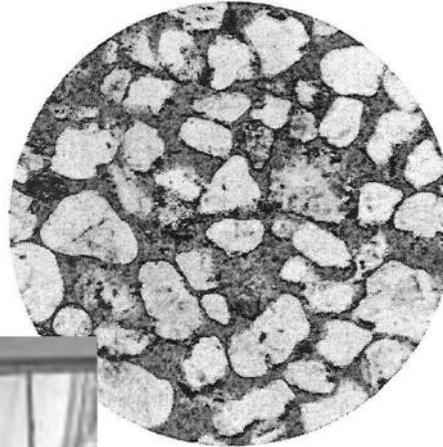
(b)

Fonte pontual instantânea

Fonte: Freeze and Cherry (1979)

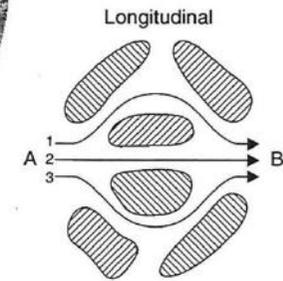


Dispersão em escala microscópica



$$D_T = \frac{1}{2} \frac{d\sigma_y^2}{dt}$$

$$D_L \approx 10D_T$$



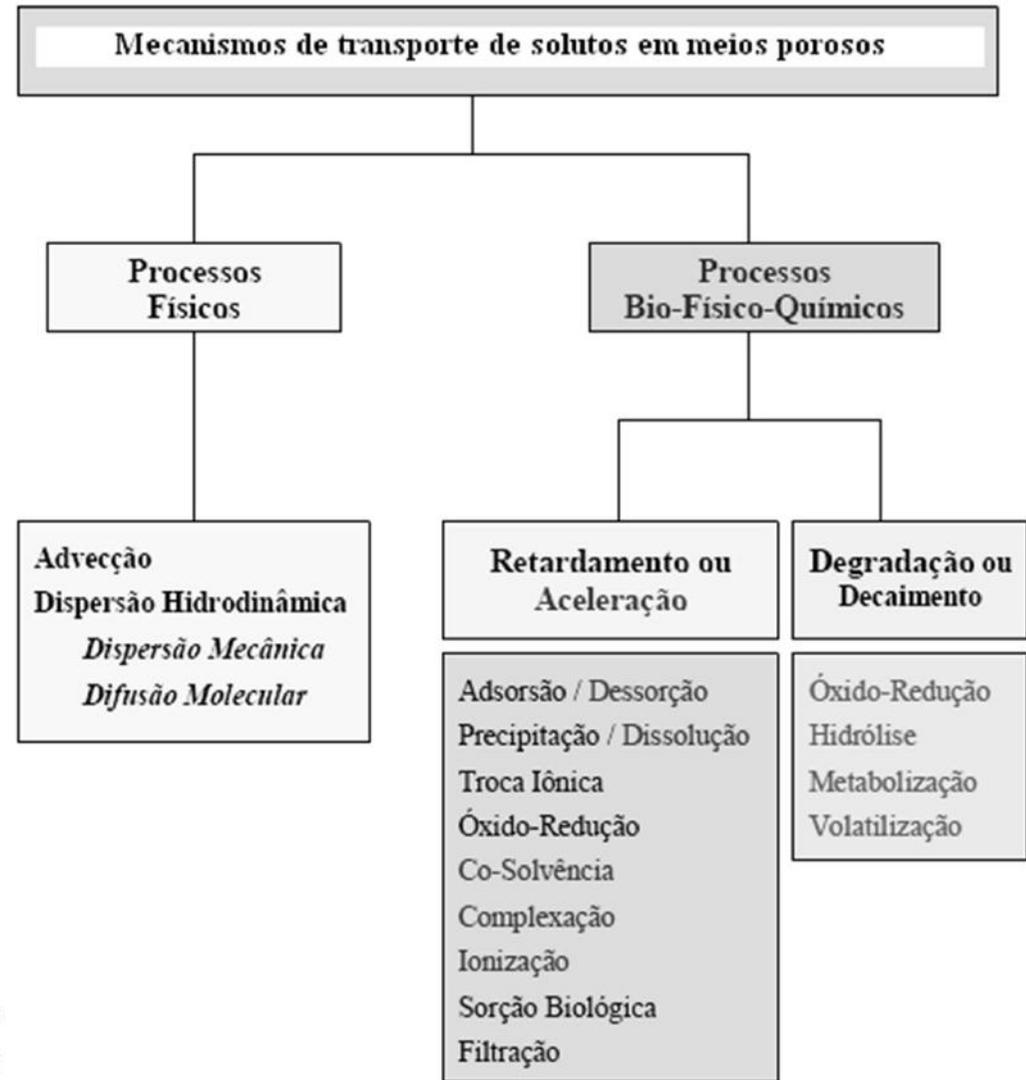
$$D_L = \frac{1}{2} \frac{d\sigma_x^2}{dt}$$

Longitudinal and transverse dispersion viewed at the microscopic scale.



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

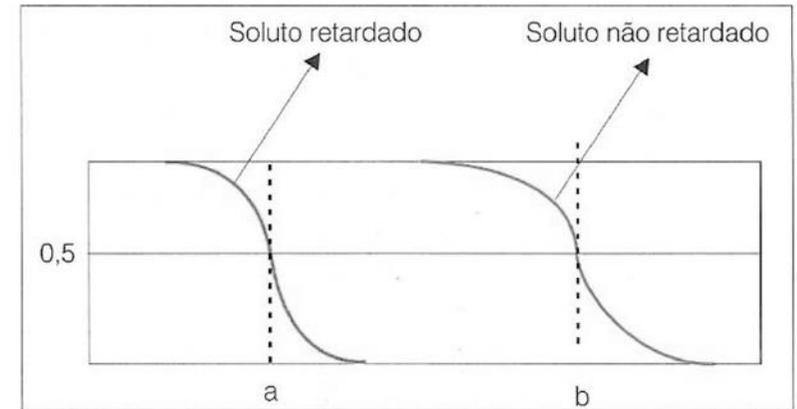
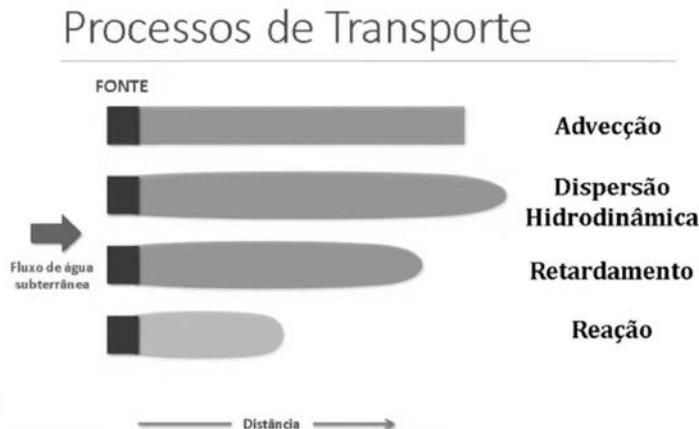
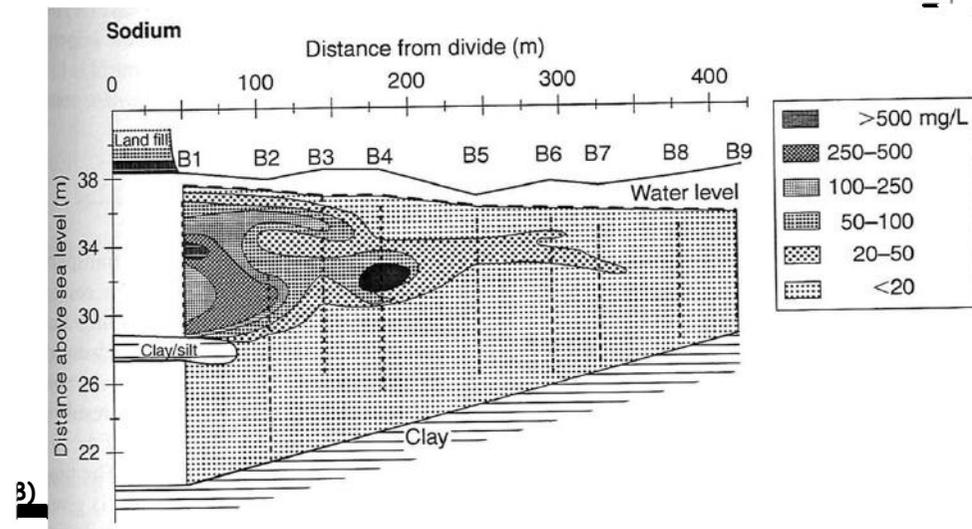


Figura 5.3.17 - Avanço de solutos com adsorção e sem adsorção em uma coluna de material poroso.



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:

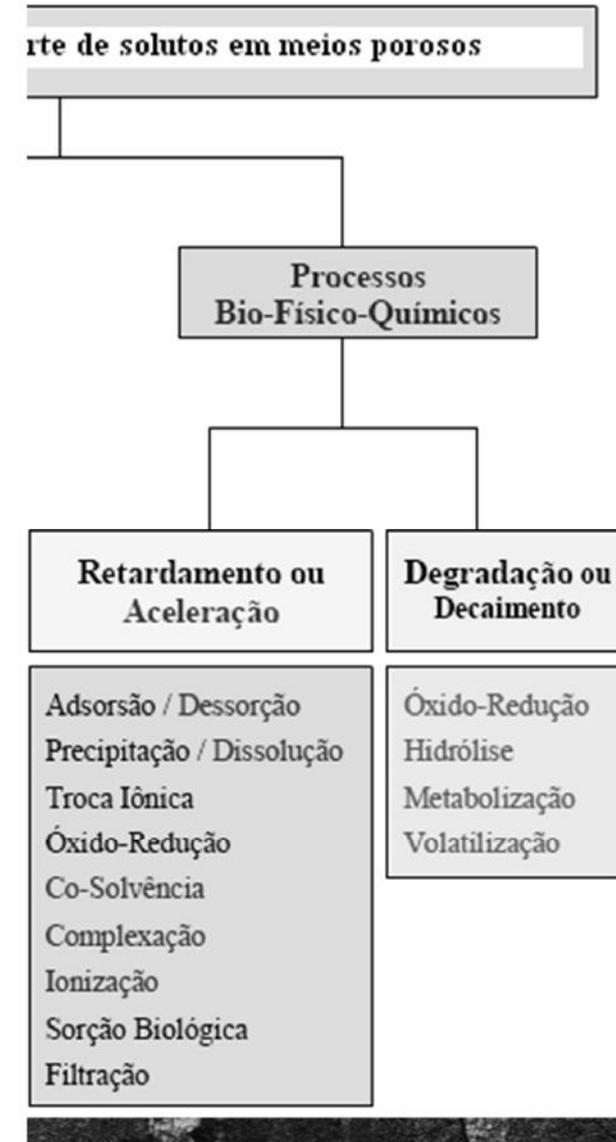
- Adsorção e absorção
- Sorção hidrofóbica

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:

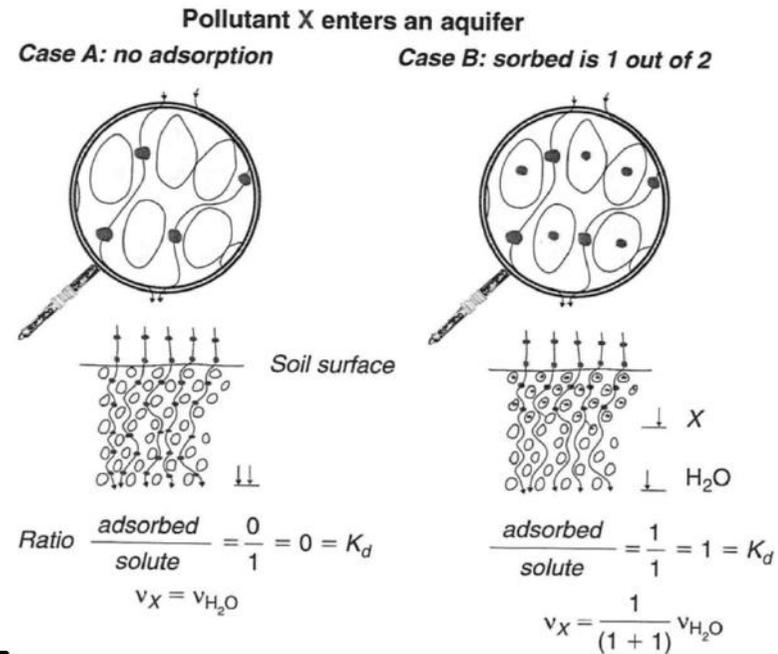
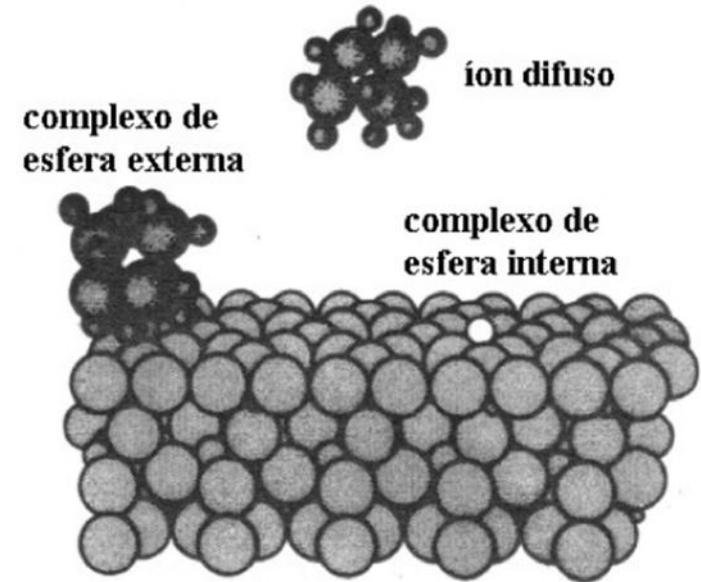
- Dissolução
- Formação de complexos ou quelação
- Co-solvência
- Ionização



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 quelatação, 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

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



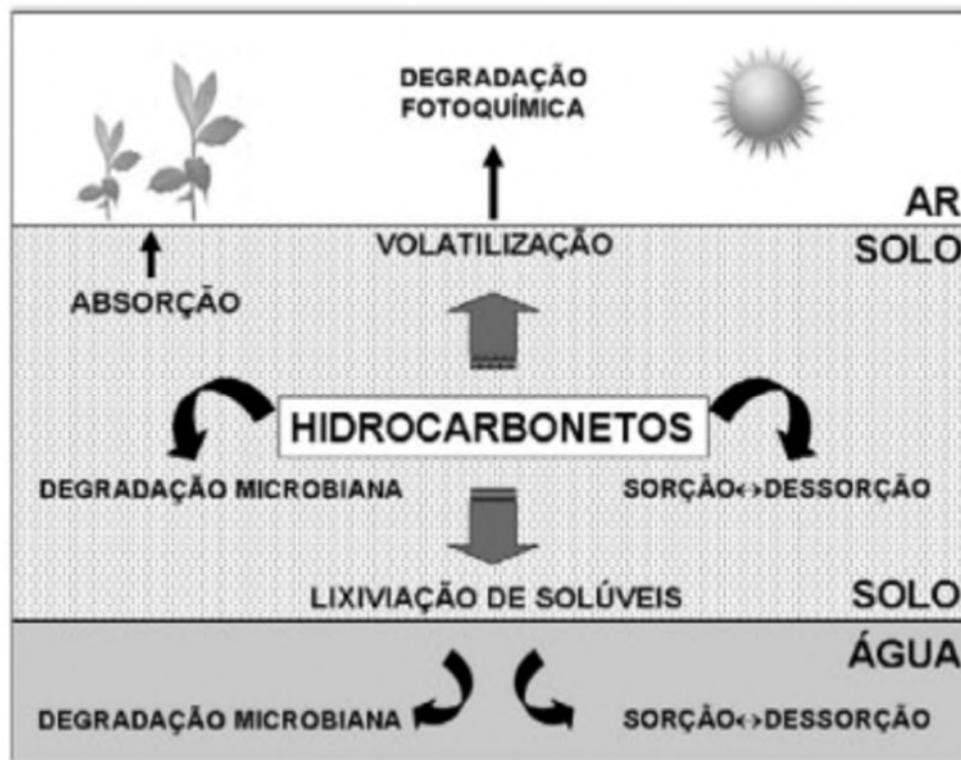


Figura 1. Representação esquemática da dinâmica dos hidrocarbonetos no solo contaminado

http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=6543



**Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo**

Boletim Informativo
ISSN 1521-479X
volume 38
número 01
Janeiro - Abril de 2013
www.sbc.org.br

**SOLOS CONTAMINADOS NO BRASIL
O DESAFIO DE DEFINIR
VALORES DE REFERÊNCIA**

CAPA

**O DESAFIO
DE DEFINIR VALORES DE
REFERÊNCIA PARA SOLOS
CONTAMINADOS NO BRASIL**

A proteção do solo e a consequente proteção à saúde humana, são temas recorrentes quando se trata da preservação desse recurso contra a contaminação por substâncias tóxicas. Embora a regulamentação desta proteção esteja efetivada há vários anos em diversos países do mundo, especialmente na Europa e Estados Unidos, apenas recentemente o Brasil foi dotado de um instrumento que fornece as diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas. Portanto, a Resolução 420 de 29/12/2009 é um importante marco para todos aqueles que trabalham e se preocupam com a qualidade do solo, a segurança alimentar e, consequentemente, com a saúde da população.

Considerando a relevância deste tema, a SBCS promove, neste Boletim, um debate sobre esta Resolução, abordando temas que discutem, desde a metodologia mais adequada para a obtenção dos dados até a elaboração das listas de valores de referência de qualidade para os estados. Até o final de 2013, todos os estados brasileiros já deverão ter os valores de referência de contaminação determinados. Será isto possível?

Para fomentar o debate, foram convidados especialistas de diversas instituições do país que trabalham com o tema, incluindo-se a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), pioneira no país na elaboração dos valores orientadores de qualidade do solo. Relatam suas experiências os líderes de grupos de pesquisa em determinação de valores de referência de qualidade do solo de diversos estados.

Esperamos que o debate possa suscitar as discussões sobre o tema, bem como incentivar as agências ambientais estaduais para a elaboração de suas listas de valores orientadores. Dessa forma, esperamos que, em um futuro próximo, tenhamos

VALORES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE DE SOLO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Mara Magalhães Gaeta Lemos, Elaine Cristina Ruby, Rosângela Pacini Modesto, Claudio Luis Dias,
Dorothy Carmen Pinoti Casarini, Fabiano Fernandes Toffoli e Márcia Sayuri Ohba

O solo é considerado um recurso valioso por cumprir as funções de *"servir como meio básico para a sustentação da vida e de habitat para pessoas, animais, plantas e outros organismos vivos; manter o ciclo da água e dos nutrientes; servir como meio para a produção de alimentos e outros bens primários de consumo; agir como filtro natural, tampão e meio*

ente da Holanda (VROM) publicou uma proposta de valores orientadores denominados de STI ("Streefwaarde" - referência, "Toetsingswaarde" - alerta e "Interventiewaarde"- intervenção), estabelecendo três níveis de qualidade para o solo: valor de referência, que indica o nível de qualidade para "solo limpo", atendendo ao conceito de multifuncionalidade; valor de alerta,



Diagnóstico ambiental e avaliação de risco de áreas contaminadas

compartilhe



Ensaio de caracterização de áreas contaminadas

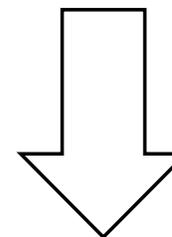
O Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas - LRAC realiza ensaios em campo que permitem obter a condição do meio a ser avaliado, bem como ensaios laboratoriais, por meio de amostragens de solo, de resíduos, de água, de vapores e de gases que fornecem os parâmetros físico-químicos obtidos em condições 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

Contaminação do solo

Para reflexão: como as características dos solos interferem na contaminação do solo e água subterrânea?

Atividade para as aulas 4 e 5 – no moodle



amarilisgallardo@usp.br

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