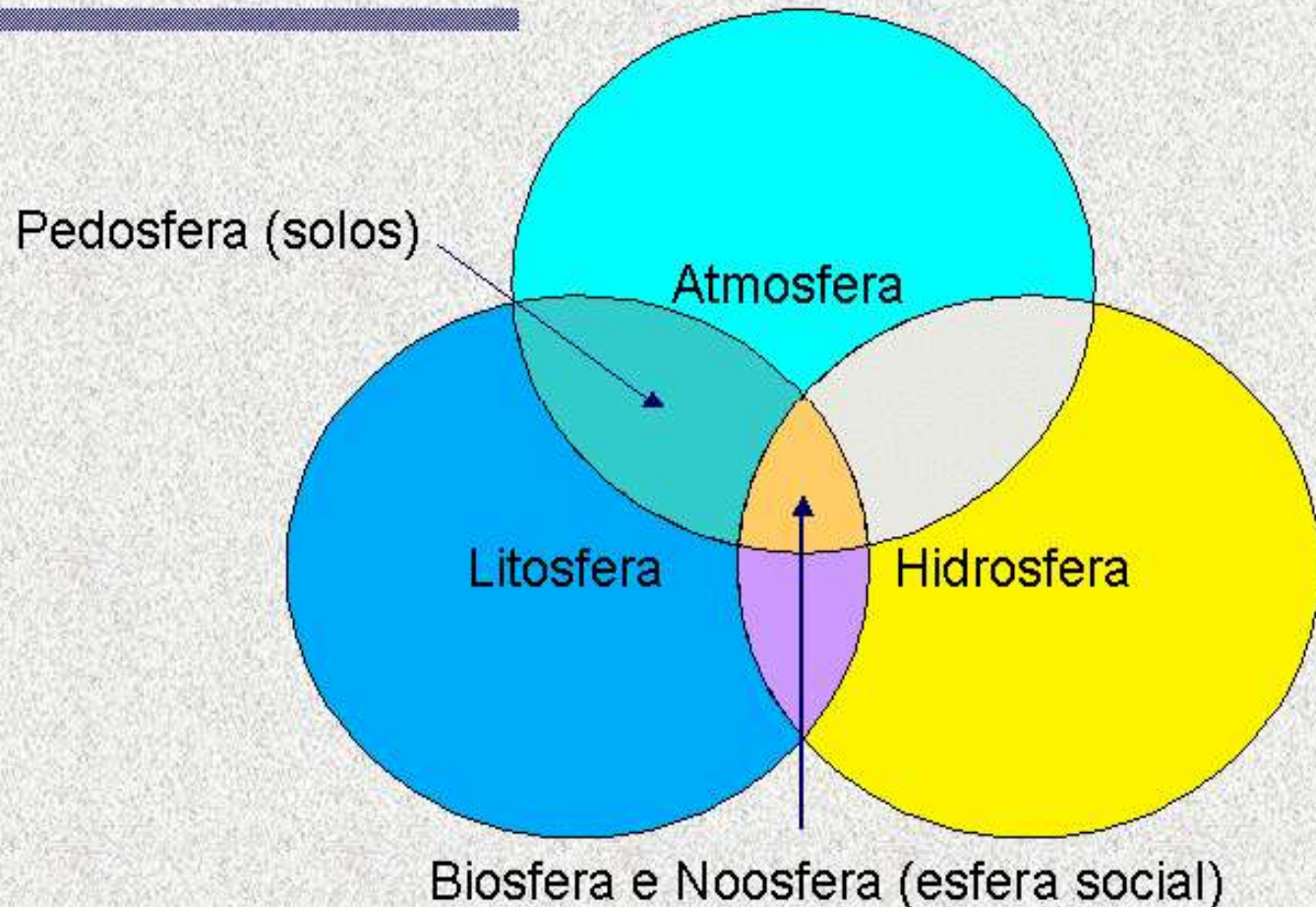


Intemperismo e erosão

Esferas terrestres



Intemperismo

1 – Conceito

2 – Tipos de intemperismo

3 – Fatores que controlam o intemperismo (rocha, topografia, clima, vegetação)

4 – Os produtos do intemperismo (solos, saprolitos, jazidas)

5 – Distribuição dos grandes tipos de intemperismo químico no globo terrestre

INTEMPERISMO

- Conjunto de modificações de ordem **física** (desagregação e fragmentação mecânica), **química** (decomposição química dos minerais primários) e **biológica** (influência de raízes, MO e ácidos orgânicos) que transformam rochas I, S e M na superfície da Terra em materiais friáveis e solos.

EROSÃO

- Remoção física dos materiais pelos agentes de transporte
(água, vento, gelo ou gravidade)

Tipos de Intemperismo

- **INTEMPERISMO FÍSICO**
- **INTEMPERISMO QUÍMICO**
- **INTEMPERISMO BIOLÓGICO**

- Atuação do intemperismo

Intemperismo químico → climas quentes e úmidos ⇒ mais importante e mais profundo

Intemperismo físico → climas quentes e secos e climas frios e secos

Atuação conjunta do intemperismo físico e químico

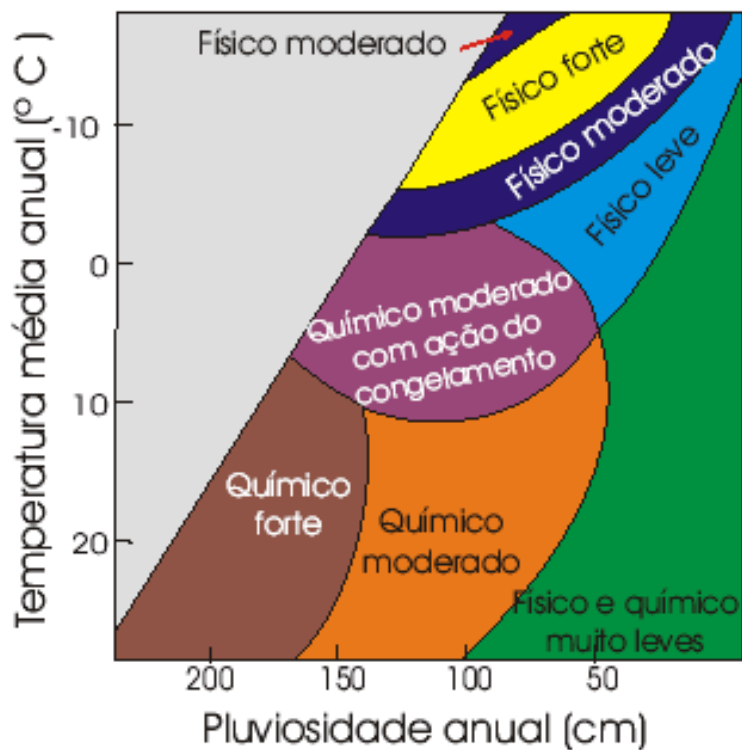


Fig. 8.17 O papel do clima é preponderante na determinação do tipo e eficácia do intemperismo. O intemperismo físico predomina nas áreas onde temperatura e pluviosidade são baixas. Ao contrário, temperatura e pluviosidade mais altas favorecem o intemperismo químico.

Os diferentes regimes de intemperismo em várias regiões do continente americano.

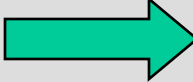


O que acontece durante o INTEMPERISMO?

■ 1. transformações FÍSICAS

■ material coeso  fraturado, friável, incoerente

■ 2. transformações QUÍMICAS

■ reações químicas  material intemperizado
difere química e mineralogicamente do material original

Fatores que controlam a ação do intemperismo

- **CLIMA**: variação da T e quantidade das chuvas na região.
- **RELEVO ou topografia**: regime de infiltração e drenagem das águas pluviais.
- **ROCHA PARENTAL**: composição mineralógica e resistência diferenciada aos processos de alteração intempérica.
- **TEMPO DE EXPOSIÇÃO**.
- **Estrutura da rocha**: rochas maciças e rochas com foliações, falhas, fraturas e estratificações.
- **FAUNA e FLORA**: fornecem matéria orgânica para reações químicas e remobilizam materiais. matéria orgânica no solo decompõe-se, liberando CO_2 , diminuindo o pH das águas de infiltração.



FATORES DO INTEMPERISMO

1. Duração do intemperismo

Há menos intemperismo, erosão e formação de solo quanto mais curto for o período de tempo

Há mais intemperismo, erosão e formação de solo quanto mais longos forem os períodos de tempo

2. Tipo de substrato rochoso

Mais minerais estáveis (p. ex., quartzo) resultam em intemperismo menos intenso

Menos minerais estáveis (p. ex., feldspato) resultam em intemperismo mais intenso

3. Clima

Temperaturas mais baixas

Menos intemperismo químico (dissolução, alteração para ajudar o intemperismo físico, formação de argilominerais)

Mais intemperismo físico (expansão e contração termais, acunhamento do gelo, rachadura do substrato rochoso, fragmentação em tamanhos menores)

Temperaturas mais altas

Menos intemperismo físico

Mais intemperismo químico

Quantidade de chuva

Pouca chuva (menos dissolução de minerais, intemperismo físico, fragmentação e erosão)

Muita chuva (mais dissolução de minerais, produção de argilominerais, produção de partículas de pequeno tamanho e erosão)

Acidez da chuva

Baixa acidez (menos dissolução de minerais e intemperismo físico)

Alta acidez (mais dissolução de minerais e produção de argilominerais)

4. Relevo

Encosta íngreme

Menos intemperismo químico

Mais intemperismo físico, mais erosão

Encosta suave

Menos intemperismo físico, menos erosão

Mais intemperismo químico

Erosão por água





Vossorocas



Enxurrada e Lahar – Nevado del Ruiz



INTEMPERISMO FÍSICO

- **Quebra por expansão térmica**
- **Alívio de pressão**
- **Congelamento e degelo da água (*)**
- **Precipitação de sais**
- **(agentes físicos: *pressão* e *temperatura*)**



Formação de fraturas e ação de desgaste

- **Intemperismo físico (desintegração)**

Processos físicos ⇒ fragmentação e desagregação das rochas

- **Variação de temperatura**

Variação diária (insolação) e sazonal (climática) → termoclastia

Minerais de coloração e coeficientes de dilatação distintos

- **Alívio de pressões**

Alívio do peso de rochas erodidas

Expansão e fendilhamento ± paralelo a superfície

- **Crescimento de cristais**

Crescimento de cristais nos poros ou fendas

Congelamento (crioclastia) e cristalização de sais (regiões áridas)

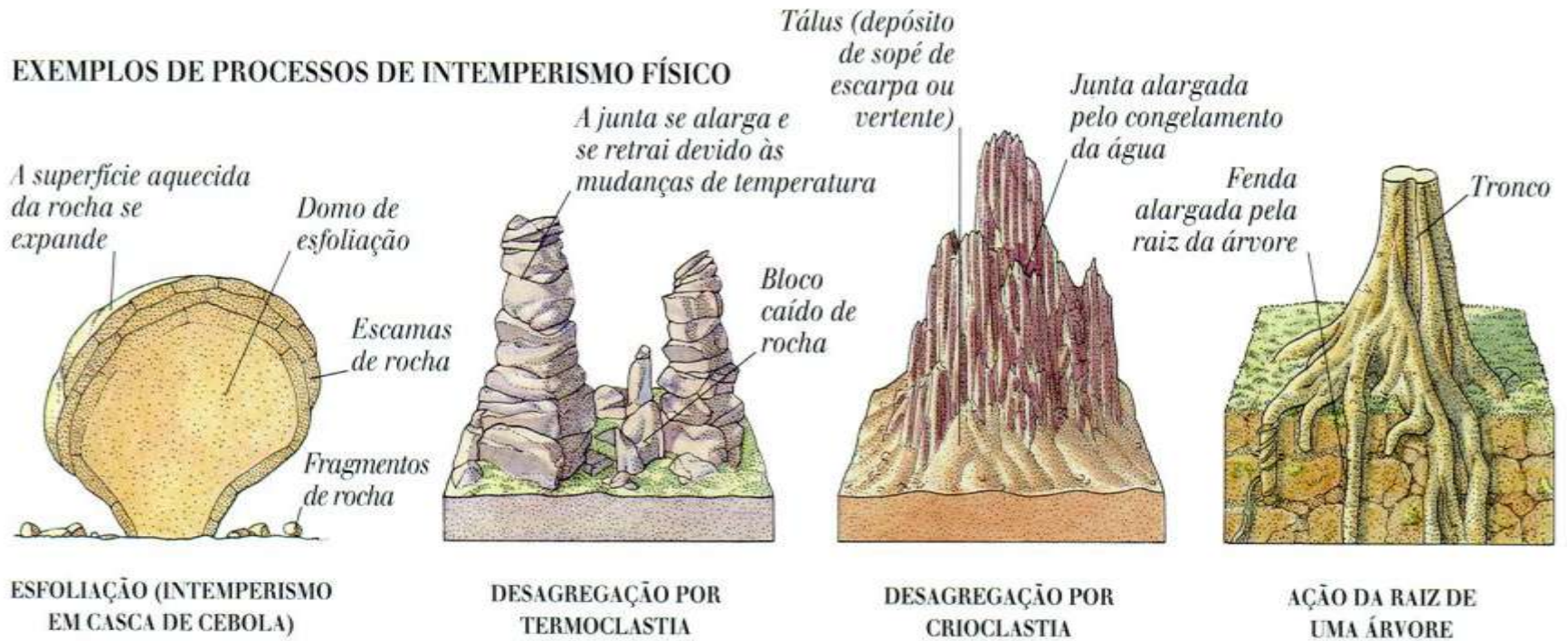
- **Hidratação de minerais**

Ação física → tensões internas por aumento de volume de certos minerais. Ex: esfoliação de folhelhos

- **Processos físico-biológicos**

Ação mecânica das raízes e de organismos

EXEMPLOS DE PROCESSOS DE INTEMPERISMO FÍSICO





Ação do gelo - crack



Ação de raízes



Ação de formigas



Efeitos da chuva



Intemperismo diferencial

formação de relevos



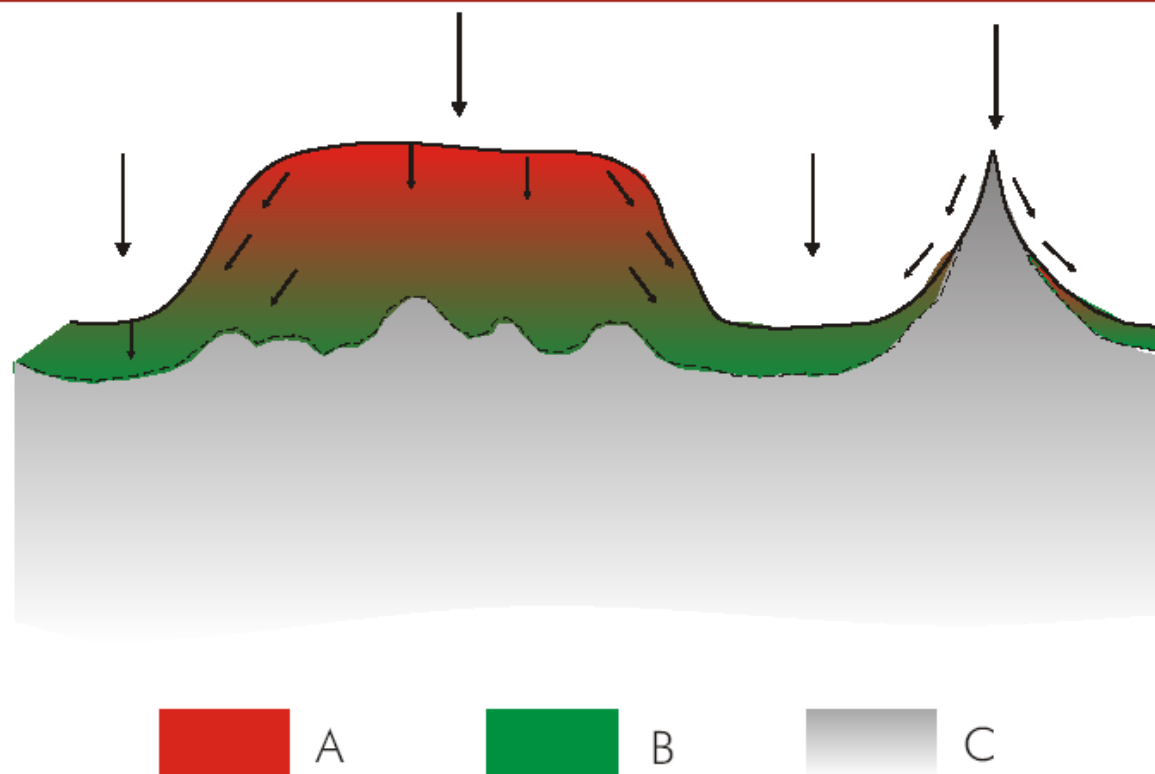


Fig. 8.21 Influência da topografia na intensidade do intemperismo.

Setor A: Boa infiltração e boa drenagem favorecem o intemperismo químico.

Setor B: Boa infiltração e má drenagem desfavorecem o intemperismo químico.

Setor C: Má infiltração e má drenagem desfavorecem o intemperismo químico e favorecem a erosão.

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

Heider Torres





Erosão em solo sem vegetação





Demoiselles





Arenito Vila
Velha –
enriquecimento
localizado de
ferro no arenito
proporciona
diferentes
resistências à
ação da água



Paleopilar – Ilha do Mel

INTEMPERISMO QUÍMICO

Reações químicas diversas dependentes:

- **dos reagentes** (minerais originais da rocha e soluções de alteração) e
- **das condições** em que as reações se processam (clima, relevo, presença de organismos, tempo)

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

INTEMPERISMO QUÍMICO

- Modifica os componentes e a estrutura interna dos minerais.
- Condições superficiais são diferentes das condições que os minerais se formaram.
- Principal agente: água, infiltra e percola as rochas.
- Constituintes mais solúveis são transportados.
- Permanecem:
 - minerais primários residuais
 - minerais secundários que se formaram no perfil

Quadro 7.1 Principais fatores controladores das taxas de intemperismo

Taxa de alteração
 Lenta \longrightarrow Rápida

PROPRIEDADES DA ROCHA PARENTAL

Solubilidade do mineral na água	Baixa (p. ex., quartzo)	Moderada (p. ex., piroxênio e feldspato)	Alta (p. ex., calcita)
Estrutura da rocha	Maciça	Algumas zonas de fraqueza	Muito fraturada ou acamamento muito delgado

CLIMA

Chuva	Baixa	Moderada	Alta
Temperatura	Frio	Moderada	Quente

PRESENÇA OU AUSÊNCIA DE SOLO E VEGETAÇÃO

Espessura do perfil de solo	Nenhuma – rocha exposta	Fina a moderada	Espessa
Conteúdo orgânico	Baixo	Moderado	Alto

TEMPO DE EXPOSIÇÃO

Curto	Moderado	Longo
-------	----------	-------

ESTABILIDADE DOS MINERAIS	VELOCIDADE DE INTEMPERISMO	SÉRIE DE BOWEN
Mais estável	Menor	
Óxidos de ferro (hematita)		
Hidróxidos de alumínio (gibbsita)		Último a cristalizar
Quartzo		Quartzo
Argilominerais		
Muscovita		Muscovita
Ortoclásio		Ortoclásio
Biotita		
Albita		
Anfibólios		
Piroxênios		
Anortita		
Olivina		
Calcita		
Halita		
Menos estável	Maior	Primeiro a cristalizar

Tabela 8.1 Série de Goldich: ordem de estabilidade frente ao intemperismo dos minerais mais comuns. Comparação com a série de cristalização magmática de Bowen.

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

INTEMPERISMO QUÍMICO

- Mineral I + solução de alteração = mineral II + solução de lixiviação
- Solução de alteração = (água da chuva carregada em elementos/substâncias dissolvidas)
- Solução de lixiviação = (água da chuva modificada pelas reações do intemperismo)

INTEMPERISMO QUÍMICO

Reações:

Hidratação

Hidrólise

Oxidação

Carbonatação

Complexação

Hidratação

Entrada de H_2O na estrutura dos minerais

Ex. Anidrita + água = gipsita



Oxidação

Ex. pirita + O₂ e H₂O = goethita



Carbonatação

CO₂ e H₂O - ácido carbônico

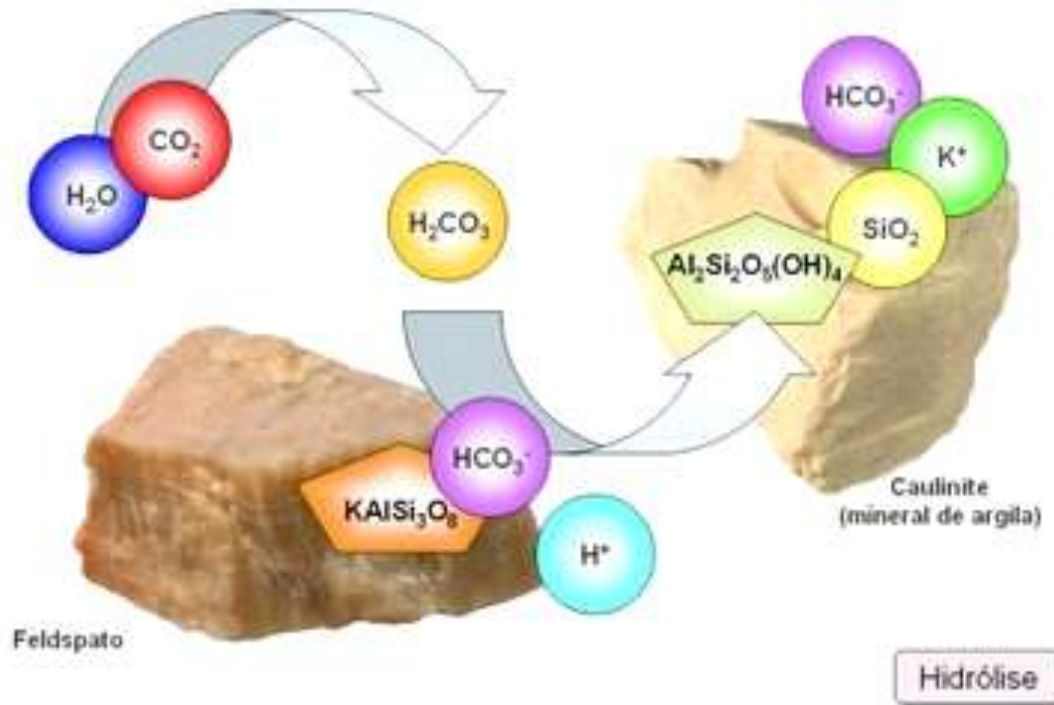


Complexação

Complexos orgânicos – **solúveis** - ligam-se a elementos químicos **insolúveis**, mobilizando-os

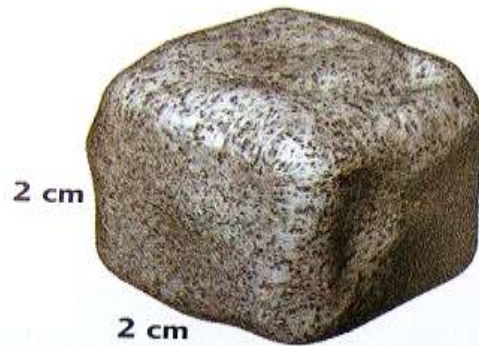


Hidrólise:



destrói a estrutura mineral

libera cátions e ânions removidos pela drenagem e recombinaos em novos minerais



$$\begin{aligned} 2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} &= 4 \text{ cm}^2 \\ 4 \text{ cm}^2 \times 6 \text{ faces} &= 24 \text{ cm}^2 \\ &\text{(área superficial total)} \end{aligned}$$

1 Proporcionalmente à sua massa, os grandes blocos de rocha têm menos área superficial exposta ao intemperismo químico...



$$\begin{aligned} 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} &= 1 \text{ cm}^2 \\ 1 \text{ cm}^2 \times 6 \text{ faces} &= 6 \text{ cm}^2 \\ 6 \text{ cm}^2 \times 8 \text{ cubos} &= 48 \text{ cm}^2 \\ &\text{(área superficial total)} \end{aligned}$$

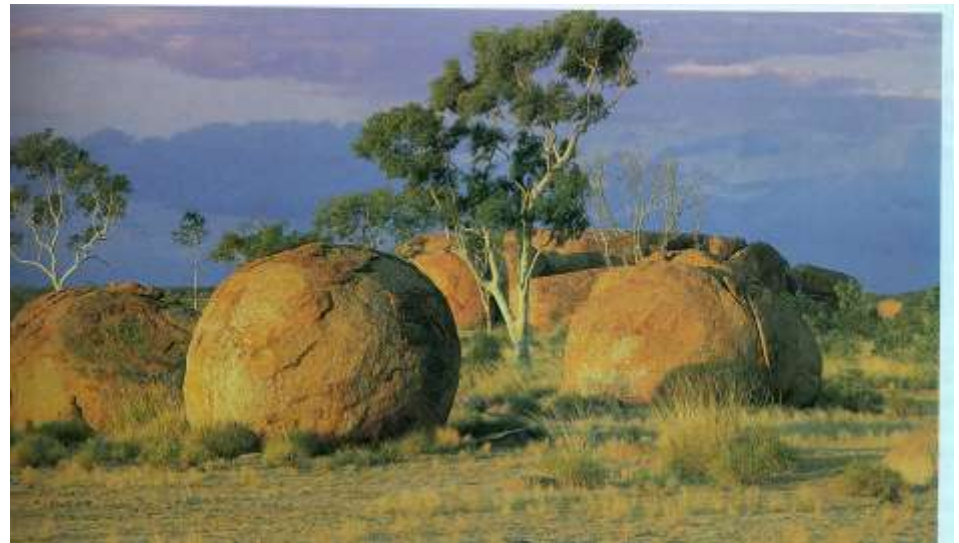
2 ... do que blocos menores, de modo que, quanto menores os blocos, mais rápido se dá o intemperismo.

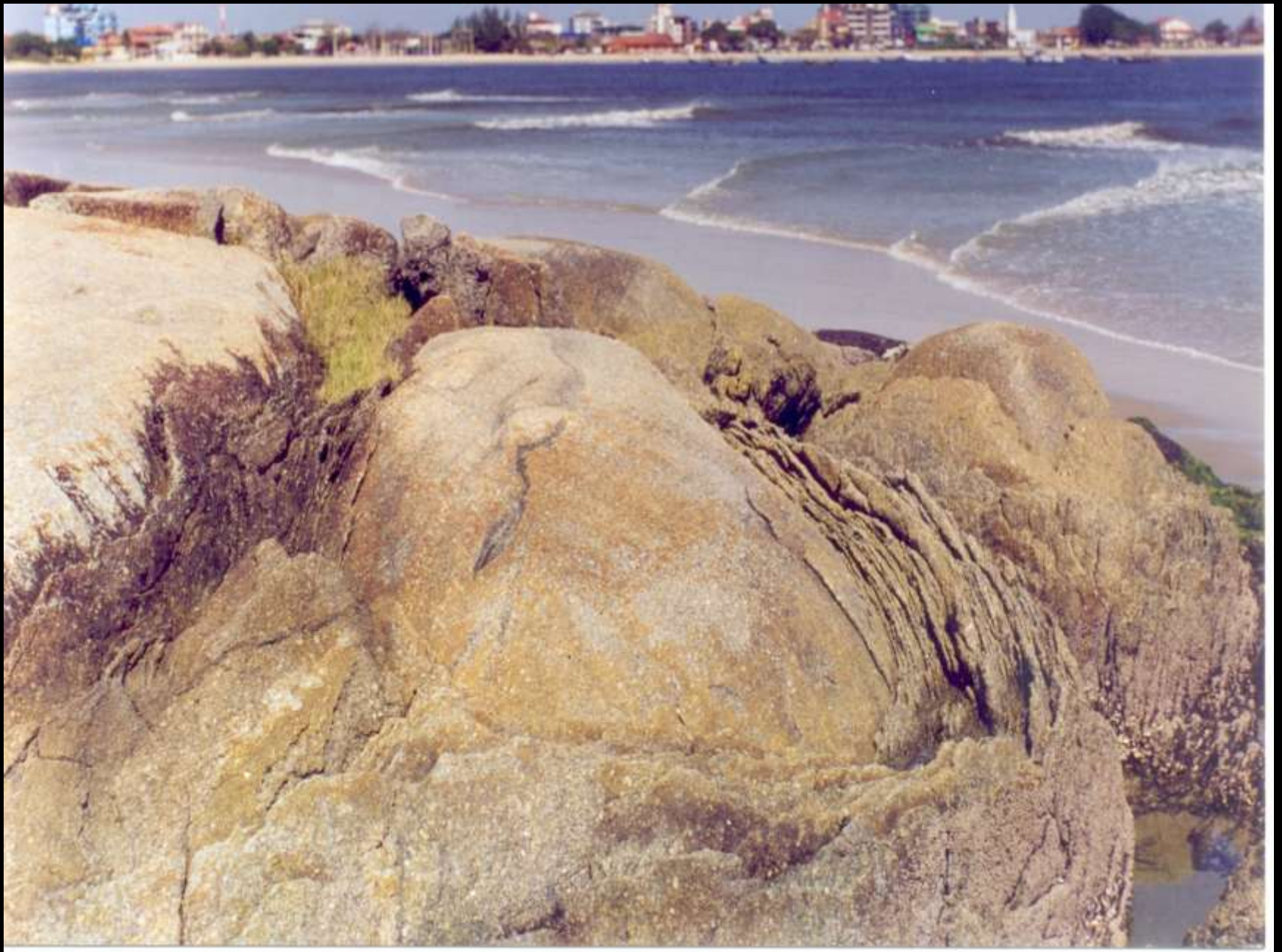
Figura 7.5 Quando uma massa de rocha se fragmenta em blocos menores, maior se torna a superfície disponível para as reações químicas do intemperismo.

As arestas e os vértices dos blocos são mais expostos ao ataque do intemperismo químico que as faces.



Todas as reações do intemperismo químico ocorrem nas fraturas das rochas onde há percolação da água, podendo resultar em **DECOMPOSIÇÃO ESFEROIDAL**





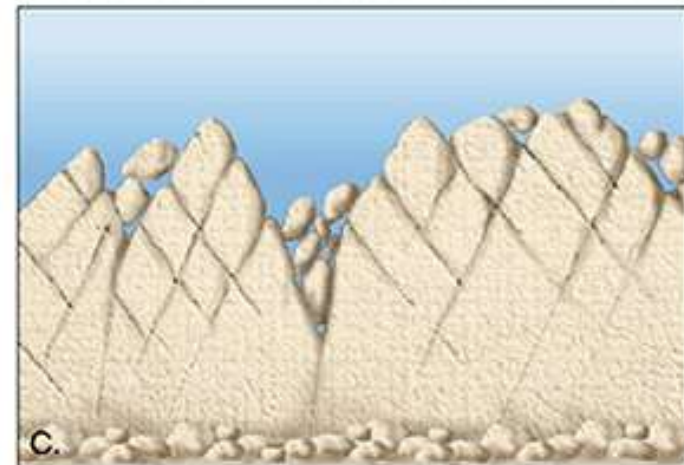
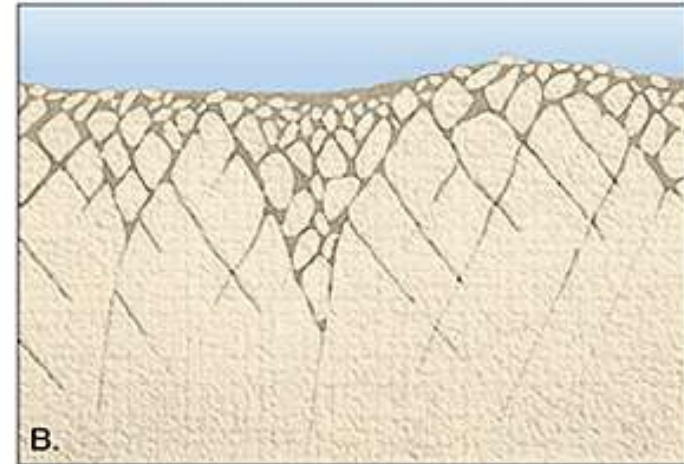
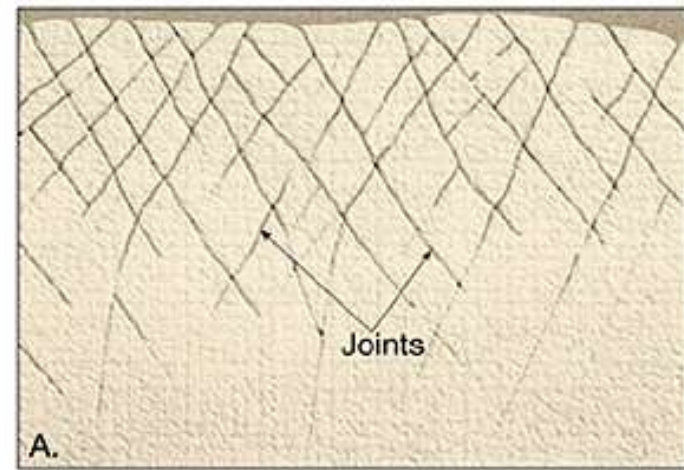
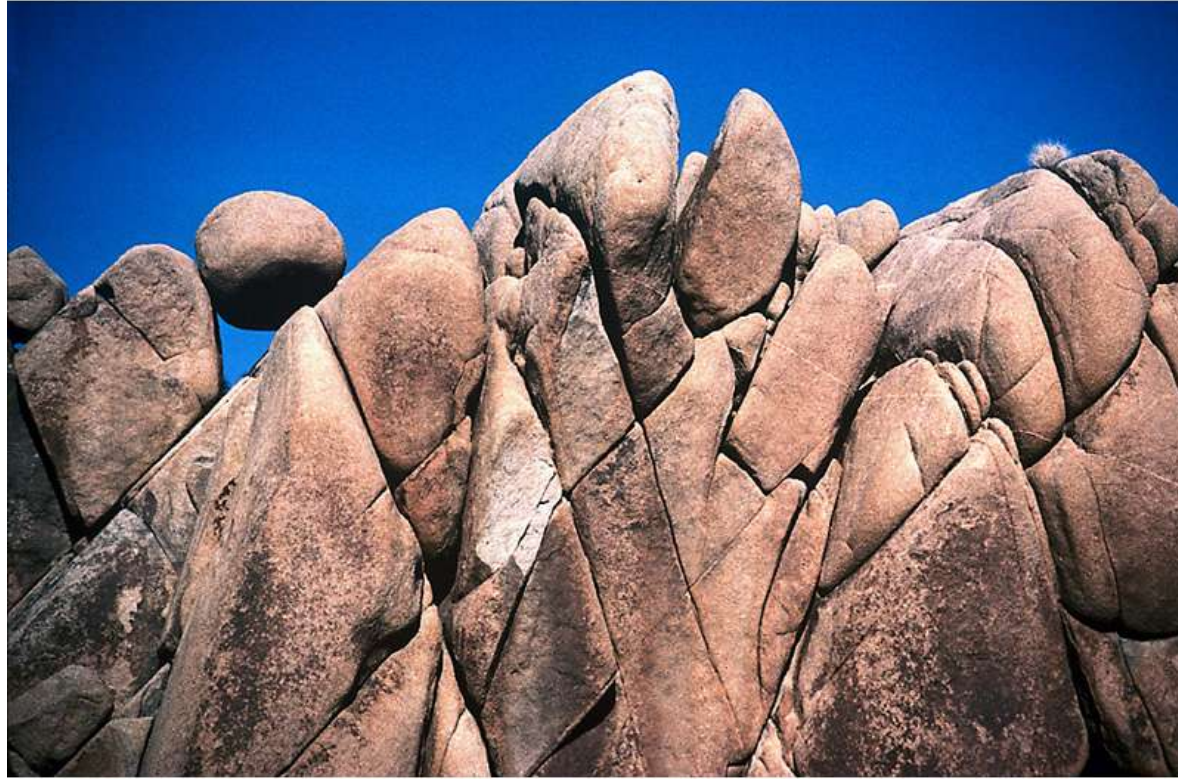
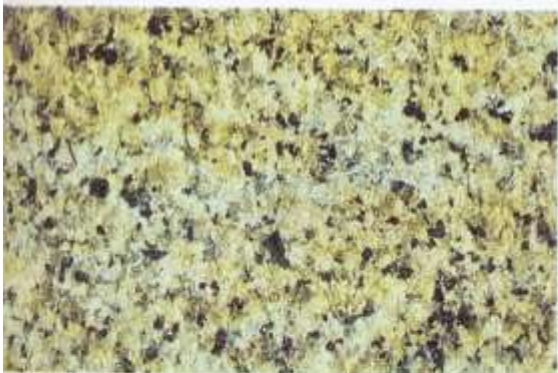


TABLE 5.1 Products of Weathering

Mineral	Residual Products	Material in Solution
Quartz	Quartz grains	Silica
Feldspars	Clay minerals	Silica K ⁺ , Na ⁺ , Ca ²⁺
Amphibole (hornblende)	Clay minerals Limonite Hematite	Silica Ca ²⁺ , Mg ²⁺
Olivine	Limonite Hematite	Silica Mg ²⁺



Basalt



Granite

Minerals	Solid weathering products		Soluble ions in solution	Neutral species in solution
Feldspar	→ Clay minerals	+	Na ¹⁺ and Ca ²⁺	Silica
Fe ²⁺ mineral	→ Clay minerals and goethite	+	Mg ²⁺	Silica
Magnetite	→ Goethite			
Feldspar	→ Clay minerals	+	Na ¹⁺ and K ¹⁺	Silica
Mica	→ Clay minerals	+	K ¹⁺	
Fe ²⁺ mineral	→ Clay minerals and goethite	+	Mg ²⁺	Silica
Quartz	→ Quartz			

Figure 6.9 Products of Chemical Weathering When a basalt weathers chemically, its silicate minerals and magnetite are converted to clay minerals, goethite, soluble cations, and silica.

When a granite weathers, these same products result from the breakdown of feldspar and ferromagnesian minerals, but they include grains of quartz that are resistant to chemical breakdown.

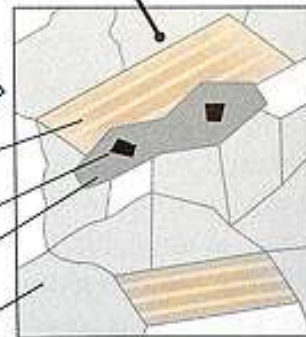


Figura 7.2 Fotomicrografia, obtida por microscópio eletrônico de varredura, de um feldspato marcado e corroído pelo intemperismo químico no solo. [Extraído de R. A. Berner e G. R. Holden Jr., "Mechanism of Feldspar Weathering: Some Observational Evidence", *Geology* 5 (1977): 369]

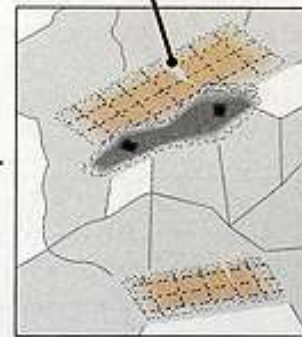


1 O granito é constituído por cristais de vários minerais, que se decompõem com diferentes taxas.

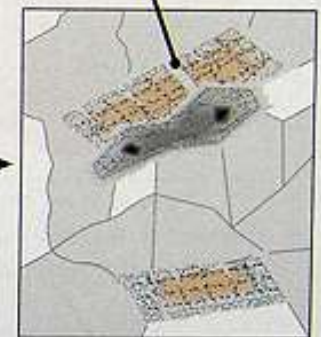
Feldspato
Magnetita
Biotita
Quartzo



2 As fissuras formam-se ao longo dos bordos do cristal. O feldspato, a biotita e a magnetita começam a se decompor, enquanto o quartzo permanece inalterado.



3 A decomposição progride e, com as fissuras abertas, a rocha fragiliza-se e desintegra-se.



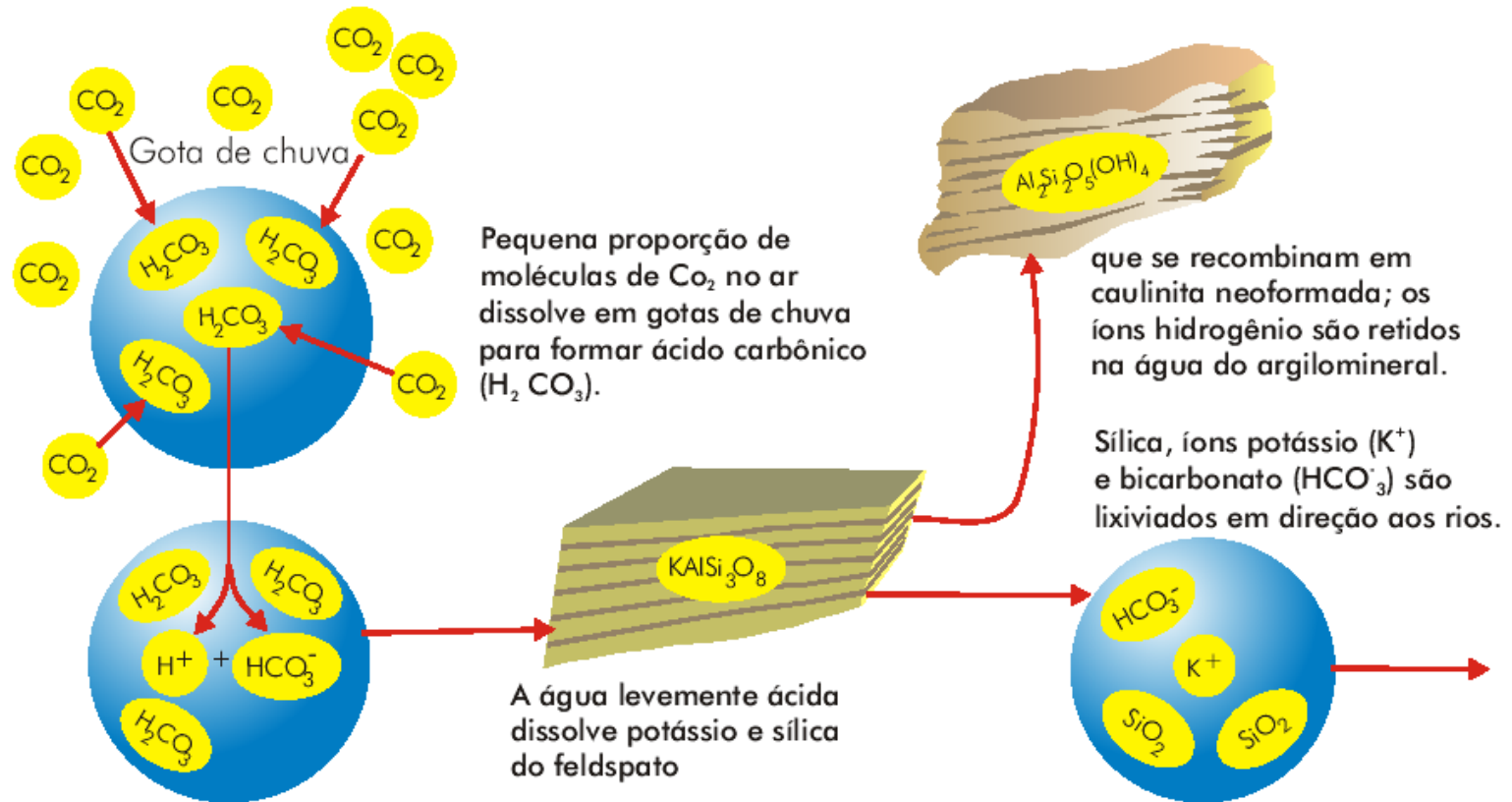


Fig. 8.8 Alteração de um feldspato potássico em presença de água e ácido carbônico, com a entrada de H^+ na estrutura do mineral, substituindo K^+ .

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

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.

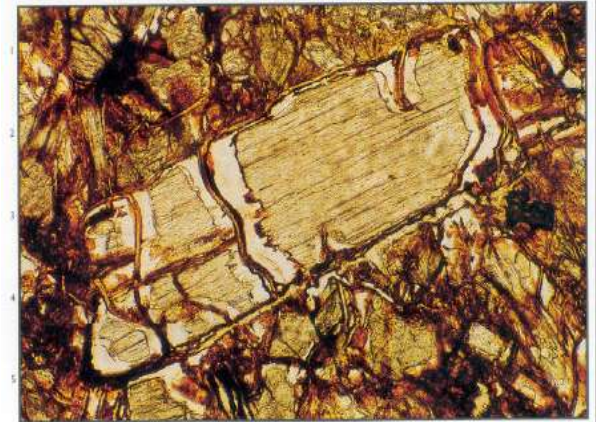
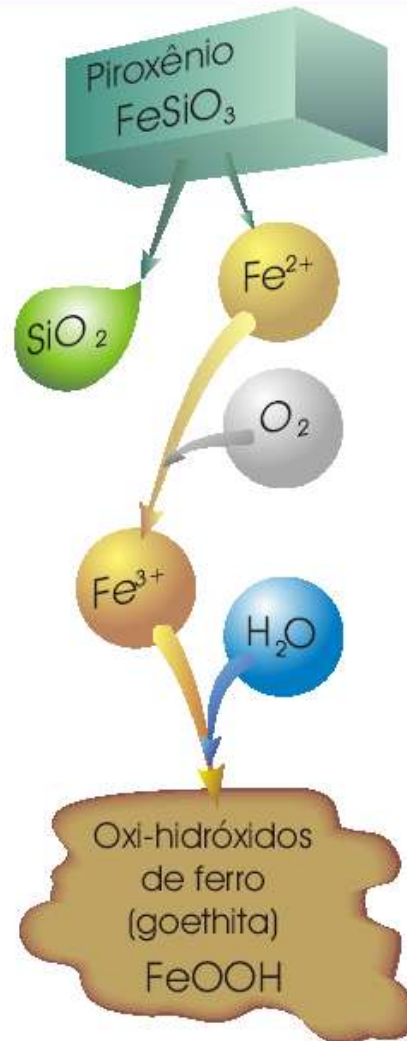
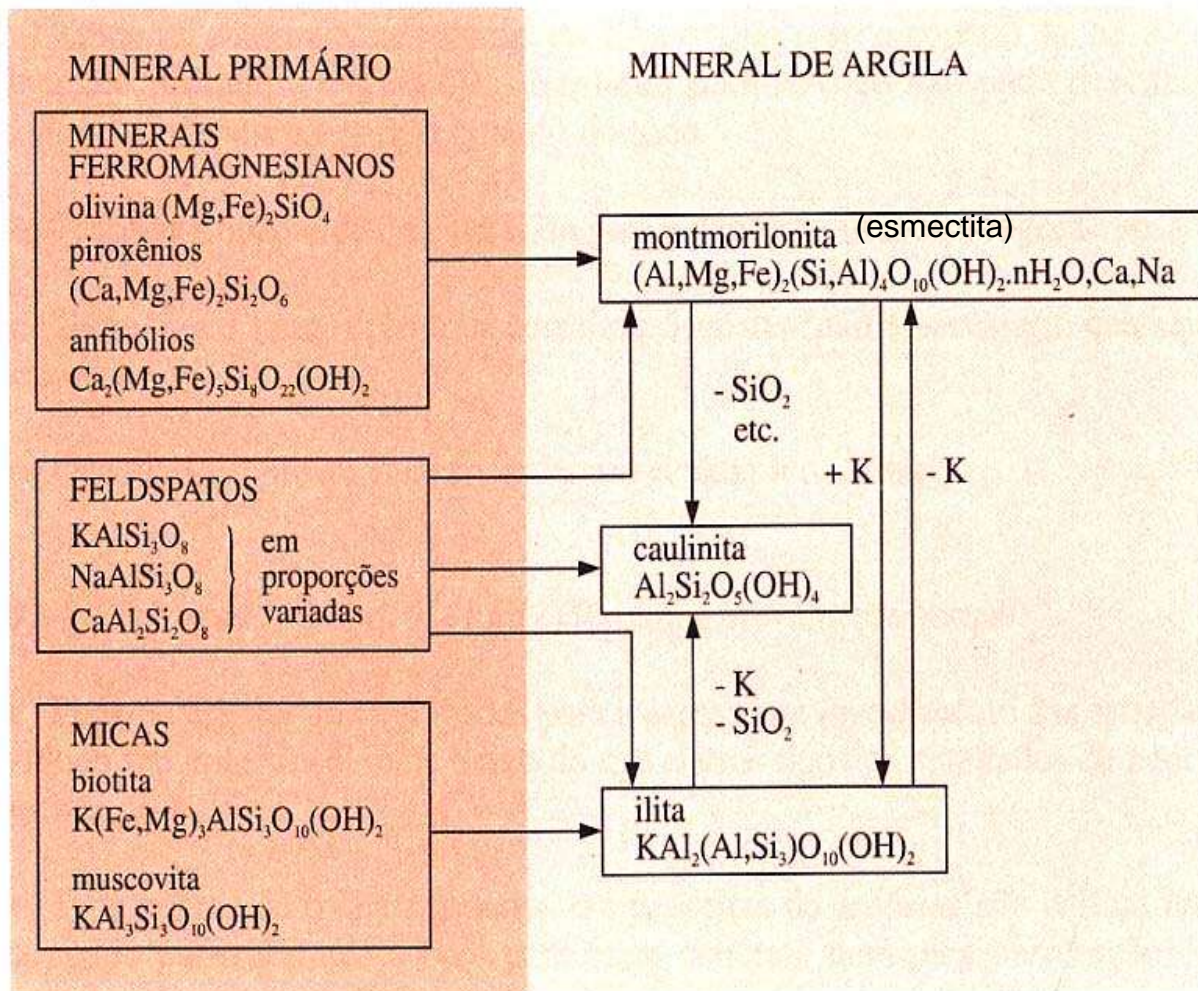


Fig. 8.11 A alteração intempérica de um mineral com Fe²⁺ resulta, por oxidação do Fe²⁺ para Fe³⁺, na formação de um oxi-hidróxido, a goethita.

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



Todas as argilas são originadas pelo intemperismo

Figura 20 Relações entre minerais primários formadores de rochas e os argilominerais produzidos por eles por intemperismo.



Formação de alvéolos por dissolução em arenitos



Formação de panelões por dissolução em arenito



Formação de panelões por dissolução em arenito

Formação dos Solos



- Adição
- Remoção
- Transformação
- Translocação

Tempo



Rocha

Rocha recém-exposta



A

Rocha

Solo jovem raso (Neossolo)

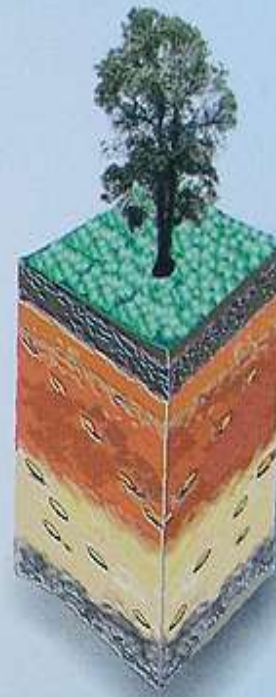


A

Bi

Rocha

Solo intermediário pouco desenvolvido (Cambissolo)



A

E

Bt

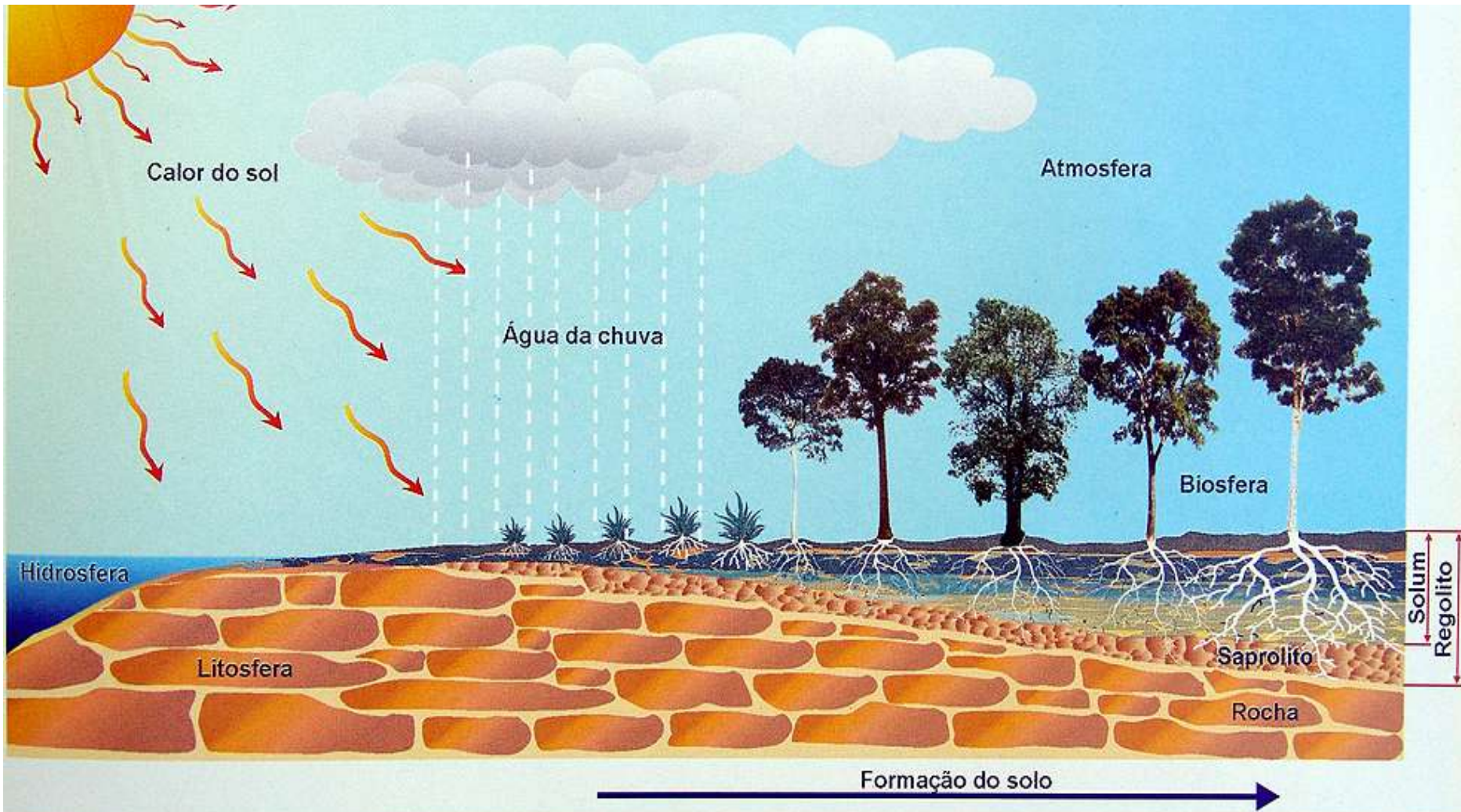
C

(ou saprolito)

Rocha

Solo maduro bem desenvolvido (Argissolo)

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.



O calor, a água e o ar são os principais agentes que intemperizam as rochas da litosfera para formar o regolito. Os solos se formam na parte superior do regolito adjacente à atmosfera, biosfera e hidrosfera.



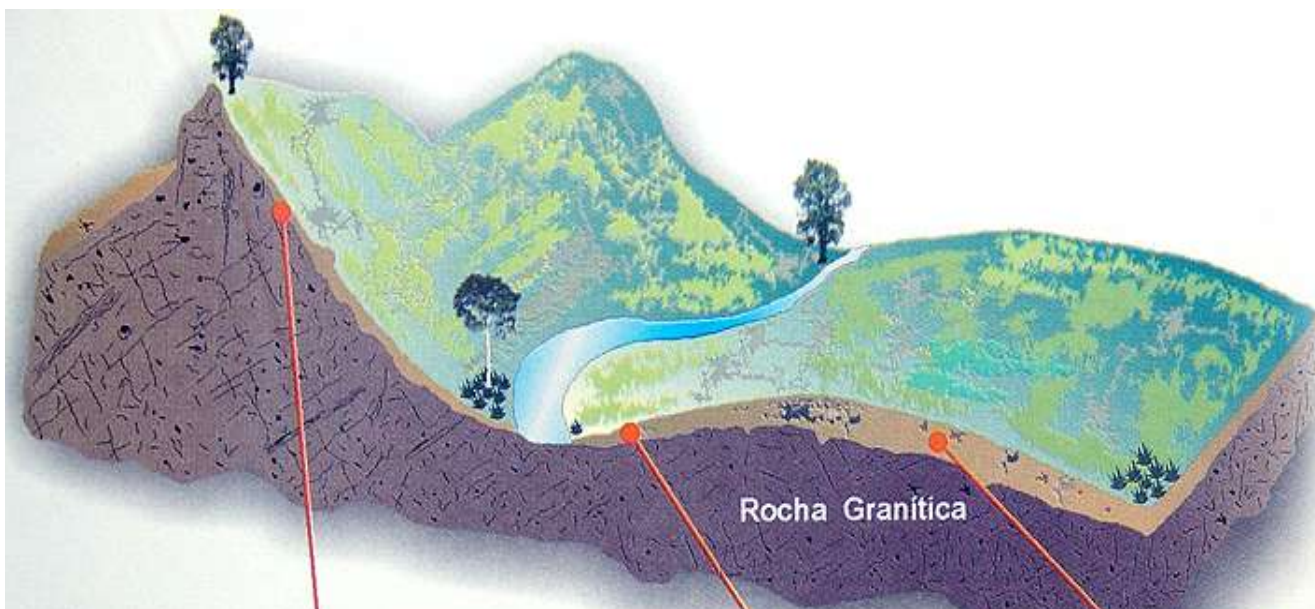
Regolito - saprolito



Figura 7.4 O processo pelo qual o feldspato e outros minerais decompõem-se e o soluto acumula-se em níveis mais inferiores do solo é análogo ao de filtragem do café, quando a água, ao passar pelos interstícios do pó, dissolve certas substâncias, deixando para trás um resíduo alterado, e acumula-se com o soluto (cafeína e outros) no recipiente inferior da cafeteira.

– Classificação geral dos solos quanto a origem

- **solos residuais** → formados in situ pelo intemperismo das rochas
- **solos transportados** → formado pelo material de intemperismo transportado e depositado em outro local. Exs: solos coluviais, solos aluviais, solos eólicos



Rocha Granítica



Neossolo Litólico



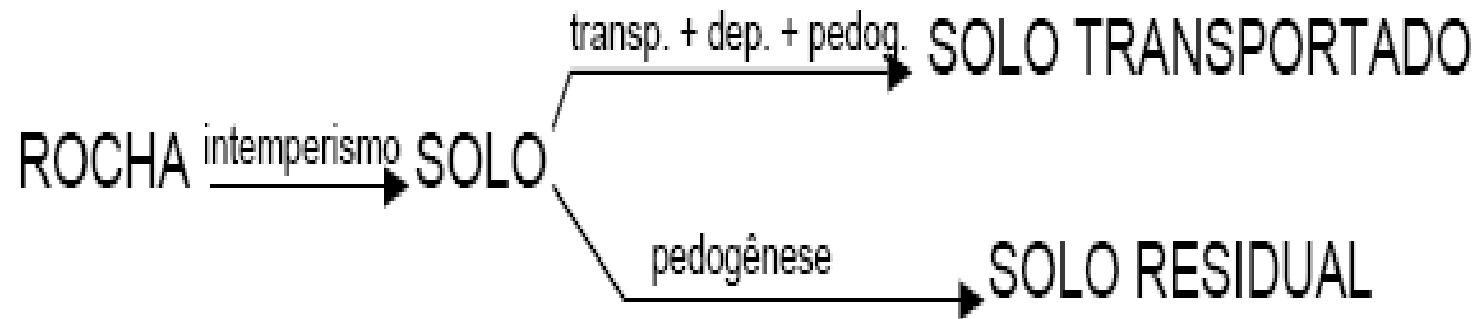
Gleissolo



Argissolo Vermelho-Amarelo

Relevo influenciando nas características dos solos. Nas áreas mais declivosas, os solos são menos desenvolvidos que nas áreas mais planas (onde perfil é avermelhado). Nas áreas mais baixas, próximas do riacho, os solos são acinzentados.

– Processo de formação dos solos



pedogênese \rightarrow processos físico-químicos responsáveis pela evolução dos perfis de solos \rightarrow diferenciação dos horizontes de solo \rightarrow reações de adição, remoção, translocação e transformação de elementos

Solos residuais

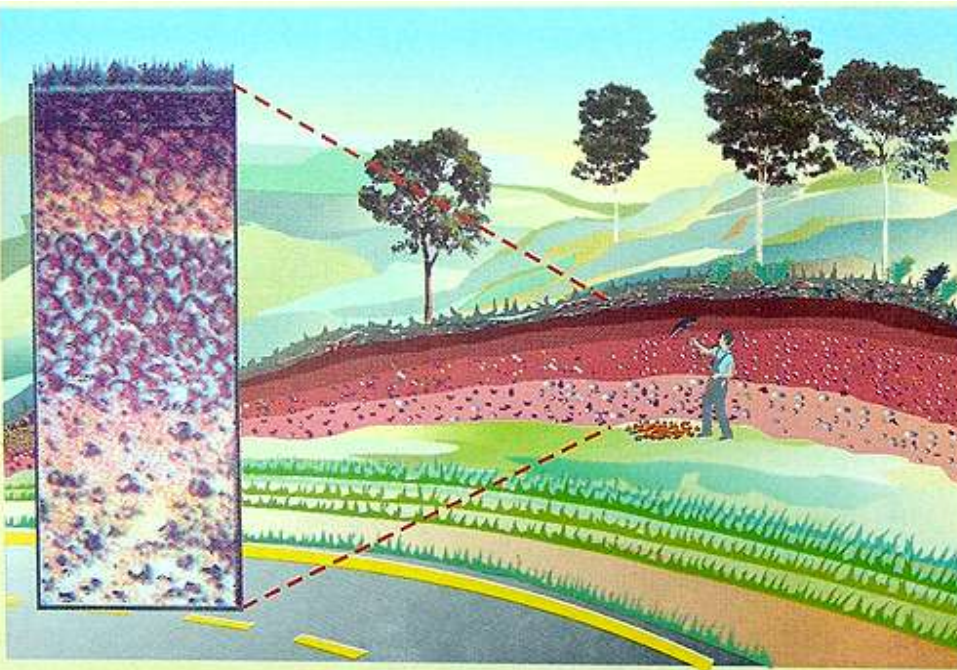
Características ligadas ao material de origem.

Exemplo de formação de um solo residual - etapas:

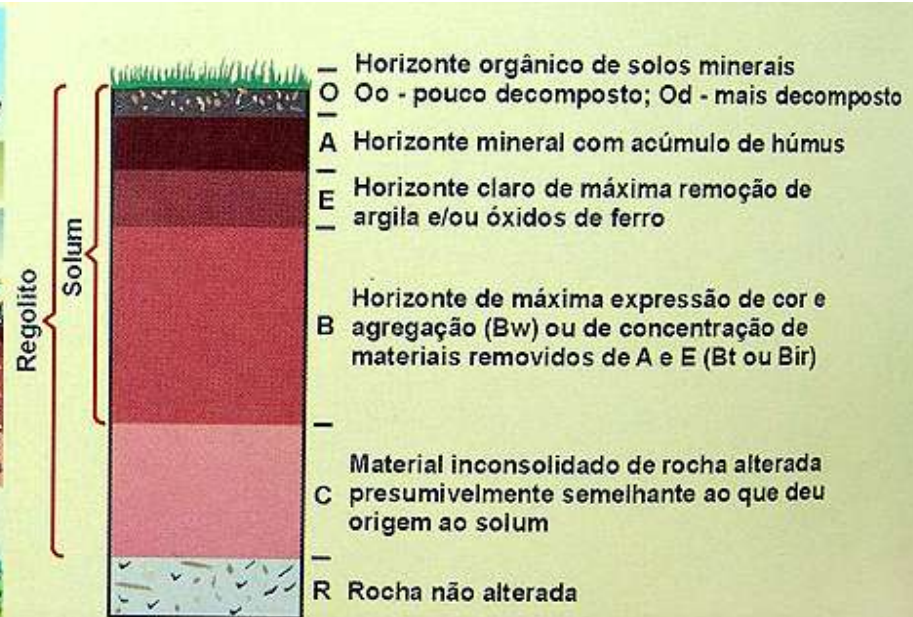
- Ação inicial: intemperismo físico + químico
- Diaclasamento → formação de blocos
- Blocos arredondados dispersos em matriz de solo arenoso (matacões)
- Desaparecimento dos matacões. Massa de solo areno-argiloso → solo saprolítico (hor C)
- Pedogênese
 - formação do hor B. Ex: laterização - solo laterítico
 - formação do hor A por adição de matéria orgânica

Processos pedogenéticos:

dessilicação - ferralitação - latolização / eluviação - iluviação / gleização / carbonatação / salinização / podzolização / paludização / turbação

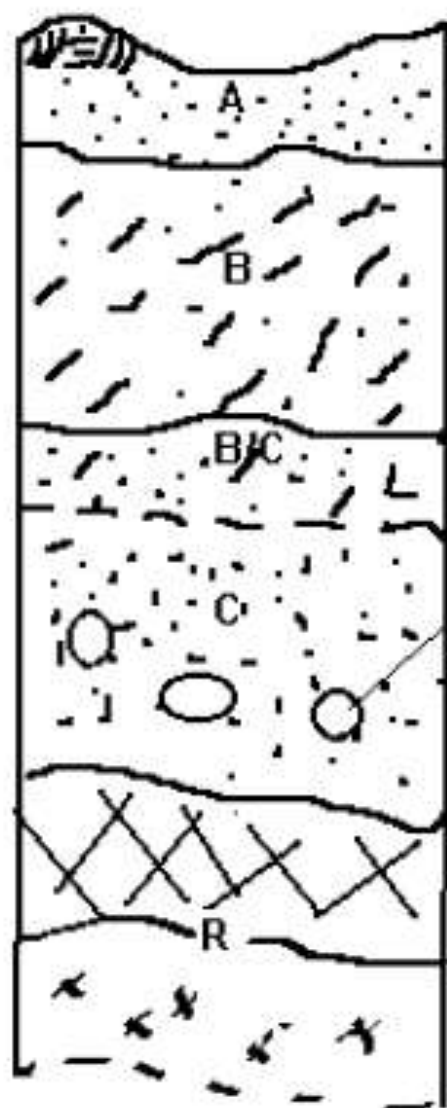


Taludes de estradas expondo o perfil do solo constituem locais úteis para o seu estudo.



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

PERFIL DE SOLO
RESIDUAL
TROPICAL



solo com acúmulo de matéria orgânica - HOR A

solo com concentração de argila e óxidos de Fe e Al - cor avermelhada ou amarelada - solo laterítico - HOR B

horizonte de transição

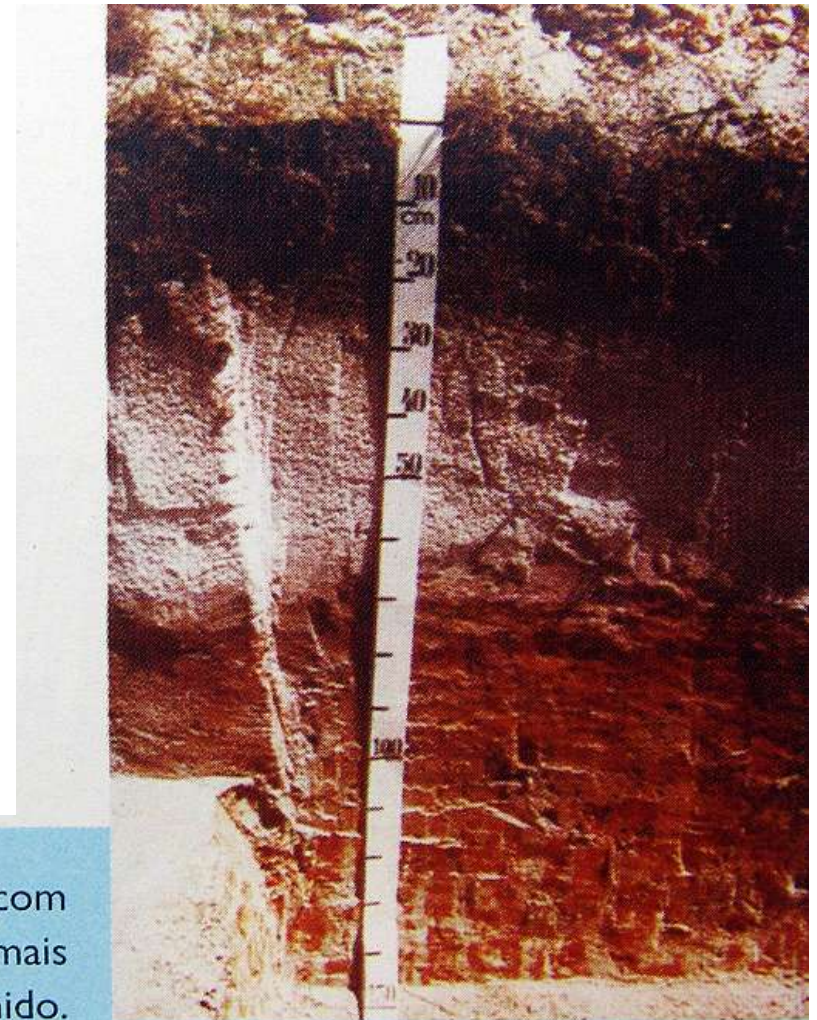
matações

solo com estrutura e textura herdada da rocha - cor variada - solo saprolítico - HOR C

rocha fraturada, opaca e com resistência reduzida - saprólito ou rocha alterada

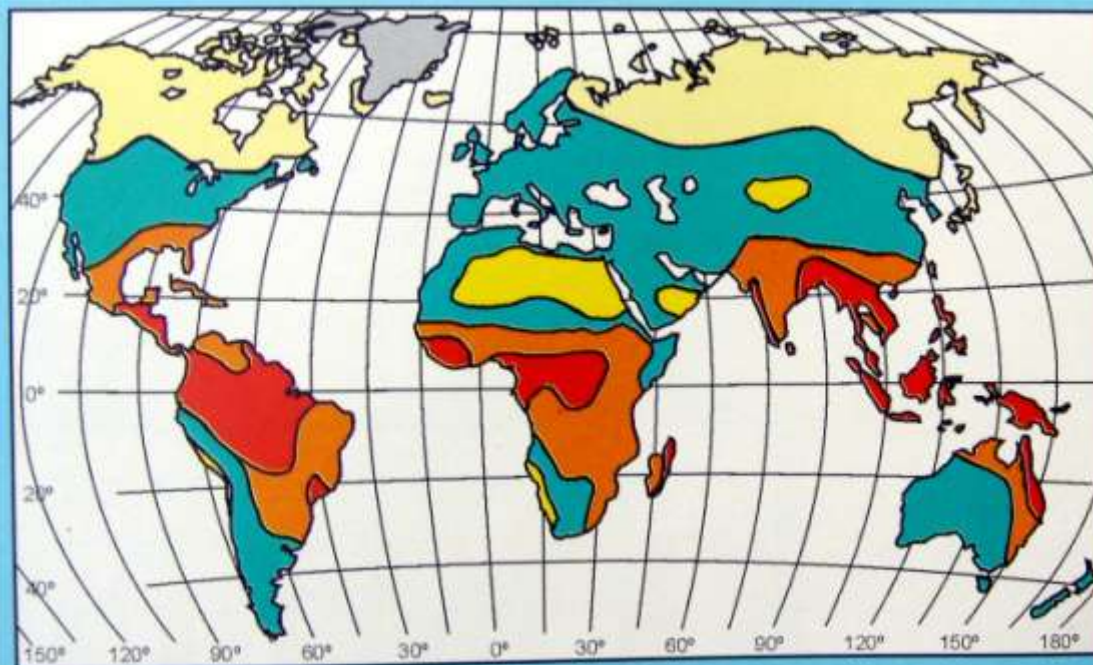
rocha sã - HOR R

Exemplo de perfil de solo residual



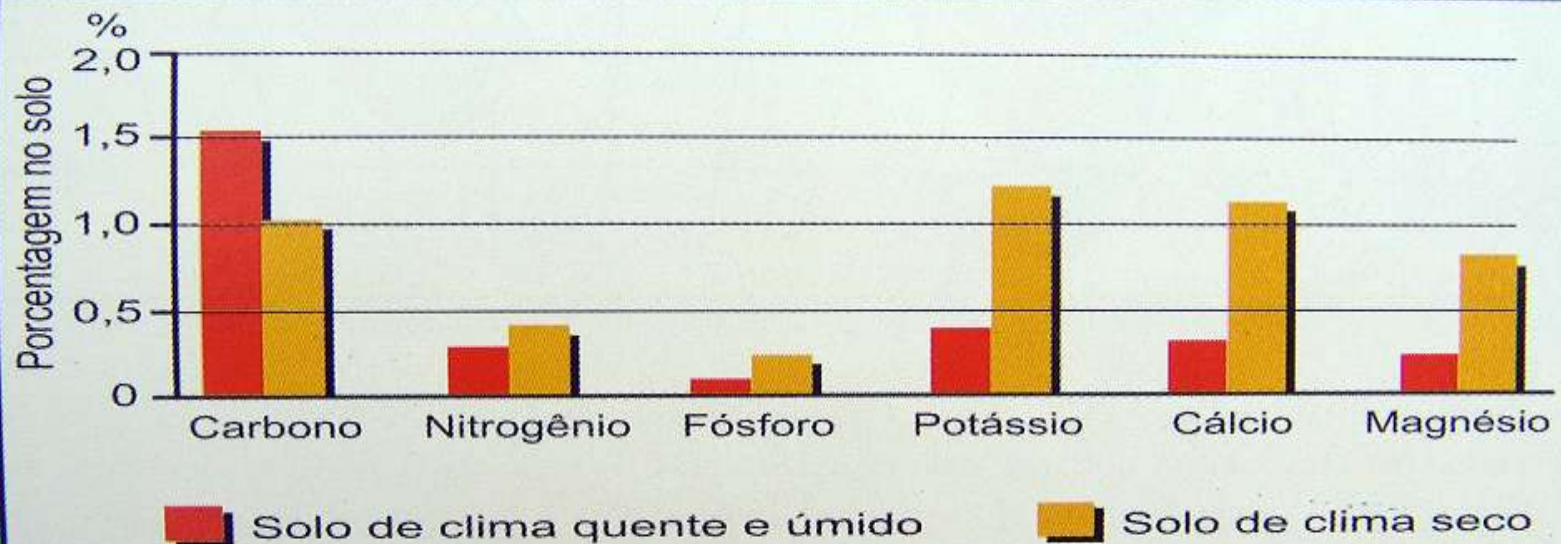
Perfil de solo residual de granito - Morro do Osso / Porto Alegre (Bastos, 1999)

Aspecto de perfil com horizonte E (camada mais clara) bem definido.



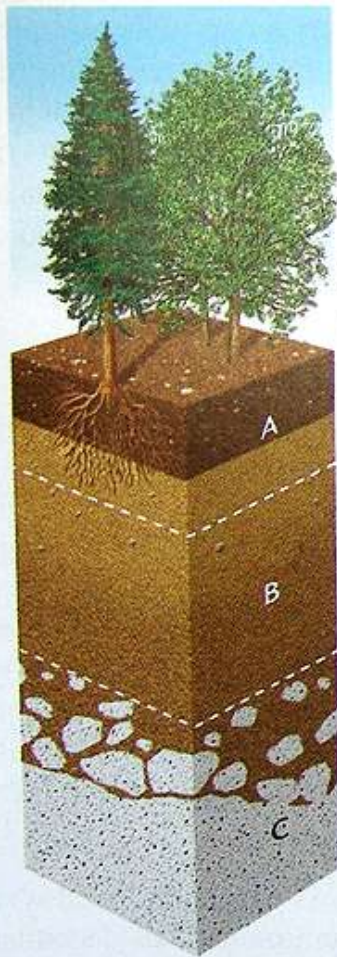
- Zona equatorial úmida: solos mais intemperizados
- Zona de clima tropical e subtropical: intemperismo em intensidade média
- Zona de clima temperado: baixo grau de intemperismo
- Zona de clima árido (deserto): predomínio de intemperismo físico
- Zona de clima frio: muito baixo grau de intemperismo
- Zona coberta com gelo

Principais zonas climáticas do Globo que coincidem com áreas de diferentes tipos de intemperismo.



Os teores totais médios de alguns dos principais compostos do solo variam de acordo com o clima.

(a) Clima temperado



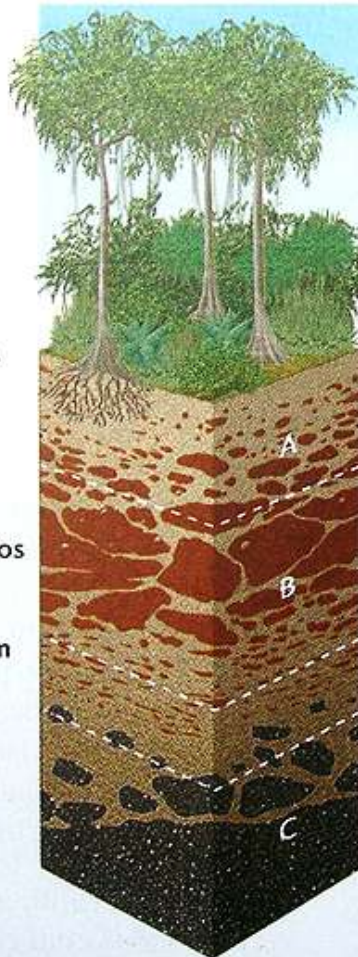
PEDALFER

Húmus e solo lixiviado (quartzo e argilominerais presentes)

Alguns óxidos de ferro e alumínio precipitados; todos os materiais solúveis, como carbonatos, foram lixiviados

Substrato de granito

(b) Clima úmido



LATERITO

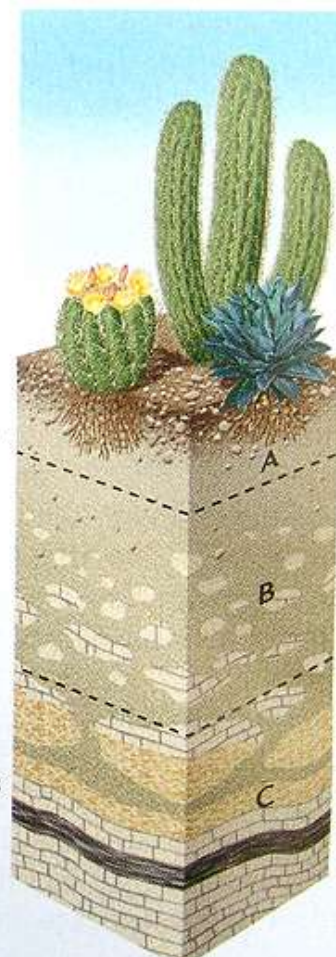
Camada de húmus delgada ou ausente

Massa espessa de óxidos de ferro e alumínio insolúveis; quartzo ocasional

Fina zona lixiviada

Substrato de rochas ígneas máficas

(c) Clima seco



PEDOCAL

Húmus e solo lixiviado

Concreções e nódulos de carbonato de cálcio precipitado

Substrato de arenito, folhelho e calcário

Solos transportados

• Solos coluviais ou eluviais

Transportados por gravidade auxiliado pelas enxurradas

Compostos por materiais pouco selecionados: argila até blocos próximo ao pé das encostas

Depósitos de encosta:

- **tálus** - estado fofo, predominância de fragmentos de rocha, apresentando rastejo
- **colúvios** - mais estáveis, com certa pedogênese

• Solos aluviais

Transportados pela água corrente

Composição - f(energia de transporte) - seleção granulométrica

torrentes - blocos / rios - areias e siltes / lagos e lagoas - argilas

Exs: depósitos marinhos, fluviais (depósito de fundo de rio e terraços fluviais), deltáicos, glaciais, ...

• Solos eólicos

Transportados pelo vento - melhor seleção granulométrica

Composição: areias e siltes

Exs: dunas em praias litorâneas e desertos e depósitos de loess em regiões desérticas e glaciais

• Solos orgânicos

Ocorrem em áreas baixas e depressões continentais e baixadas litorâneas e marginais de rios

Mais de 20% de MO - pouca argila - e 30% - muita argila

Origem:

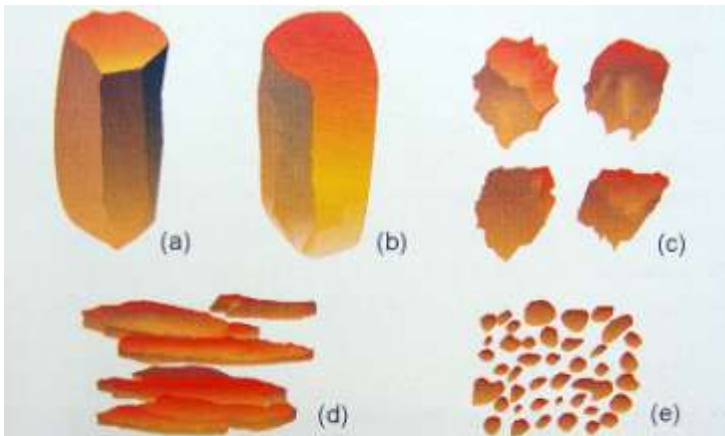
- impregnação de MO em sedimentos
- transformação carbonífera de materiais vegetais
- absorção de carapaças de organismos marinhos

solos finos impregnação por húmus → solos finos orgânicos carbonificação → turfa

Turfa: solo fibroso, rico em MO, baixa densidade, combustível quando seco



Exemplos de classificação de solos por outros critérios



Alguns dos diferentes tipos de estrutura do solo. Acima, da esquerda para a direita: (a) prismática; (b) colunar e (c) blocos angulares e subangulares; abaixo: (d) laminar e (e) granular.

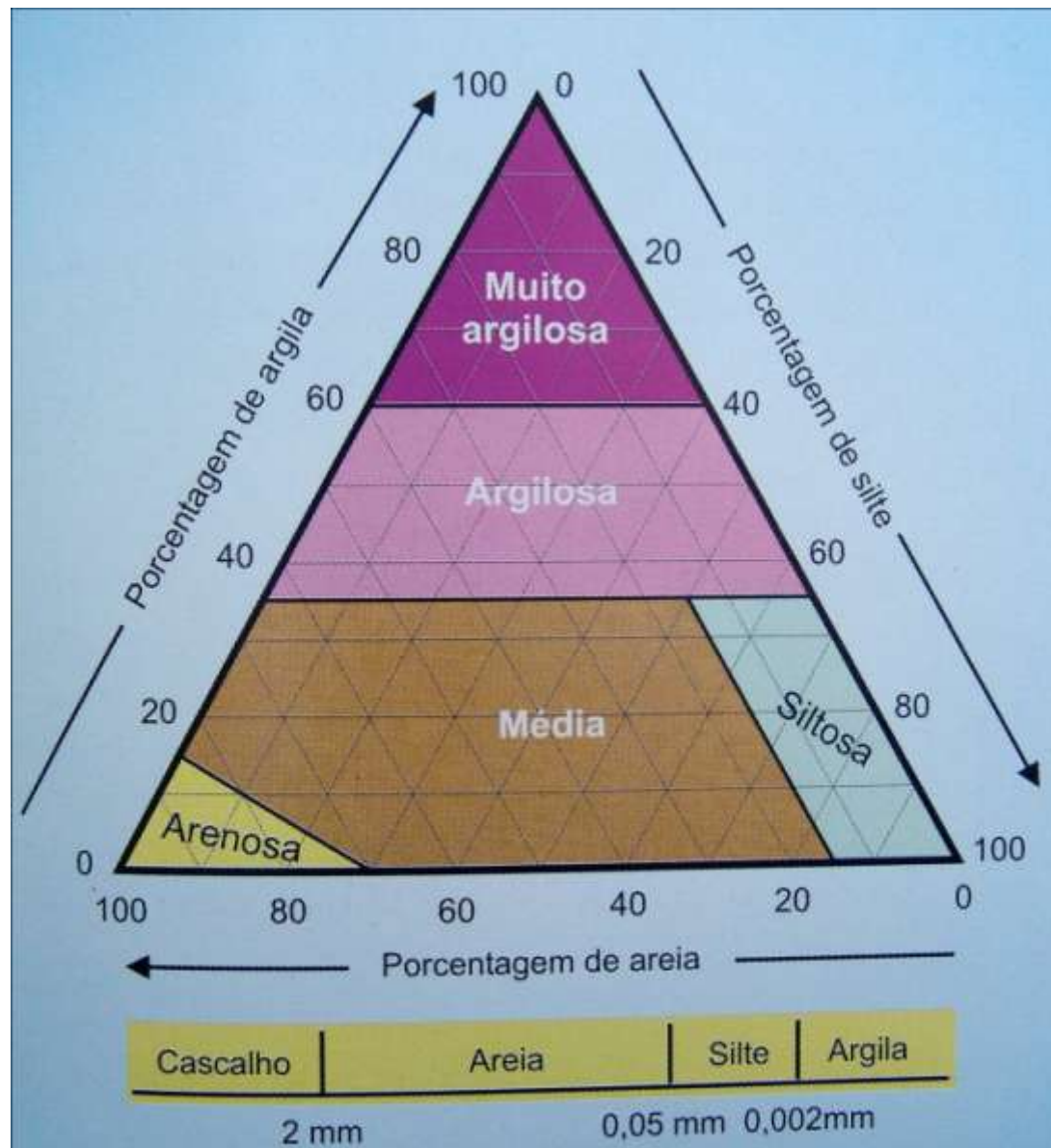




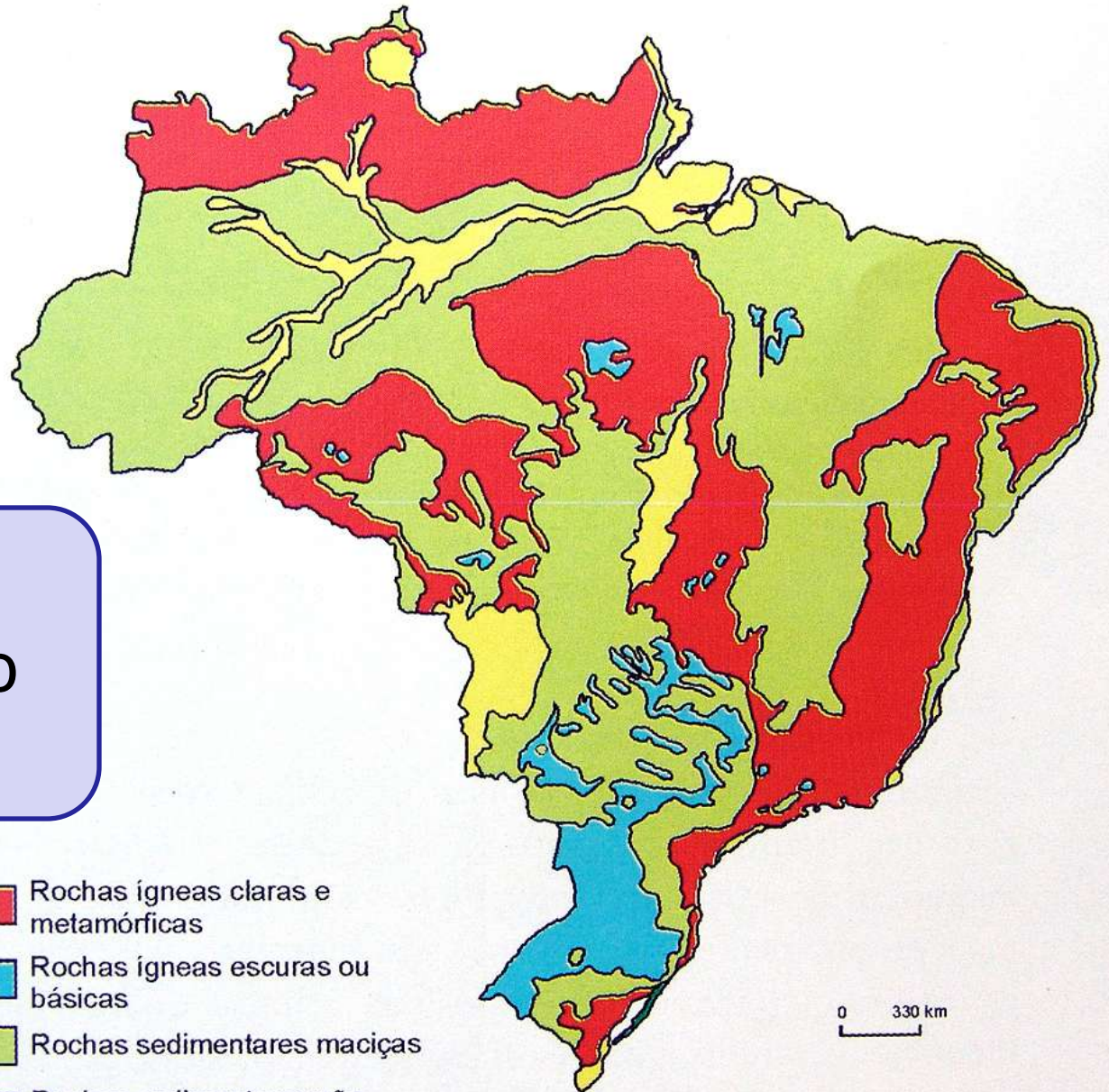


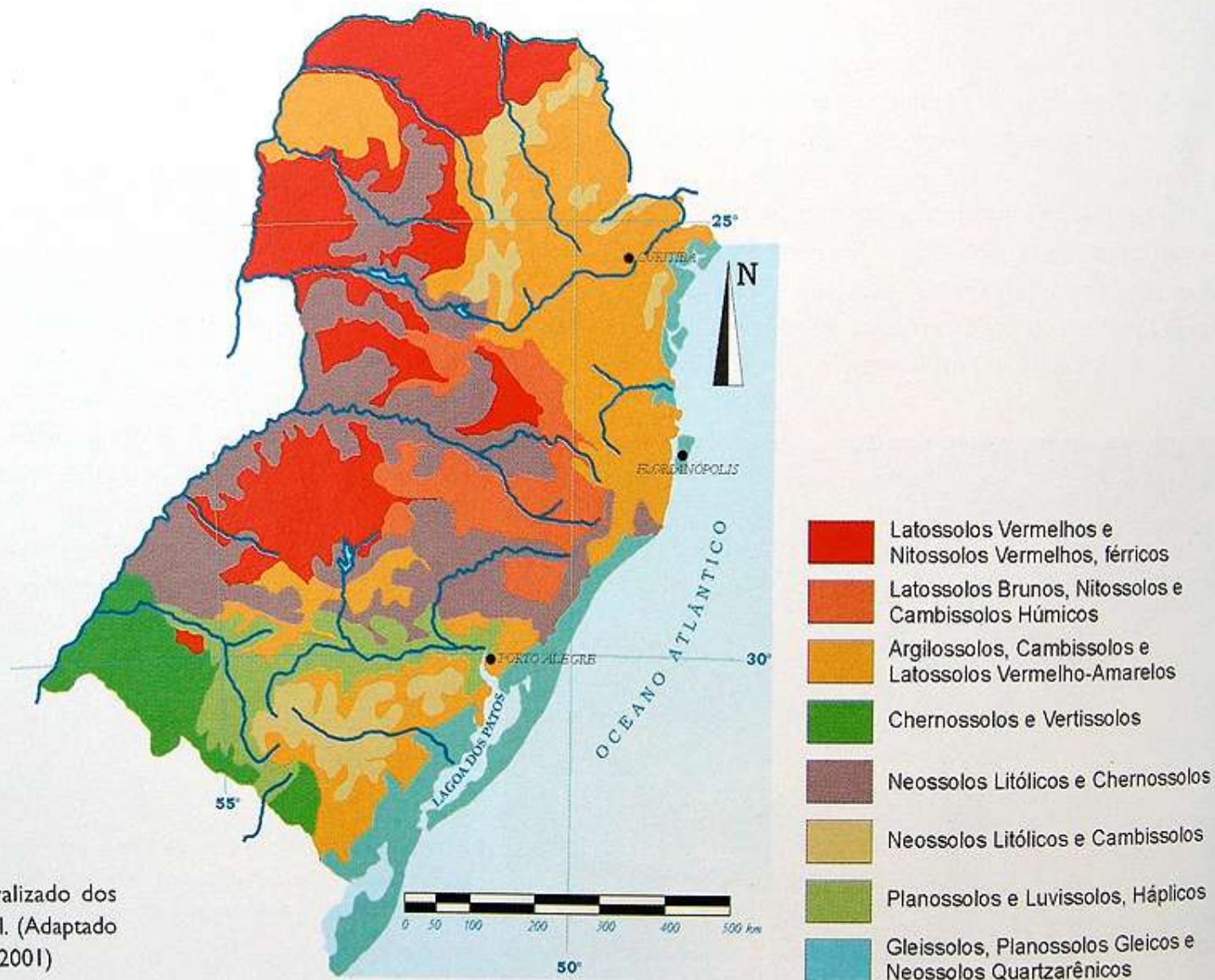
Diagrama triangular generalizado para determinação das cinco principais classes de texturas do solo (segundo EMBRAPA).

Esboço da Geologia do Brasil

-  Rochas ígneas claras e metamórficas
-  Rochas ígneas escuras ou básicas
-  Rochas sedimentares maciças
-  Rochas sedimentares não consolidadas ou aluviões



Formação e Conservação dos Solos



Mapa esquemático e generalizado dos principais solos da região Sul. (Adaptado de EMBRAPA, 1981 e IBGE, 2001)