

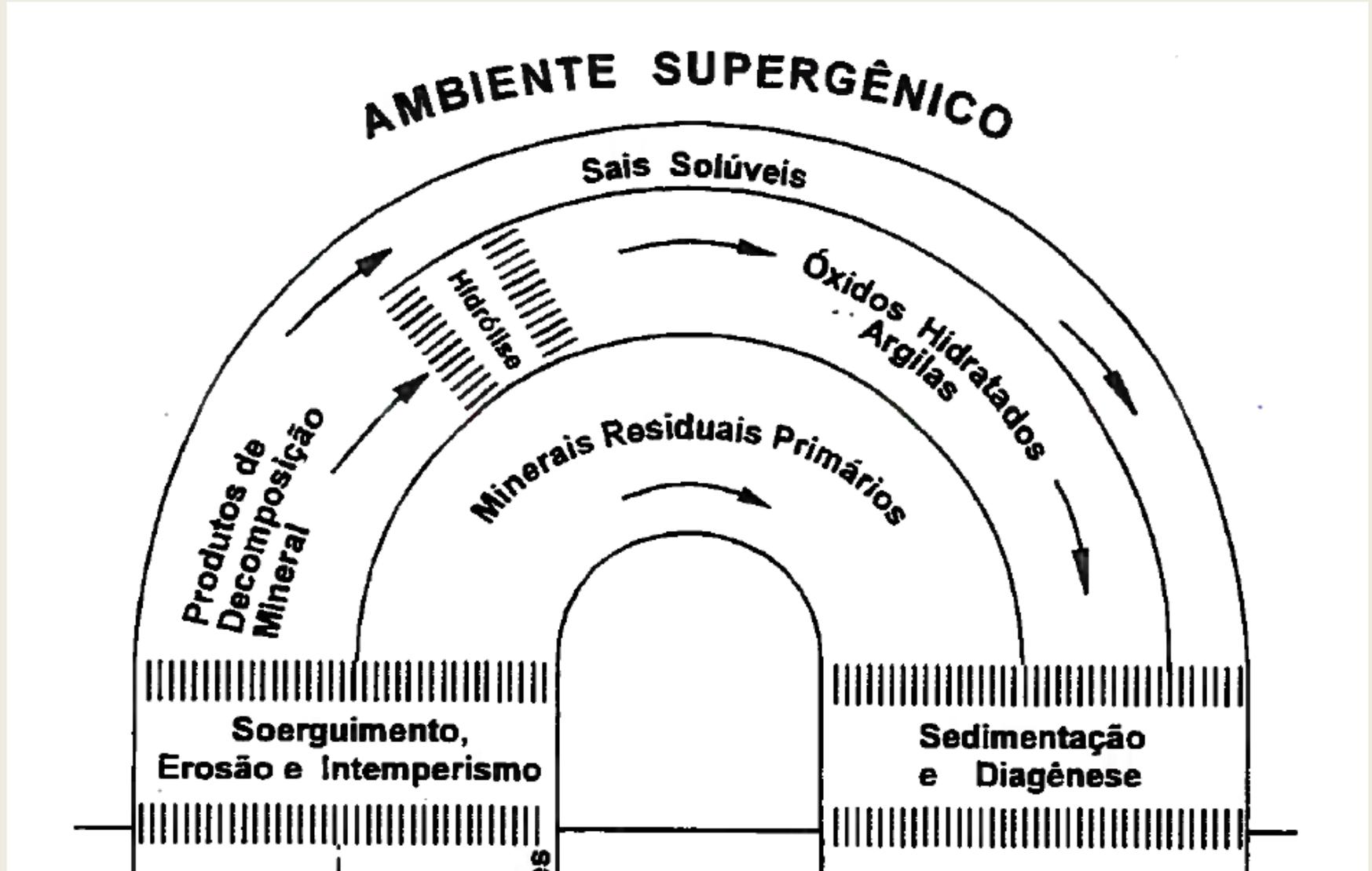


AGG 0201 Geoquímica de Ambientes Superficiais
Profa. Andréa Teixeira Ustra

Intemperismo

Interação entre o Sistema
Clima e o Sistema
Tectônica de placas

O Ciclo geoquímico superficial



Intemperismo

- Terra – planeta rochoso (material consolidado, resistente e formado em grande parte por minerais silicáticos).
- Maior parte da superfície está exposta ao ar, ao Sol, à água e aos seres vivos
- Cobertura composta por materiais friáveis ~ **solo** – materiais que se originam das rochas, por desagregação e decomposição (**intemperismo**), depois por reorganização (**pedogênese**) e, conforme o caso, também por erosão, transporte e sedimentação

Intemperismo

Todos esses materiais inconsolidados, incoerentes, representam a ligação entre a vida e a litosfera, pois é a partir dos elementos químicos liberados na água e nos solos, por meio da decomposição das rochas, que a vida pode nutrir-se; daí a importância do intemperismo químico no estudo do ciclo biogeoquímico global.

Intemperismo

- Ocorre na superfície dos continentes, na interação entre litosfera - atmosfera-hidrosfera-biosfera
- Transforma as rochas em materiais móveis, inconsolidados, que podem ser erodidos, transportados e depositados em zonas mais baixas – soterrados por mais sedimentos sobrepostos, consolidam-se pela pressão e por processos de recristalização, tornando-se novamente rochas (sedimentares)

Evolution of **Minerals**

BY ROBERT M. HAZEN

Looking at the mineral kingdom through the lens
of deep time leads to a startling conclusion:
most mineral species owe their existence to life



Processos do intemperismo

- Desagrega os minerais das rochas e os fragmenta
- Modificar sua composição, decompondo os minerais mais frágeis e formando novos minerais

Processos do intemperismo

- Desagrega os minerais das rochas e os fragmenta

Intemperismo físico
Intemperismo físico -biológico

- Modificar sua composição, decompondo os minerais mais frágeis e formando novos minerais

Intemperismo químico
Intemperismo químico-biológico

Intemperismo físico

Transformações simplesmente mecânicas

Fragmentação das rochas e dos grãos minerais devido a variações de temperatura e de pressão

Intemperismo físico

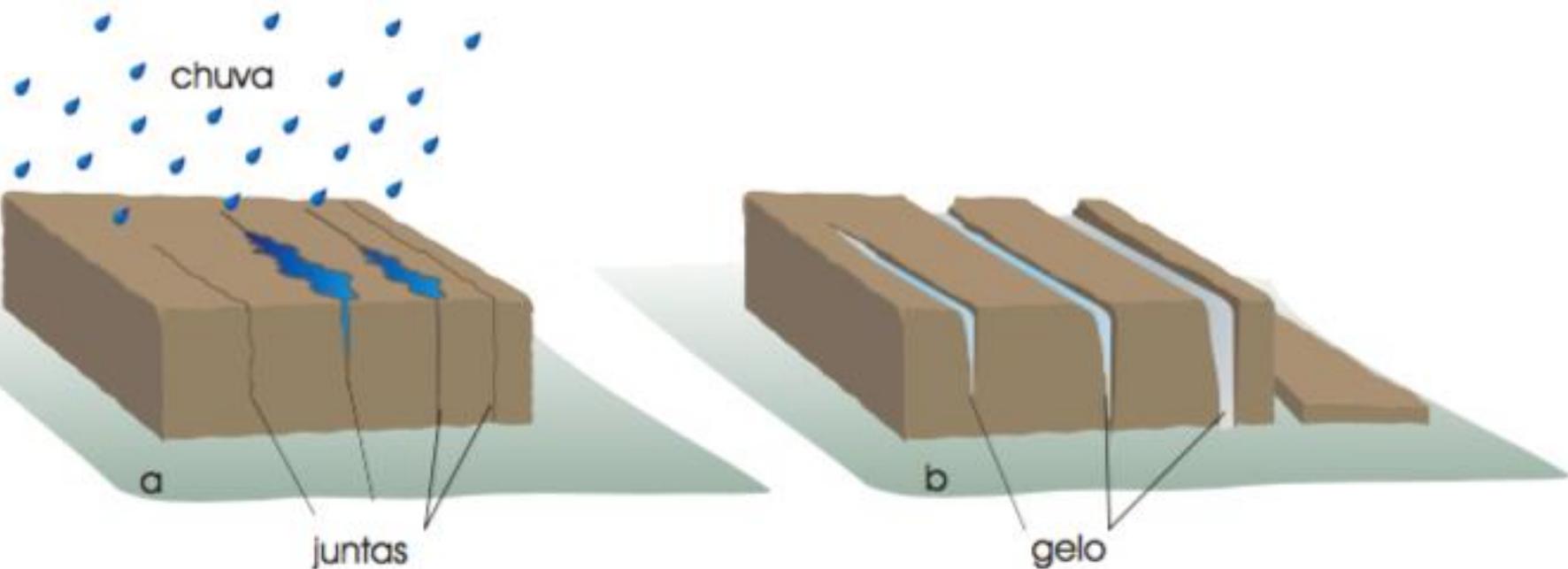


Fig. 8.2 Fragmentação por ação do gelo. A água líquida ocupa as fissuras da rocha (a), que posteriormente congelada, expande e exerce pressão nas paredes (b).

Intemperismo físico

Cristalização de gelo e de sais em fissuras: crescimento de cristais (tanto de gelo como de sais) nos espaços intergranulares dentro da rocha → paredes são pressionadas → descolamento e fraturamento dos grãos.

Este mecanismo com gelo é comum nos climas em que a água ocorre tanto no estado líquido quanto no estado sólido.

Ex: Itatiaia (RJ), Brasil (gelo de noite e água de dia)



Intemperismo físico

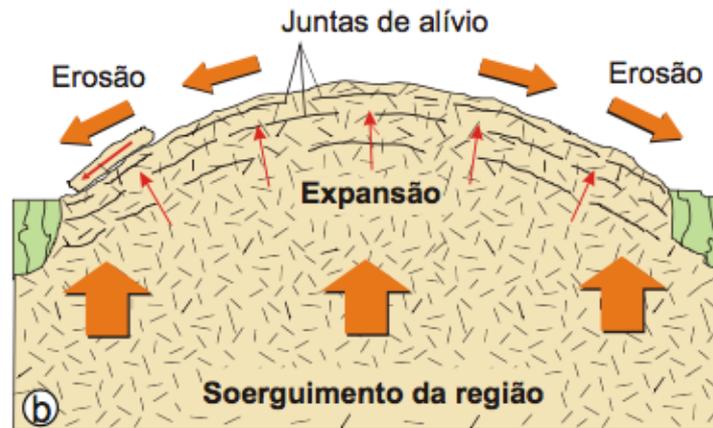
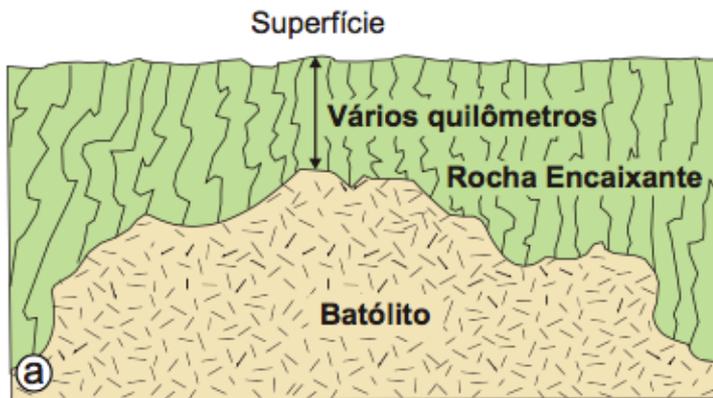
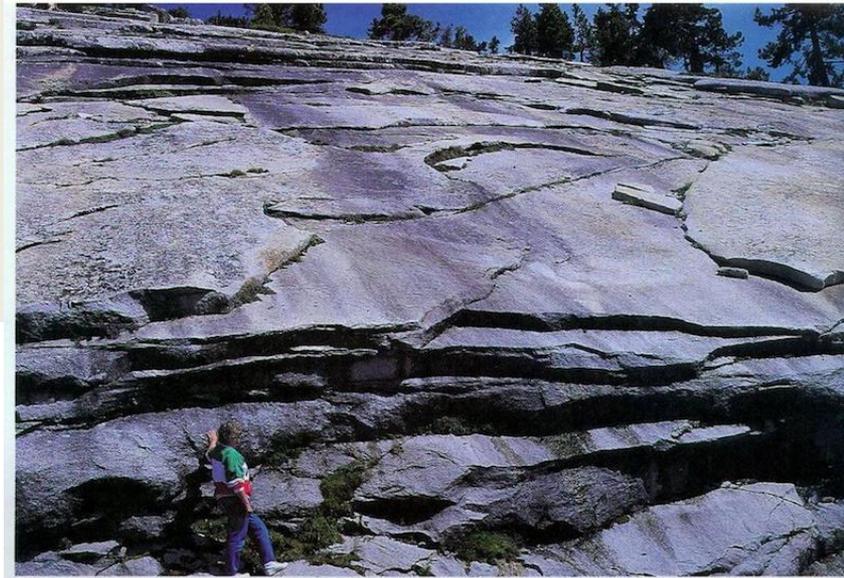
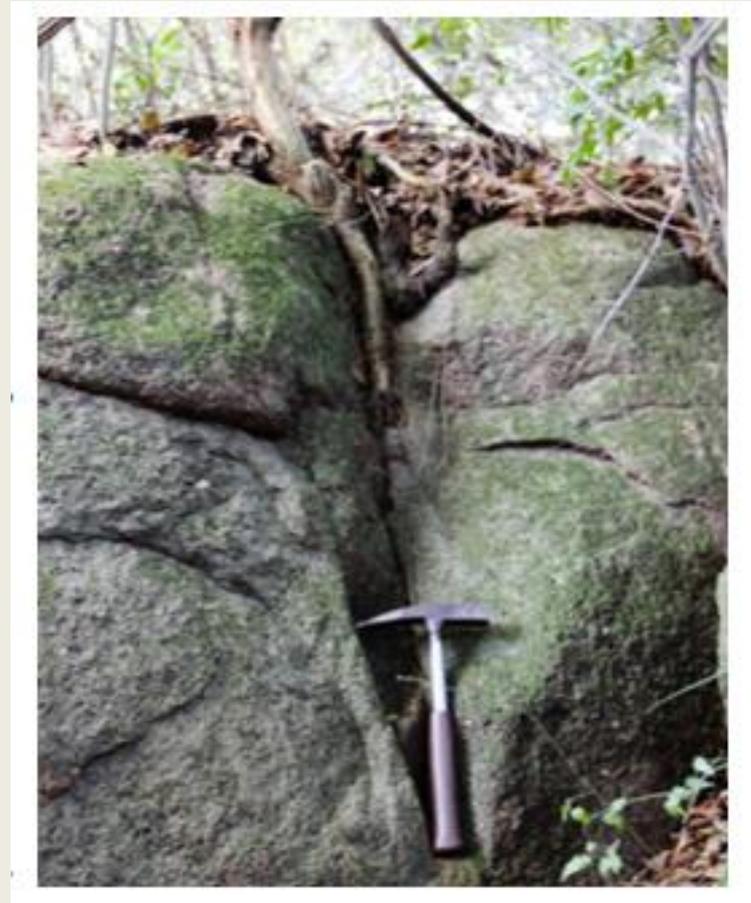


Fig. 8.4 Formação das **juntas de alívio** em consequência da expansão do corpo rochoso sujeito a alívio de pressão pela erosão do material sobreposto. Estas discontinuidades servem de caminhos para a percolação das águas que promovem a alteração química. a) antes da erosão; b) depois da erosão.

Intemperismo físico

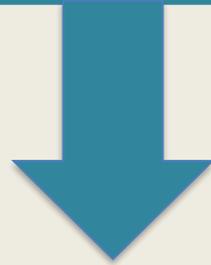
A presença de raízes também pode fragmentar as rochas. Este tipo pode ser chamado de intemperismo físico-biológico.



Intemperismo químico

Conjunto de reações promovidas pela presença da água no estado líquido, em contato com as rochas

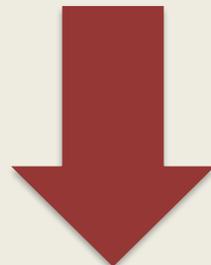
Intemperismo físico



Fragmentação aumenta a área exposta ao meio externo



Rochas com maior superfície exposta à ação da água

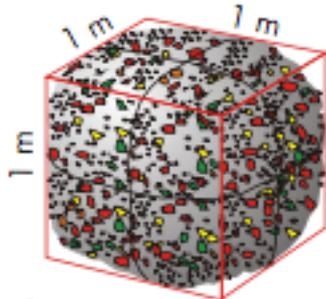


Intemperismo químico

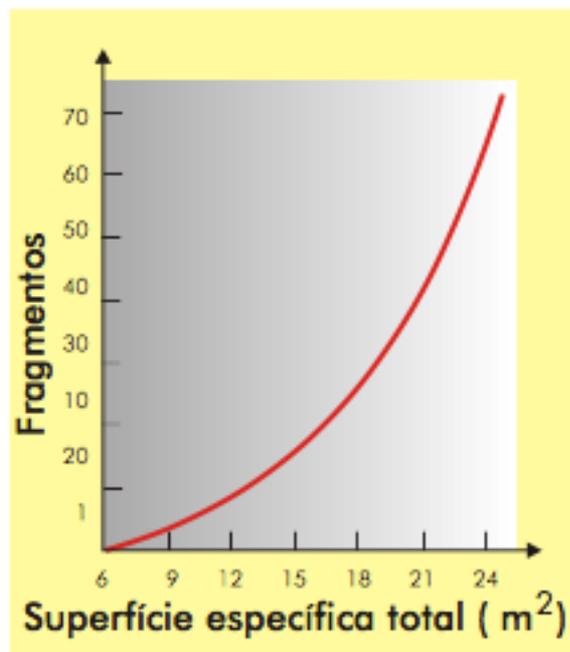
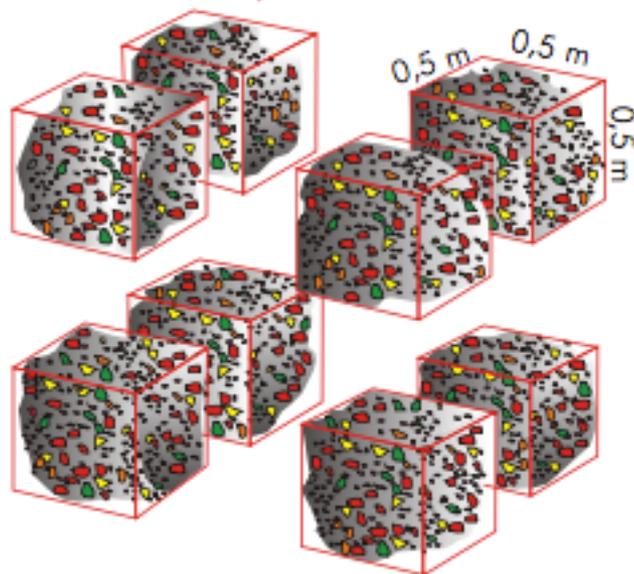
- Bloco único de aproximadamente
1 m de lado

- Volume = 1 m^3

- Superfície específica = 6 m^2



Ruptura ao longo
de fraturas



- 8 fragmentos, cada um
com aproximadamente
0,5 m de lado

- Volume = $(0,5)^3 \times 8 = 1 \text{ m}^3$

- Superfície específica = 12 m^2

Fig. 8.6 A fragmentação de um bloco de rocha é acompanhada por um aumento significativo da superfície exposta à ação dos agentes intempéricos.

Intemperismo químico

- Água da chuva = solução de alteração = solução de intemperismo
- Substâncias dissolvidas ao longo de sua trajetória pela atmosfera e pelo contato com a biosfera

Intemperismo químico

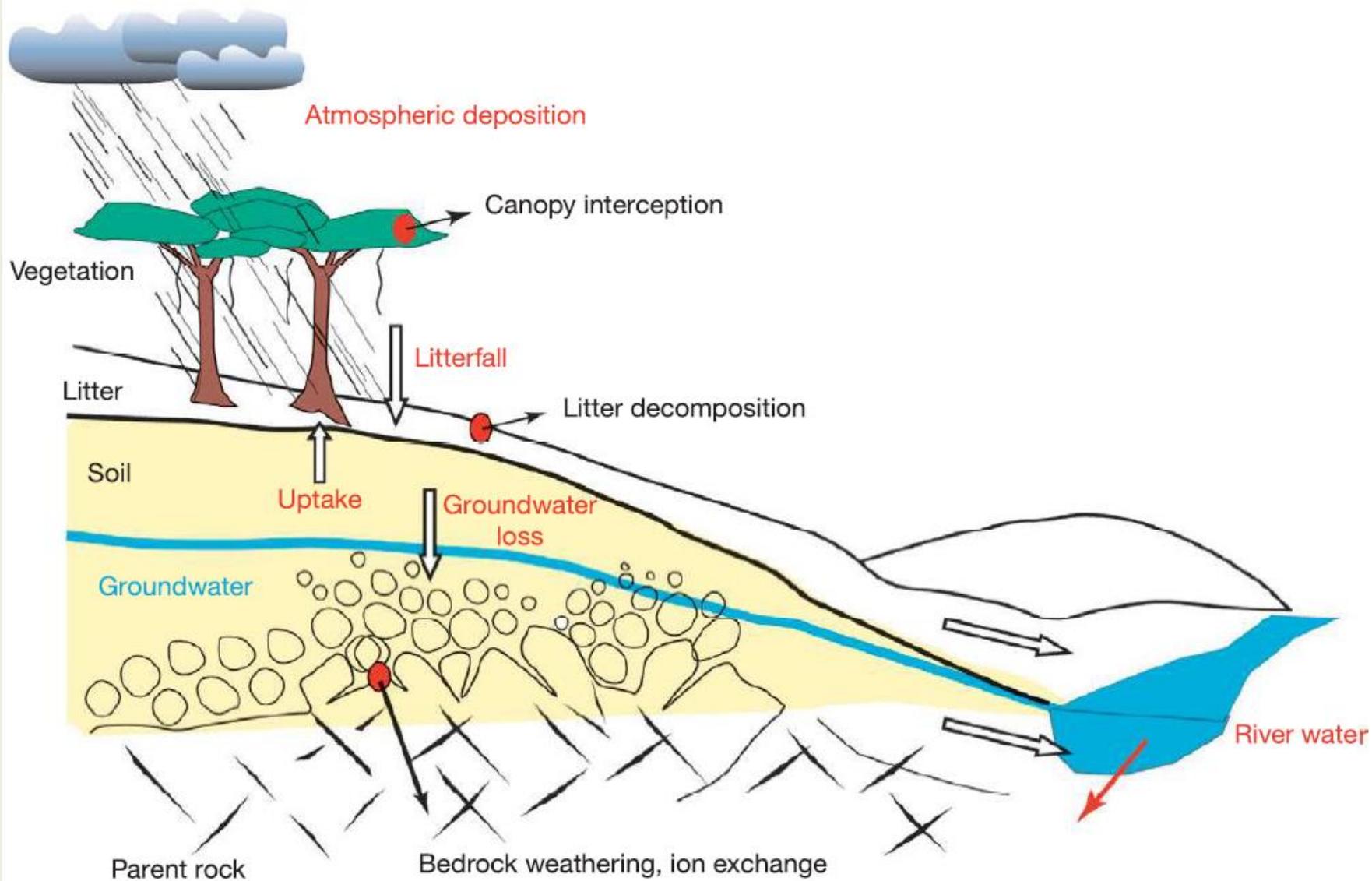
- Água da chuva = solução de alteração = solução de intemperismo
- Substâncias dissolvidas ao longo de sua trajetória pela atmosfera e pelo contato com a biosfera
- Minerais primários - sofrem reações químicas que dependem dos reagentes (minerais originais da rocha e soluções de alteração) e das condições em que as reações se processam (clima, relevo, presença de organismos e tempo)

Intemperismo químico

- Água da chuva = solução de alteração = solução de intemperismo
- Substâncias dissolvidas ao longo de sua trajetória pela atmosfera e pelo contato com a biosfera
- Minerais primários - sofrem reações químicas que dependem dos reagentes (minerais originais da rocha e soluções de alteração) e das condições em que as reações se processam (clima, relevo, presença de organismos e tempo)
- Resultado = conjunto de minerais secundários (ou supérgenos, pois são gerados na superfície), que constituem as formações superficiais.

Exemplo

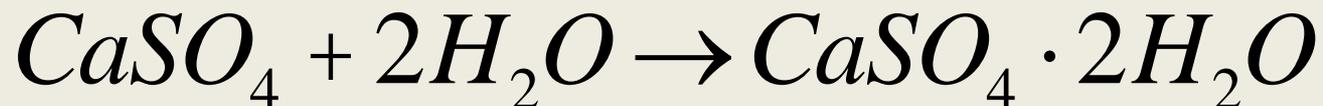
- **Mineral I** + solução de alteração \Rightarrow **Mineral II** + solução de lixiviação
- **Mineral I**: mineral primário = mineral existente na rocha dura (ex.: quartzo, feldspato, mica, piroxênio)
- **solução de alteração**: água da chuva carregada de elementos/substâncias dissolvidas, que se infiltra e percola a rocha em vias de alteração
- **Mineral II**: mineral secundário (ou neoformado) (ex: goethita, gibbsita, argilominerais etc.)
- **solução de lixiviação**: água da chuva, cuja composição foi modificada pelas reações do intemperismo e que caminhará em meio aos materiais geológicos até atingir um aquífero, um rio ou até voltar à superfície



Biogeochemical cycling of elements within the different reservoirs (i.e., soil-rock system, vegetation, and atmosphere) of a watershed.

Principais reações do intemperismo químico - **hidratação**

- Entrada de água na estrutura de um mineral, enfraquecendo-a e podendo formar um outro mineral com características distintas.
- Ex: anidrita (sulfato de cálcio) transforma-se em outro mineral, o gipso, pela entrada de H₂O em sua estrutura cristalina



hidratação

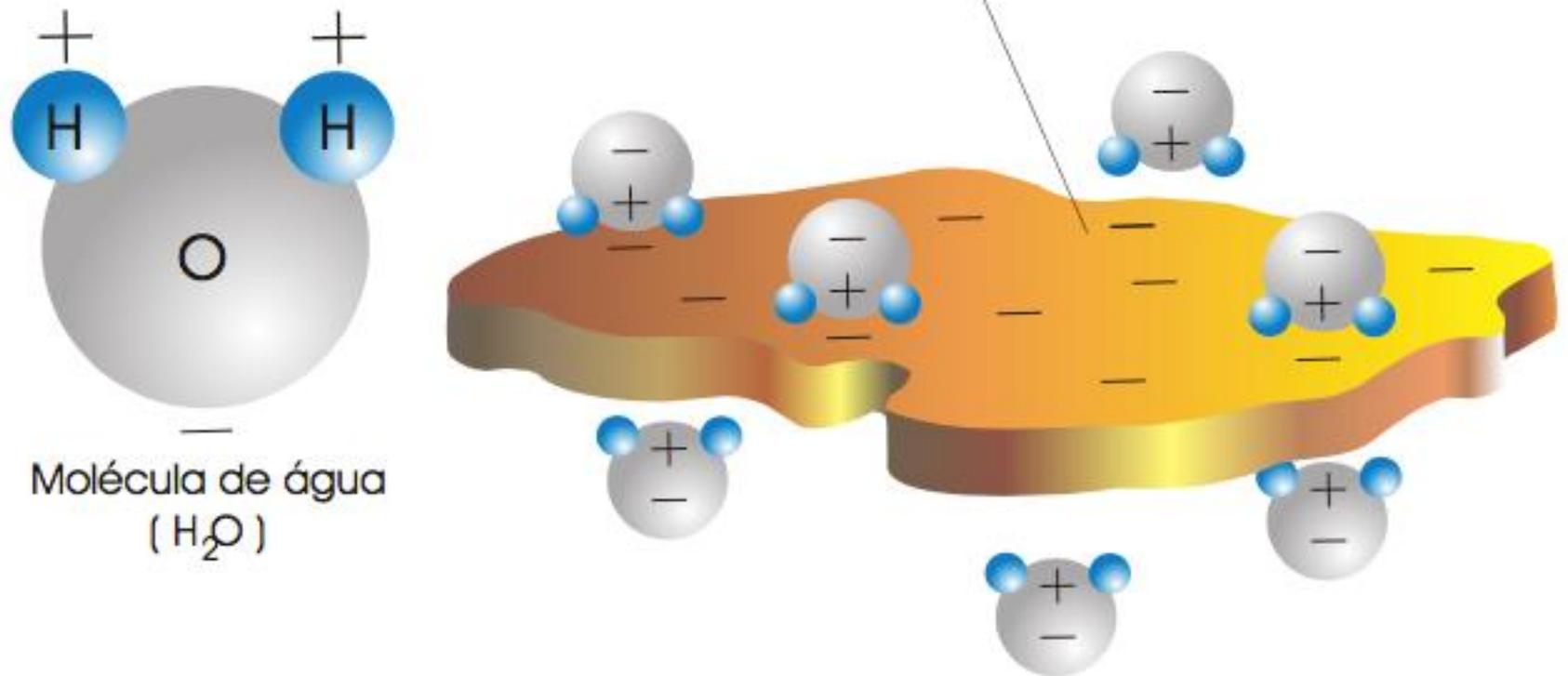
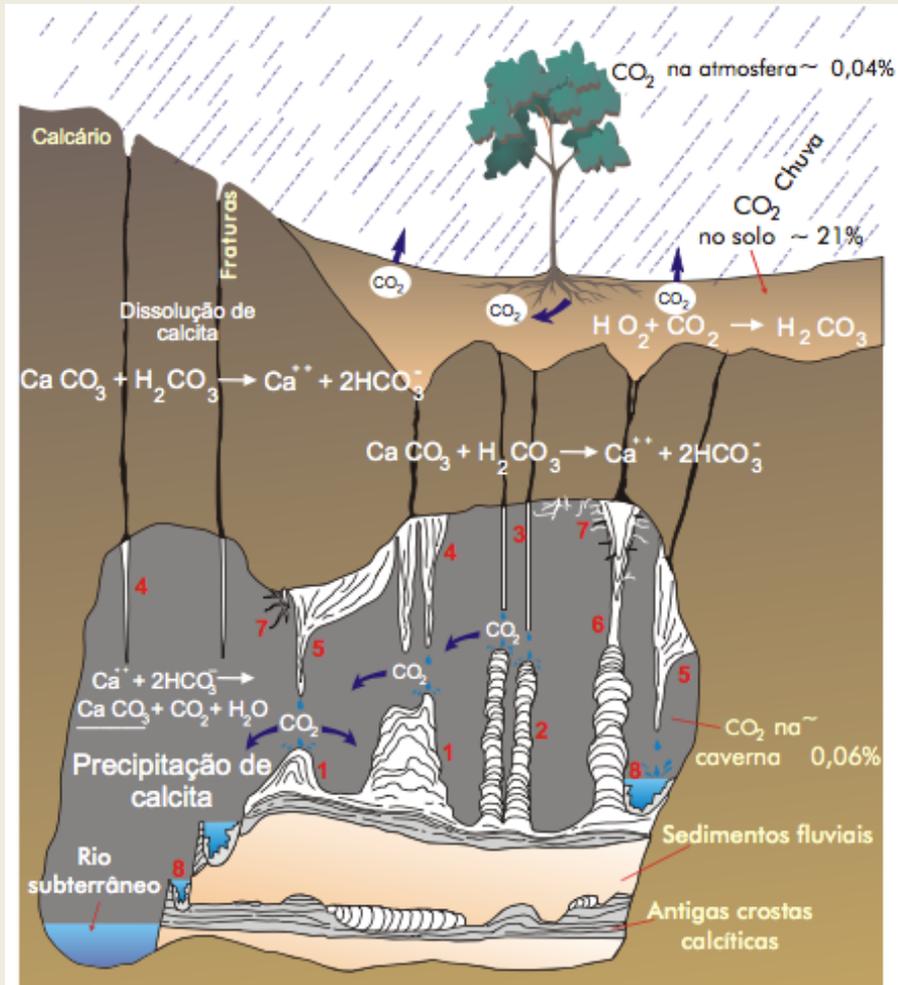


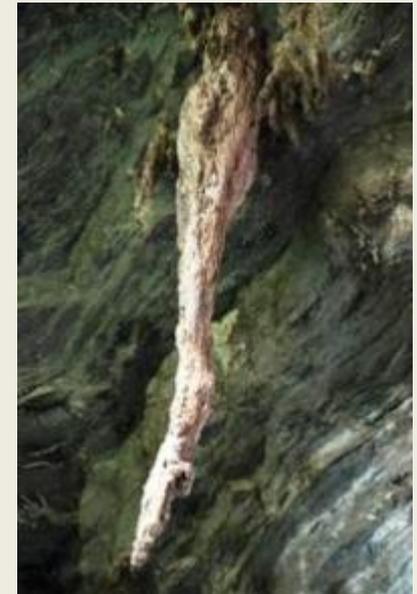
Fig. 8.7 As cargas elétricas insaturadas na superfície dos grãos minerais atraem as moléculas de água, que funcionam como dipolos devido à sua morfologia.

Principais reações do intemperismo químico - **dissolução**



Tipos de espeleotemas

- 1 - Estalagmite
- 2 - Estalagmite tipo vela
- 3 - Estalactite tipo canudo
- 4 - Estalactite
- 5 - Cortina com estalactite
- 6 - Coluna
- 7 - Excêntricos (helictites)
- 8 - Represas de travertino com cristais de calcita subaquática



“Perna de bailarina” – Gruta do Janelão, em Januária – MG.

Fig. 7.15 Dissolução e precipitação de calcita num perfil cárstico e principais tipos de espeleotemas.

Dissolução

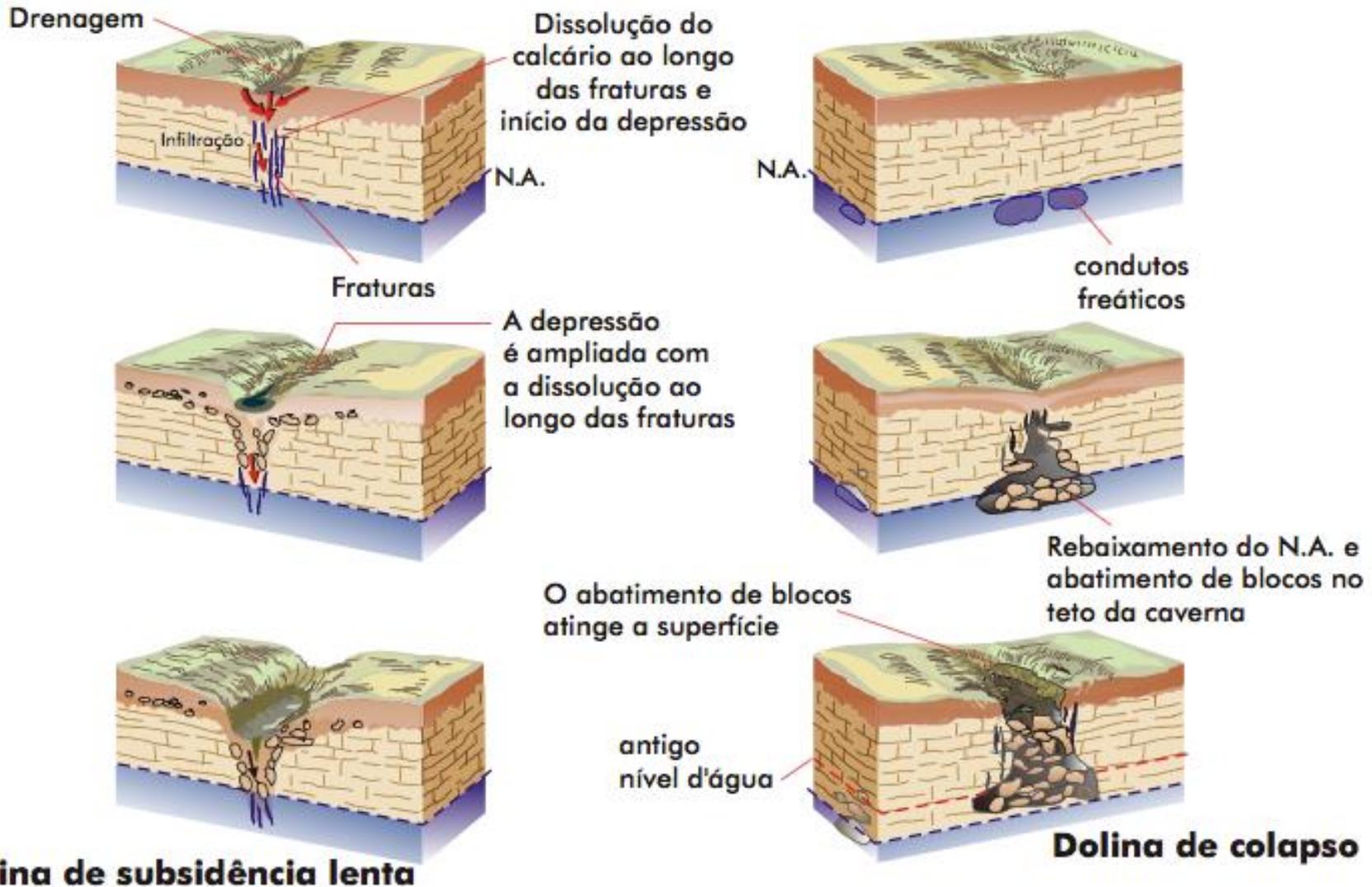


Fig. 7.18 Evolução esquemática das dolinas.

CO₂ e intemperismo

A redução da taxa
de intemperismo

As temperaturas
baixas e a
diminuição de CO₂
reduzem o
intemperismo

Leva ao aumento da
concentração de
CO₂ atmosférico

A baixa
concentração de
CO₂ causa o
resfriamento
climático

O intemperismo
reduz o CO₂ na
atmosfera como
CO₂ → HCO₃⁻

Que causa o
aquecimento global,
que faz o
intemperismo
aumentar

Principais reações do intemperismo químico - **hidrólise**

- Quebra das ligações químicas entre os elementos químicos que constituem cada mineral atingido e os libera nas águas, em forma de cátions e ânions.
- Estes serão ou removidos pela drenagem (água em movimento dentro do manto de intemperismo) ou recombinaados em novos minerais.

Hidrólise

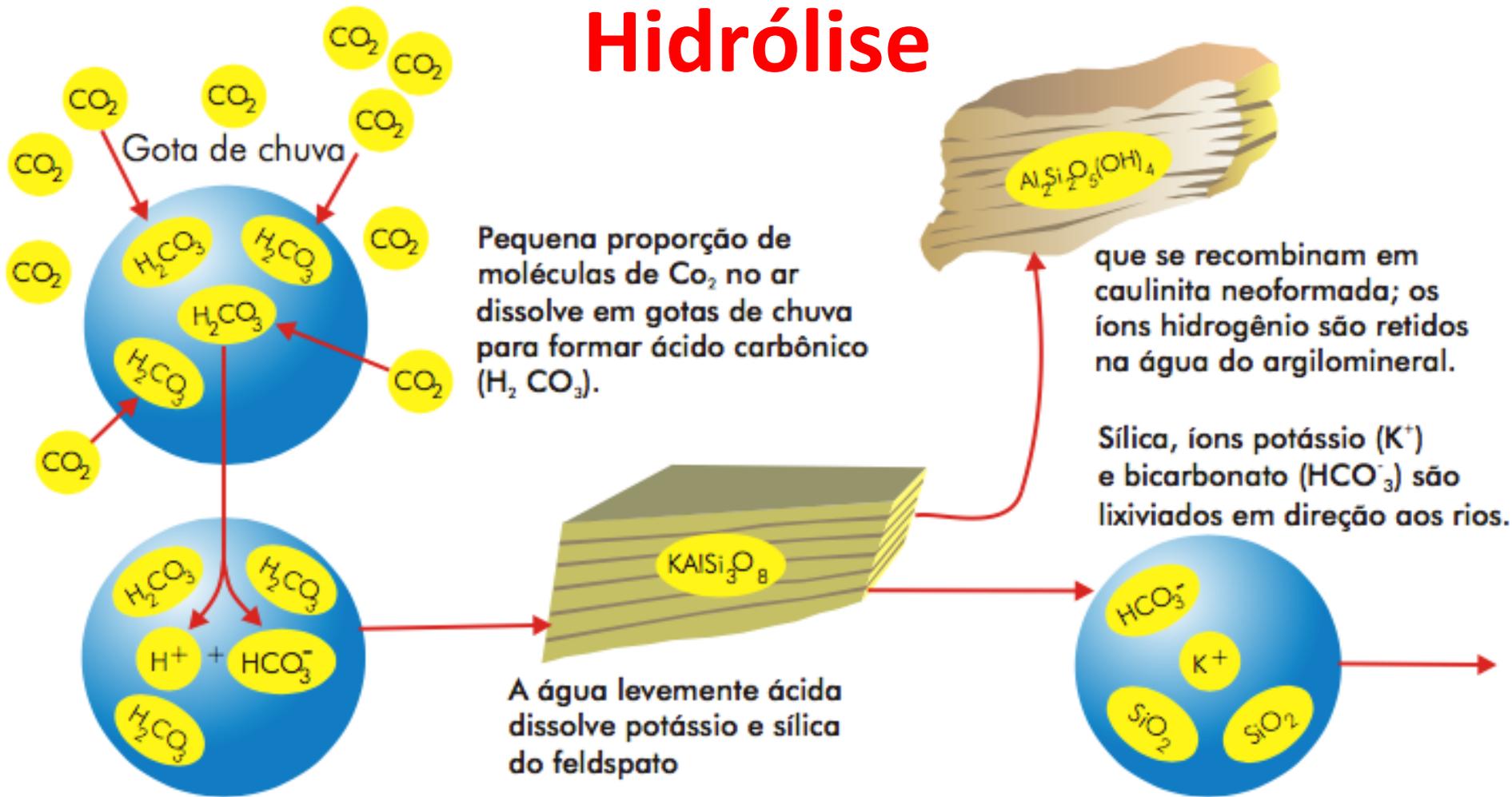


Fig. 8.8 Alteração de um feldspato potássico em presença de água e ácido carbônico, com a entrada de H^+ na estrutura do mineral, substituindo K^+ .

Hidrólise total

- 100% da silícia e potássio são eliminados
- Condições de alta pluviosidade e drenagem
- Resíduo = hidróxido de alumínio (**gibbsite**), insolúvel; na faixa de pH que ocorre hidrólise (5-9)



Hidrólise

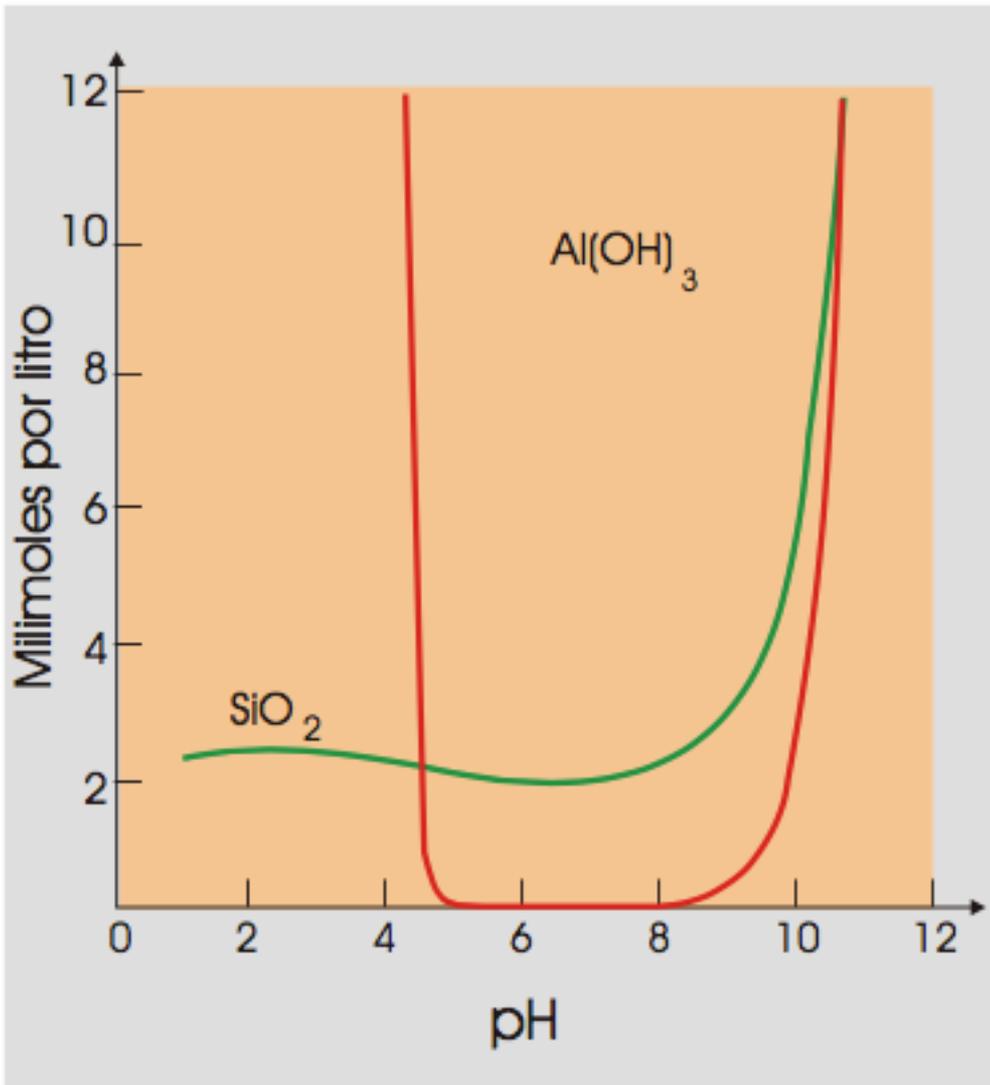


Fig. 8.10 Solubilidade da sílica e do alumínio em função do pH, a 25°C.

Hidrólise parcial

- Devido a drenagem menos eficiente, parte da sílica permanece no perfil; o potássio pode ser total ou parcialmente eliminado.
- Esses elementos reagem com o alumínio, formando aluminossilicatos hidratados = argilominerais

Kaolinite

100% do potássio é eliminado

Hidrólise parcial

Illite-smectite

Parte do potássio permanece

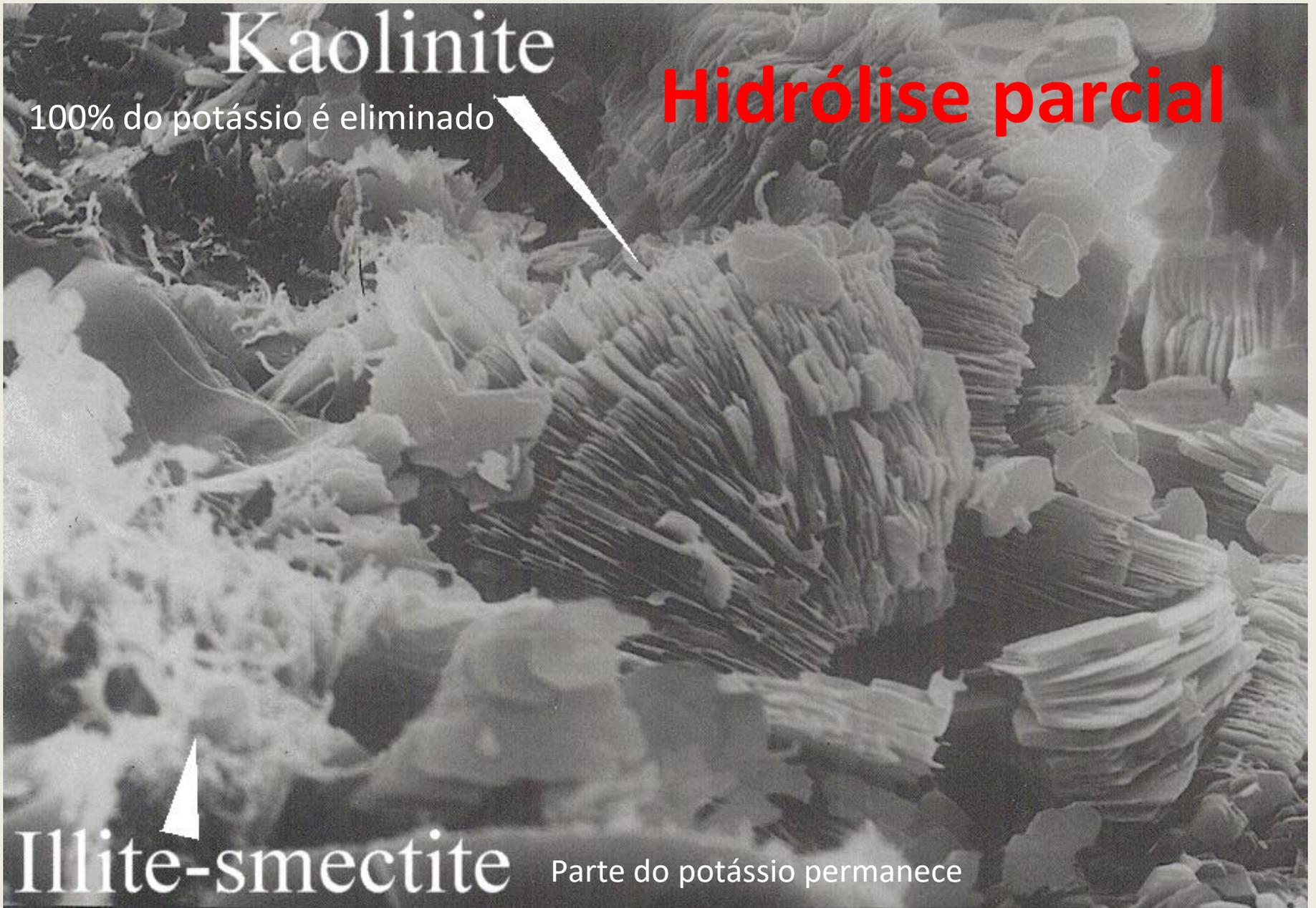
4µm

20KV

17

026

S



Principais reações do intemperismo químico - **oxidação**

- Ocorre com todos os minerais que contêm elementos químicos passíveis de serem oxidados, como o ferro.
- Nos minerais primários, quase sempre o ferro se encontra no estado reduzido, pois os ambientes de formação de rochas duras normalmente não são oxidantes. Em contato com as águas de superfície, no entanto, quase sempre carregadas de oxigênio, esses elementos são oxidados, desestabilizando a estrutura mineral em que estavam.

Oxidação

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.

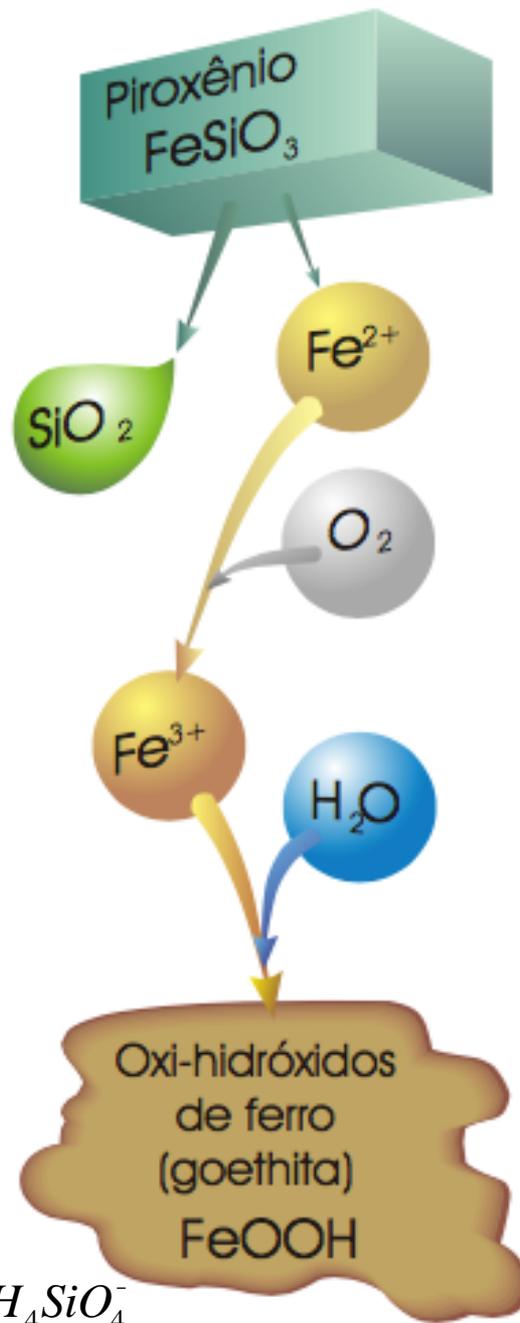
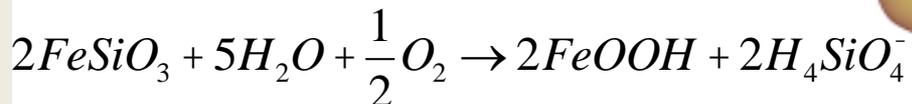
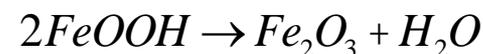


Fig. 8.11 A alteração intempérica de um mineral com Fe^{2+} resulta, por oxidação do Fe^{2+} para Fe^{3+} , na formação de um oxi-hidróxido, a goethita.

desidratação



Principais reações do intemperismo químico – **complexação**

- Envolve compostos orgânicos dissolvidos na água, que são capazes de reter elementos químicos poucos solúveis em sua estrutura, mobilizando-os
- A complexação, assim, pode remover do perfil de alteração elementos que não seriam removidos de outra forma

Além de transformarem os minerais,
essas reações contribuem

Tanto para a composição química das águas
superficiais e subterrâneas

Que por sua vez contribuem para
outras transformações minerais

Algumas questões da geoquímica:

- Quais são as condições ambientais para um determinado mineral se formar?
- Que minerais são estáveis em dado ambiente geoquímico?
- Que íons/moléculas são consumidos ou produzidos quando os minerais instáveis reagem em um ambiente geoquímico?

Fatores que controlam o intemperismo

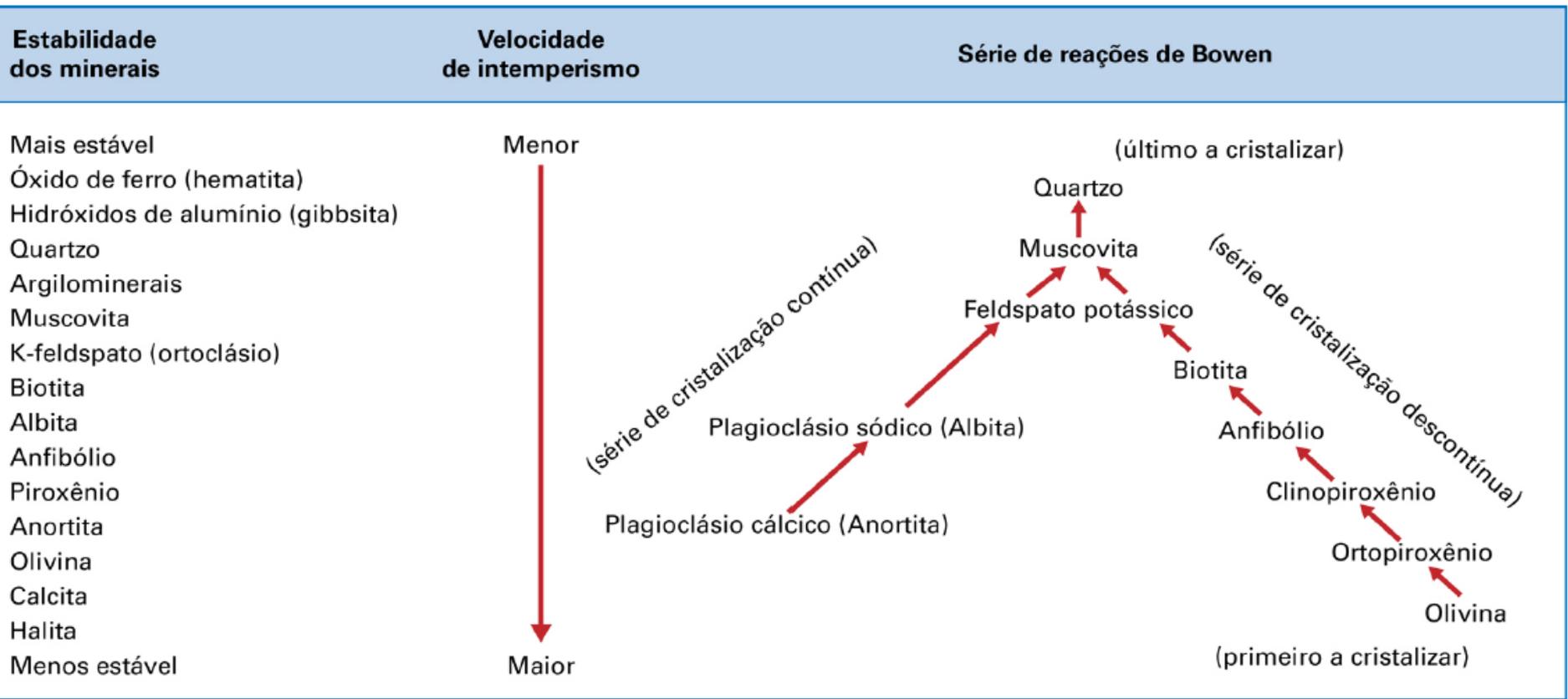
- Material parental
- Clima
- Relevo
- Tempo
- Biológico (veremos em mais detalhe muitos exemplos)

Material parental



Fig. 8.15 Rochas diferentes expostas na mesma época (década de 1960), apresentando diferentes graus de alteração. A escultura, em mármore, encontra-se bastante alterada, enquanto o túmulo, em granito, está bem melhor preservado. Foto: M. C. M. de Toledo.

Material parental



Material parental

Minerais formados em T e P altas serão os primeiros a serem desestabilizados. Ex: Olivina, plagioclásio cálcico, piroxênio, que cristalizam no ambiente magmático ($T > 1.000 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Minerais formados em temperaturas menores têm arranjo cristalquímico mais resistente às condições de superfície, como. Ex: Quartzo, que cristaliza em $\sim 500 \text{ } ^\circ\text{C}$, é muito mais resistente que os outros minerais que cristalizam a temperaturas mais altas.

Material parental

Ex: Pia feita em rocha silicática (granito ou gnaisse, muito comuns para essa finalidade de utilização em construções).

As partes mais escurecidas dessas rochas são mais ricas em biotita (mica preta, com Fe em sua composição) → após alguns anos de uso, perdem o brilho e se tornam ásperas;

As partes mais claras da rocha, constituídas predominantemente por minerais mais resistentes (quartzo e feldspato).

Trata-se da reprodução, em ambiente doméstico e em curto intervalo de tempo, do que ocorre na natureza ao longo de milhões de anos.

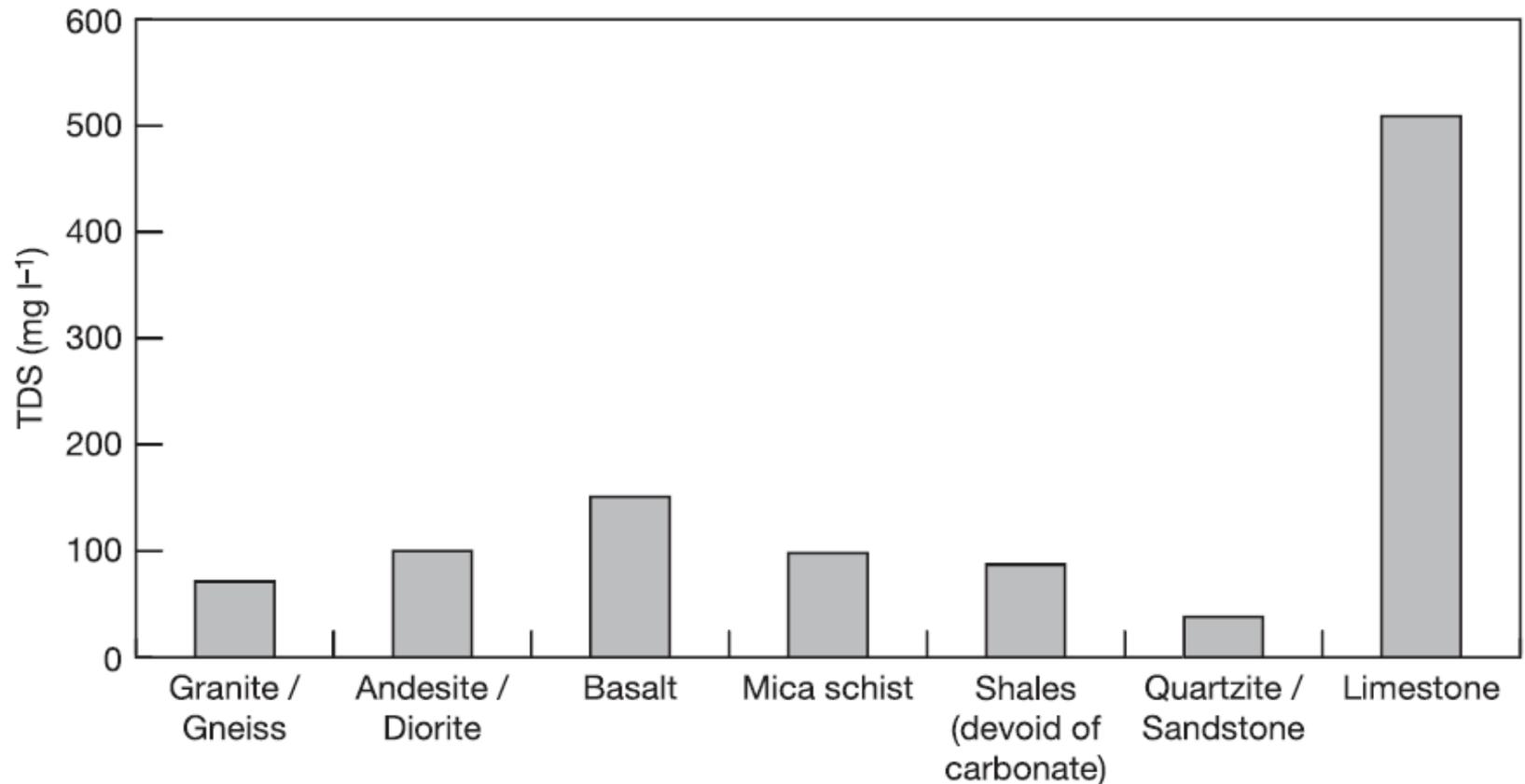
Material parental

- Tamanho dos grãos → superfície específica
quanto menores os grãos, maior área de contato (superfície específica) com eles terá a água, num mesmo volume, promovendo as reações químicas do intemperismo de forma mais eficiente
- Arranjo original dos grãos → porosidade e permeabilidade → acelerar ou retardar as reações

Porosidade = volume de vazios/volume total

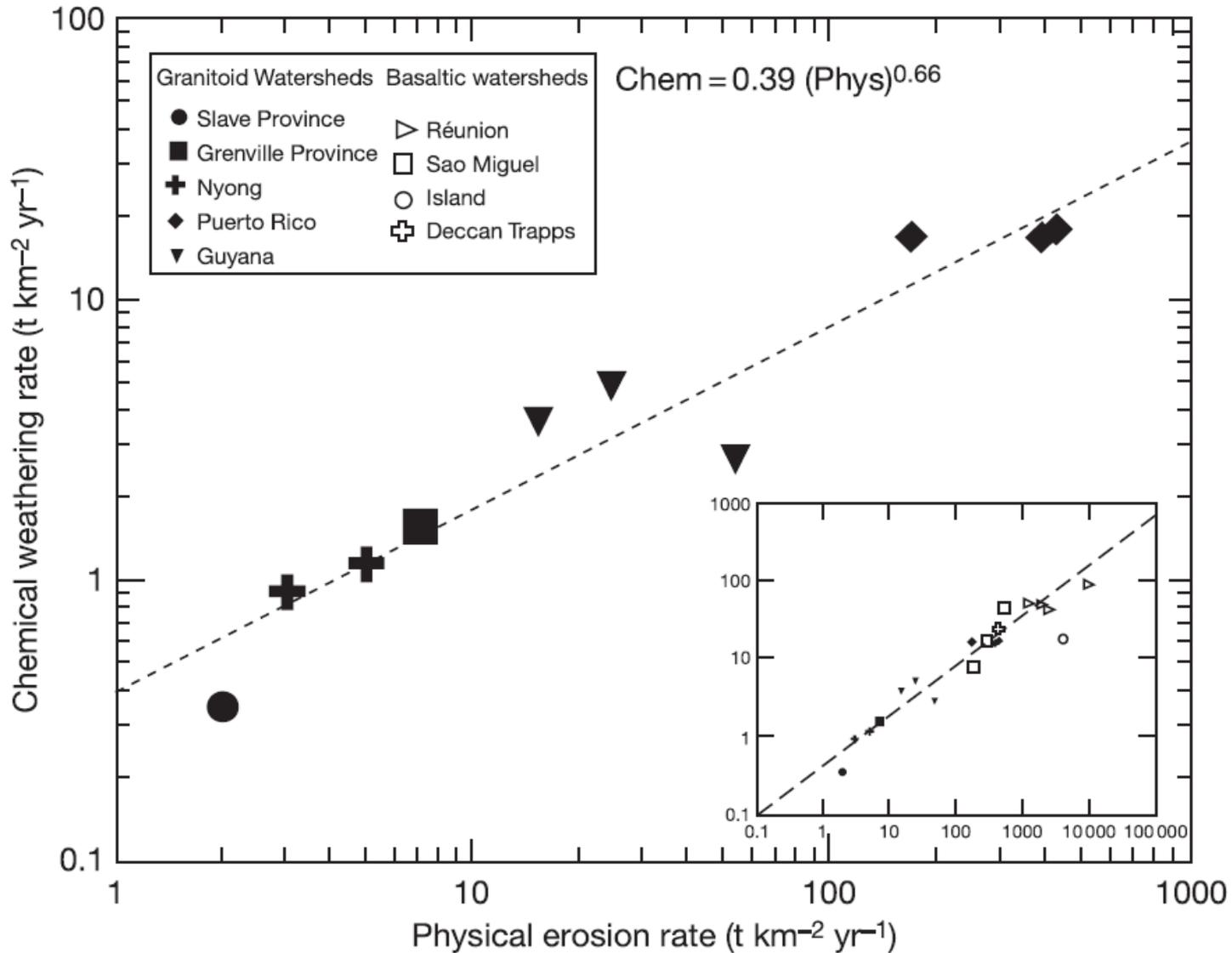
Permeabilidade = comunicação entre os poros, permitindo a circulação de fluidos.

Material parental



Sólidos dissolvidos totais de águas subterrâneas que drenam as rochas. TDS corresponde a soma de SiO₂, principais cátions (Ca, Mg, Na, e K) e ânions (HCO₃, SO₄ e Cl)

Material parental



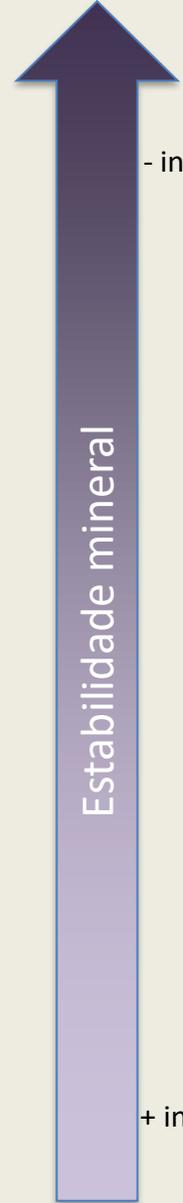
Fatores que influenciam o intemperismo e a erosão

Rocha

- intemperismo

Estabilidade mineral

+ intemperismo



Clima

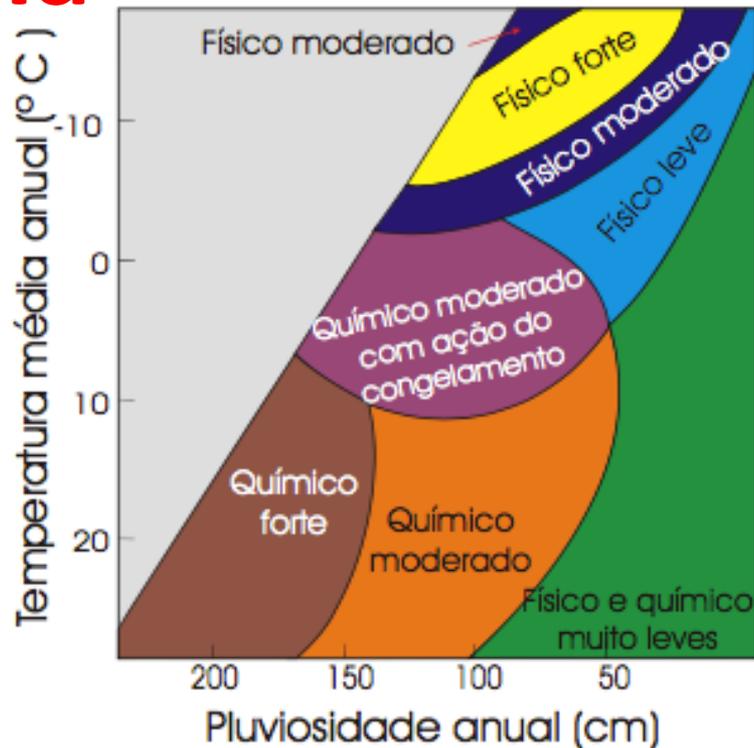


Fig. 8.17 O papel do clima é preponderante na determinação do tipo e eficácia do intemperismo. O intemperismo físico predomina nas áreas onde temperatura e pluviosidade são baixas. Ao contrário, temperatura e pluviosidade mais altas favorecem o intemperismo químico.

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



Clima

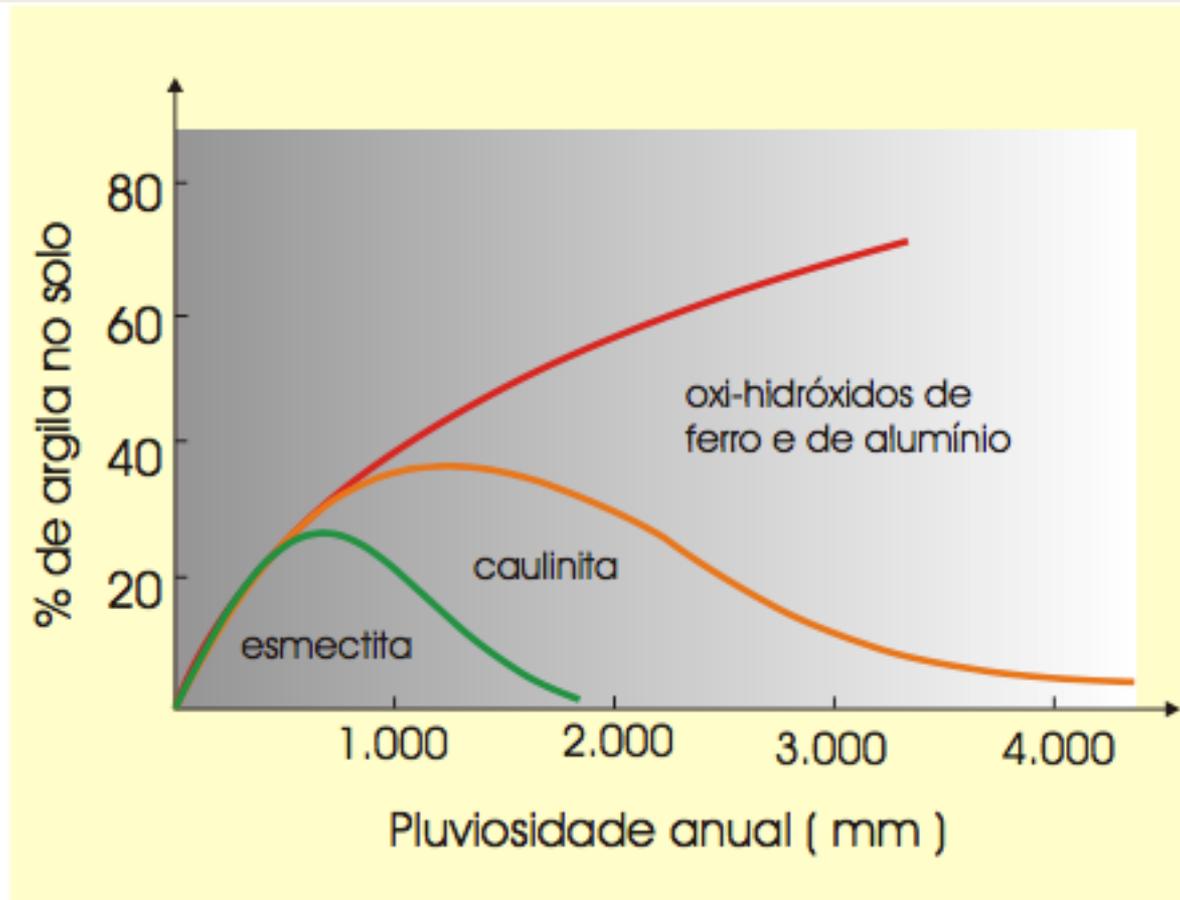


Fig. 8.18 A intensidade do intemperismo aumenta com a pluviosidade, resultando num solo com maior proporção de minerais secundários (fração argila). A cada faixa de pluviosidade corresponde uma composição preponderante dos minerais secundários.

Clima

Nas zonas com água líquida (climas que não incluem congelamento da água) – intemperismo químico é importante → mantos de intemperismo que poderão ser erodidos ou pedogeneizados antes da erosão que virá, obrigatoriamente, mais cedo ou mais tarde, no tempo geológico.

Na distribuição dos grandes processos geoquímicos de intemperismo ao redor do globo terrestre há evidente influência do zoneamento climático do globo terrestre.

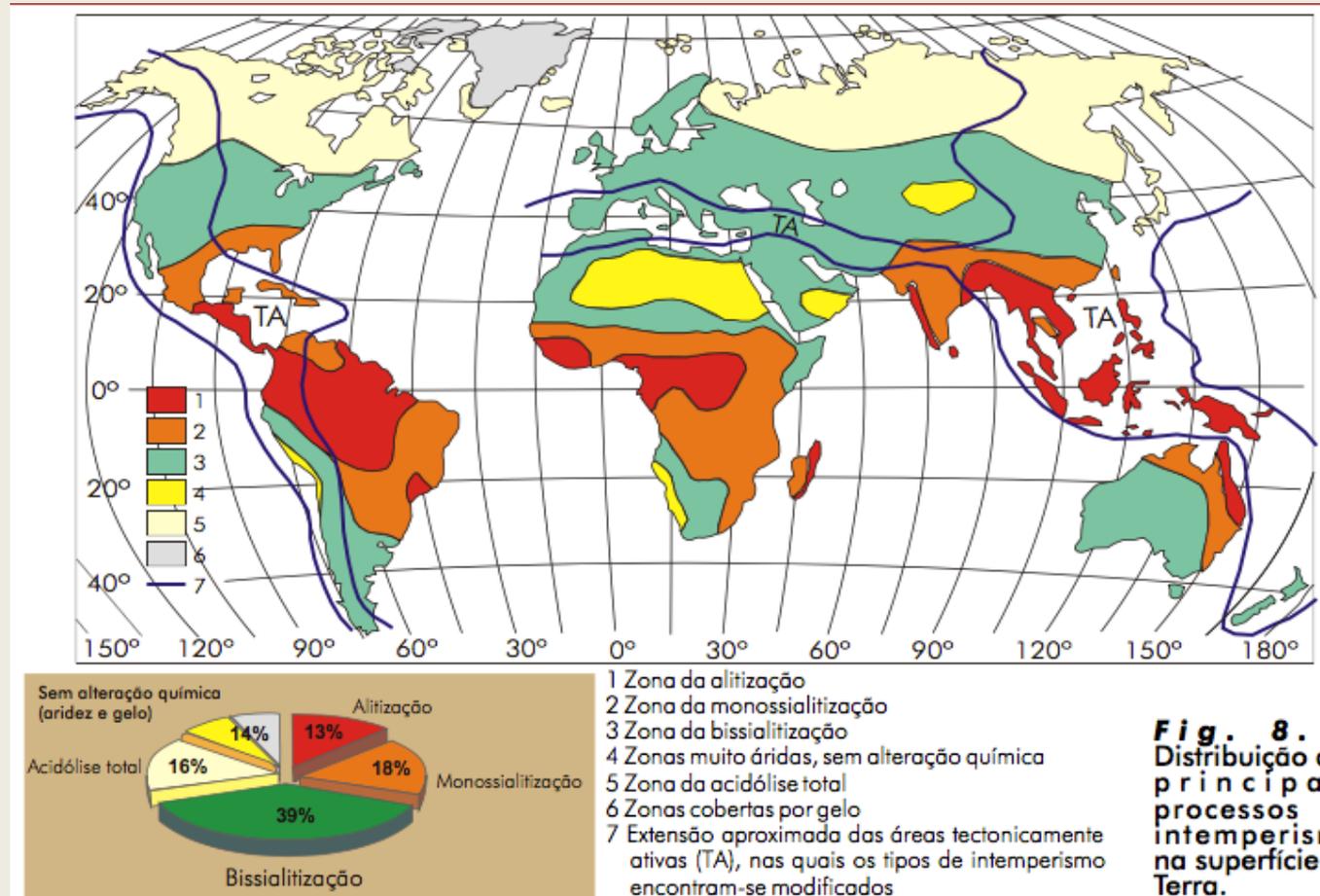


Fig. 8.14
Distribuição dos principais processos de intemperismo na superfície da Terra.

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

Clima

Duas principais zonas podem ser destacadas nessa distribuição dos produtos de intemperismo no globo:

- Regiões **sem alteração química** (zonas polares e desertos, correspondentes a mais ou menos 14% da superfície dos continentes) e
- Regiões **com alteração química** (86% da superfície dos continentes)

Clima

- **Zonas frias** (16% da superfície continental), onde a vegetação é composta principalmente por líquens e coníferas, cujos resíduos se degradam lentamente. Os solos resultantes são ricos em quartzo e em matéria orgânica; estas zonas correspondem à zona circumpolar do hemisfério norte.

Clima

- **Zonas frias** (16% da superfície continental), onde a vegetação é composta principalmente por líquens e coníferas, cujos resíduos se degradam lentamente. Os solos resultantes são ricos em quartzo e em matéria orgânica; estas zonas correspondem à zona circumpolar do hemisfério norte.
- **Zonas equatoriais** (13,5% da superfície continental), caracterizadas por precipitação abundante, superior a 1.500 mm por ano, e vegetação exuberante. A associação mineral característica é de óxido-hidróxidos de ferro e de alumínio (goethita e gibbsita, respectivamente).

Clima

- **Zonas frias** (16% da superfície continental), onde a vegetação é composta principalmente por líquens e coníferas, cujos resíduos se degradam lentamente. Os solos resultantes são ricos em quartzo e em matéria orgânica; estas zonas correspondem à zona circumpolar do hemisfério norte.
- **Zonas equatoriais** (13,5% da superfície continental), caracterizadas por precipitação abundante, superior a 1.500 mm por ano, e vegetação exuberante. A associação mineral característica é de oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio (goethita e gibbsita, respectivamente).
- **Zonas tropicais** (18% da superfície continental), no domínio tropical subúmido, com precipitação superior a 500 mm e temperatura média anual superior a 15 °C. Os principais minerais formados são a caolinita e os oxi-hidróxidos de ferro. Aí, a gibbsita só se forma se houver excesso de Al em relação ao Si; caso contrário, todo o Al entra na constituição do argilomineral caolinita.

Clima

- **Zonas frias** (16% da superfície continental), onde a vegetação é composta principalmente por líquens e coníferas, cujos resíduos se degradam lentamente. Os solos resultantes são ricos em quartzo e em matéria orgânica; estas zonas correspondem à zona circumpolar do hemisfério norte.
- **Zonas equatoriais** (13,5% da superfície continental), caracterizadas por precipitação abundante, superior a 1.500 mm por ano, e vegetação exuberante. A associação mineral característica é de oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio (goethita e gibbsita, respectivamente).
- **Zonas tropicais** (18% da superfície continental), no domínio tropical subúmido, com precipitação superior a 500 mm e temperatura média anual superior a 15 °C. Os principais minerais formados são a caolinita e os oxi-hidróxidos de ferro. Aí, a gibbsita só se forma se houver excesso de Al em relação ao Si; caso contrário, todo o Al entra na constituição do argilomineral caolinita.
- **Zonas temperadas** (39% da superfície continental), onde a alteração e lixiviação são pouco intensas, resultando na formação de argilominerais ricos em silício e em parte dos cátions alcalinos e alcalino-terrosos presentes nas rochas originais; estes argilominerais podem encerrar o ferro em sua estrutura cristalina, não permitindo que este elemento forme seus óxidos ou oxi-hidróxidos e não ocorrendo, portanto, as cores avermelhadas, alaranjadas, amareladas e castanhas dos materiais intemperizados das zonas tropicais e equatoriais, conforme já foi mencionado.

Clima

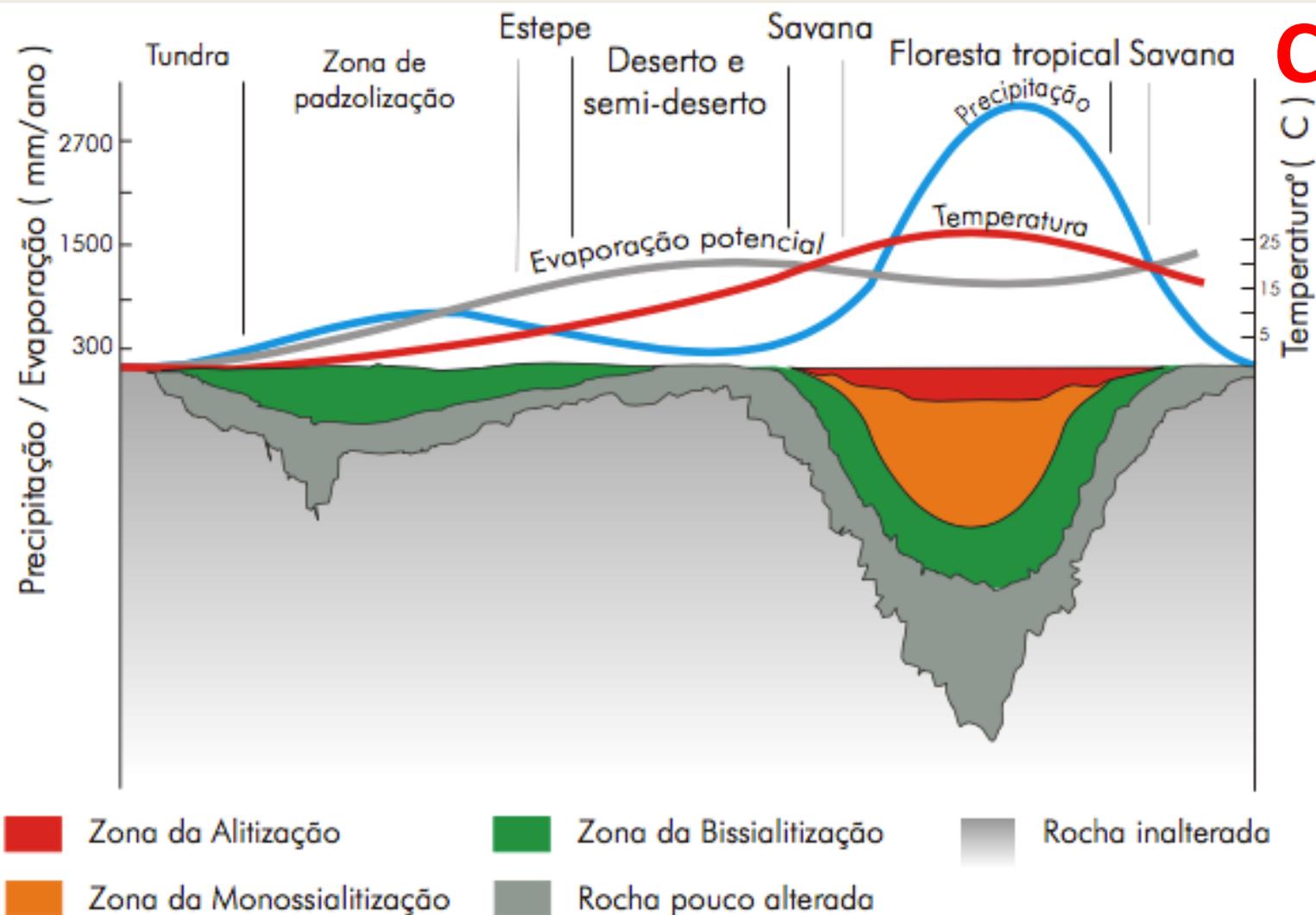


Fig. 8.19 O tipo e a intensidade do intemperismo podem ser relacionados com a temperatura, pluviosidade e vegetação. O intemperismo químico é mais pronunciado nos trópicos. Nas regiões polares e nos desertos, o intemperismo é mínimo.

Clima

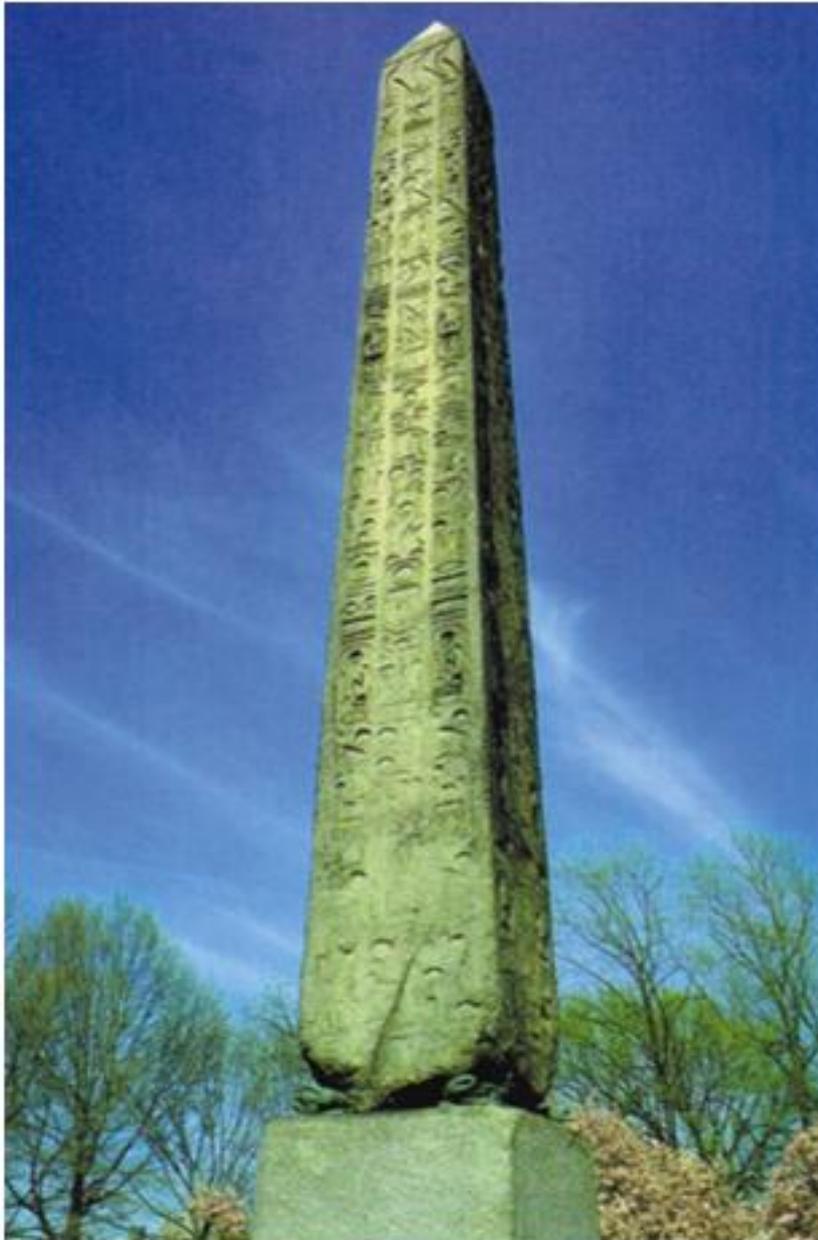
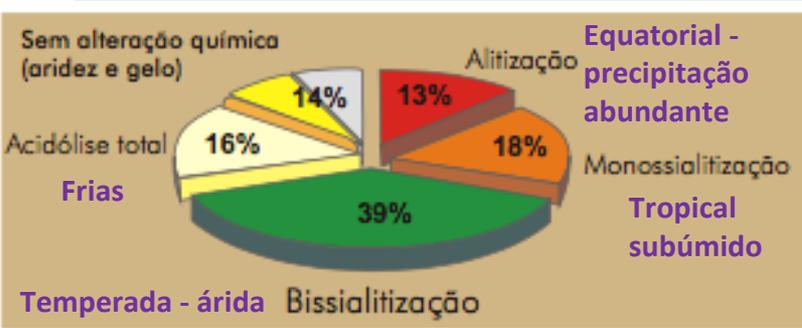
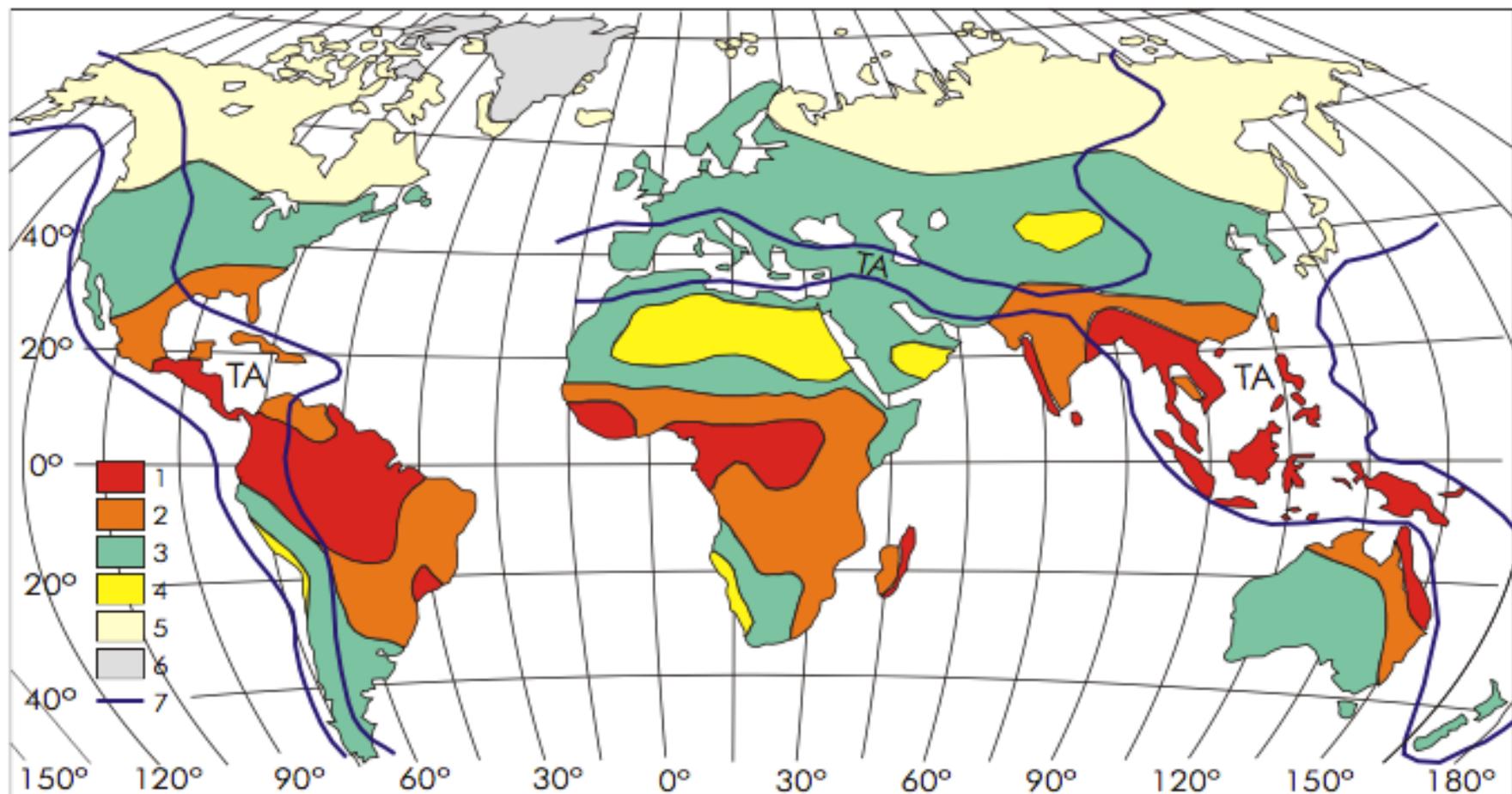


Fig. 8.20 A agulha de Cleópatra, um obelisco egípcio de granito, sofreu alteração mais intensa em 75 anos em Nova Iorque do que em 35 séculos no Egito, sob clima muito mais seco. Foto: M. C. M. de Toledo.



- 1 Zona da alitização
- 2 Zona da monossialitização
- 3 Zona da bissialitização
- 4 Zonas muito áridas, sem alteração química
- 5 Zona da acidólise total
- 6 Zonas cobertas por gelo
- 7 Extensão aproximada das áreas tectonicamente ativas (TA), nas quais os tipos de intemperismo encontram-se modificados

Fig. 8.14 Distribuição dos principais processos de intemperismo na superfície da Terra.

Fatores que influenciam o intemperismo e a erosão

Rocha

Temperatura

Volume de precipitação

Acidez da chuva

Estabilidade mineral

- intemperismo

+ intemperismo

Aumento da temperatura

- intemperismo físico
+ intemperismo químico

+ intemperismo físico
- intemperismo químico

Aumento do volume de precipitação

+ intemperismo físico e químico

- intemperismo físico e químico

Aumento da acidez

+ intemperismo químico

- intemperismo químico

Relevo

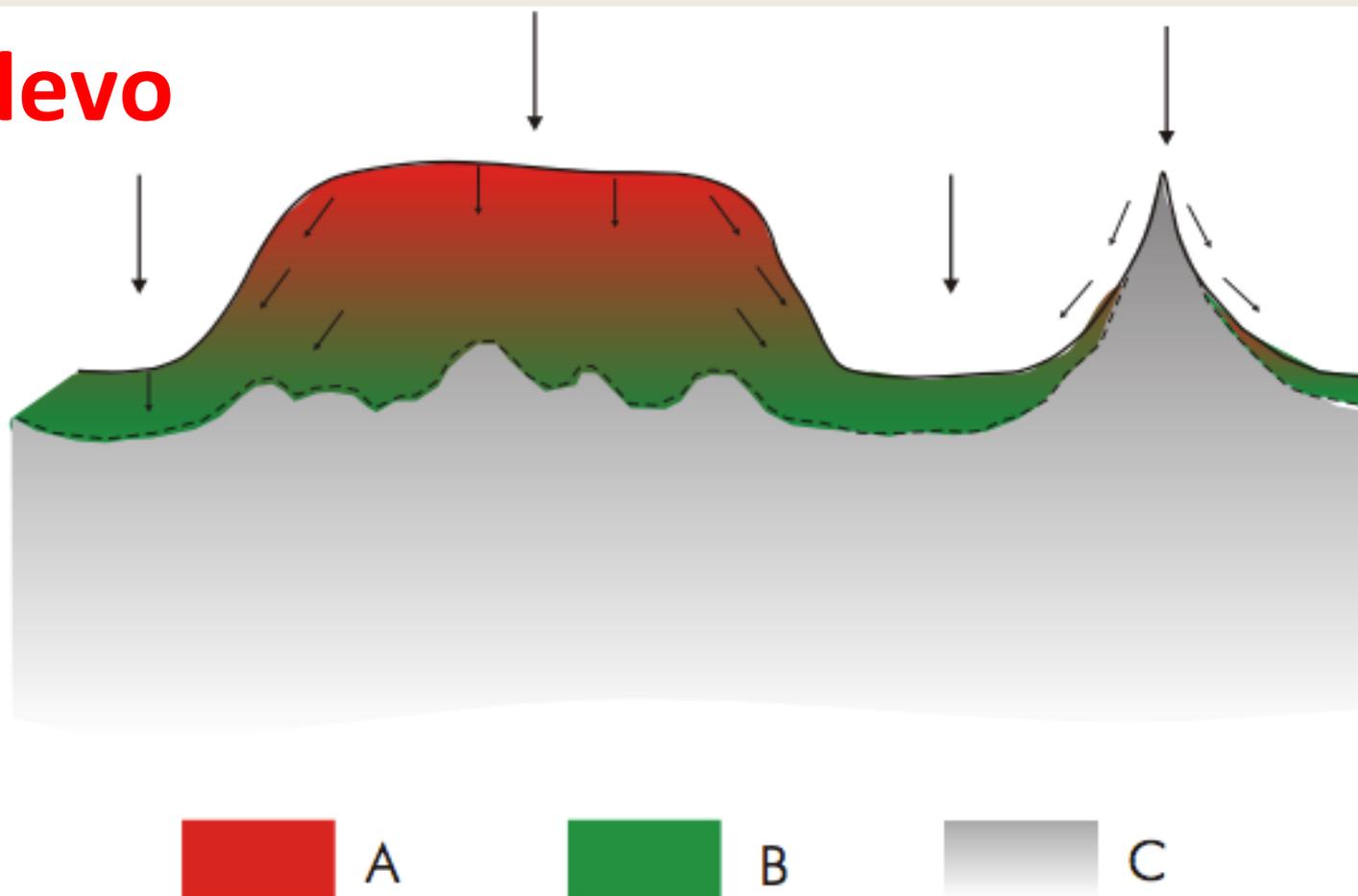


Fig. 8.21 Influência da topografia na intensidade do intemperismo.

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.

- Se houver bastante água e a topografia for tal que permita o livre movimento das águas em direção às partes mais baixas, todos os elementos solúveis serão eliminados, restando apenas os elementos menos solúveis naquelas condições de ambiente.
- Se, ao contrário, houver algum impedimento para a drenagem, o que ocorre geralmente em regiões baixas, onde as águas não têm para onde correr, ou seja, em locais estagnantes, nem os elementos químicos mais solúveis poderão ser eliminados.

Fatores que influenciam o intemperismo e a erosão

Rocha

Temperatura

Volume de precipitação

Acidez da chuva

Topografia

Estabilidade mineral

- intemperismo

+ intemperismo

Aumento da temperatura

- intemperismo físico
+ intemperismo químico

+ intemperismo físico
- intemperismo químico

Aumento do volume de precipitação

+ intemperismo físico e químico

- intemperismo físico e químico

Aumento da acidez

+ intemperismo químico

- intemperismo químico

Aumento da declividade da encosta

+ erosão
- intemperismo químico

- erosão
+ intemperismo químico

Tempo → perfil de alteração

O tempo age permitindo que o progresso do intemperismo aprofunde os perfis e que os materiais intemperizados evoluam em sua organização

Fatores que influenciam o intemperismo e a erosão

Rocha

Temperatura

Volume de precipitação

Acidez da chuva

Topografia

Duração do intemperismo

Estabilidade mineral

Aumento da temperatura

Aumento do volume de precipitação

Aumento da acidez

Aumento da declividade da encosta

Aumento do tempo

- intemperismo

- intemperismo físico
+ intemperismo químico

+ intemperismo físico e químico

+ intemperismo químico

+ erosão
- intemperismo químico

+ intemperismo, erosão e formação de solo

+ intemperismo

+ intemperismo físico
- intemperismo químico

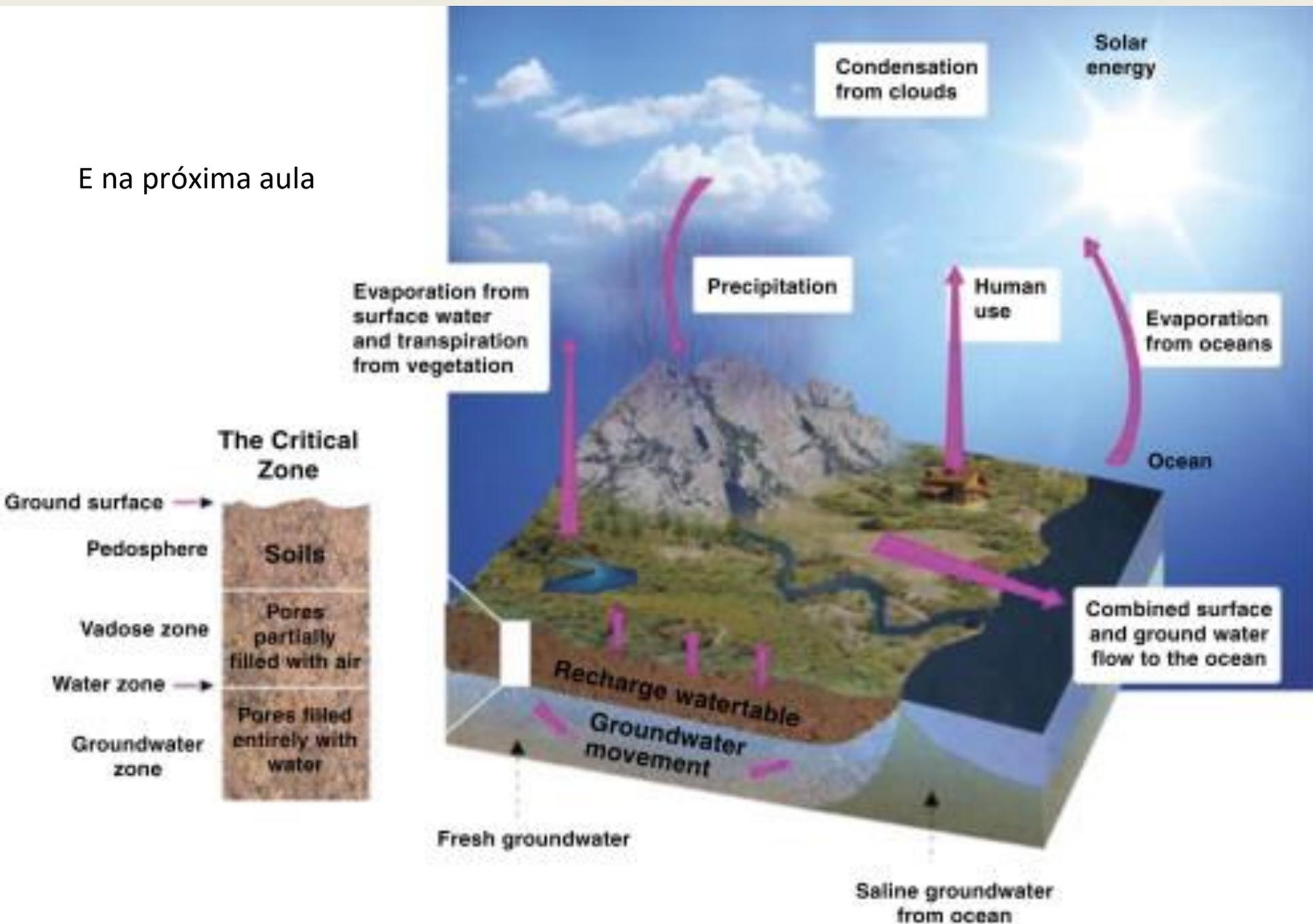
- intemperismo físico e químico

- intemperismo químico

- erosão
+ intemperismo químico

- intemperismo, erosão e formação de solo

E na próxima aula



Leitura complementar:

Evolution of **Minerals**

BY ROBERT M. HAZEN

Looking at the mineral kingdom through the lens of deep time leads to a startling conclusion: most mineral species owe their existence to life



Vejam o vídeo também



Black Earth



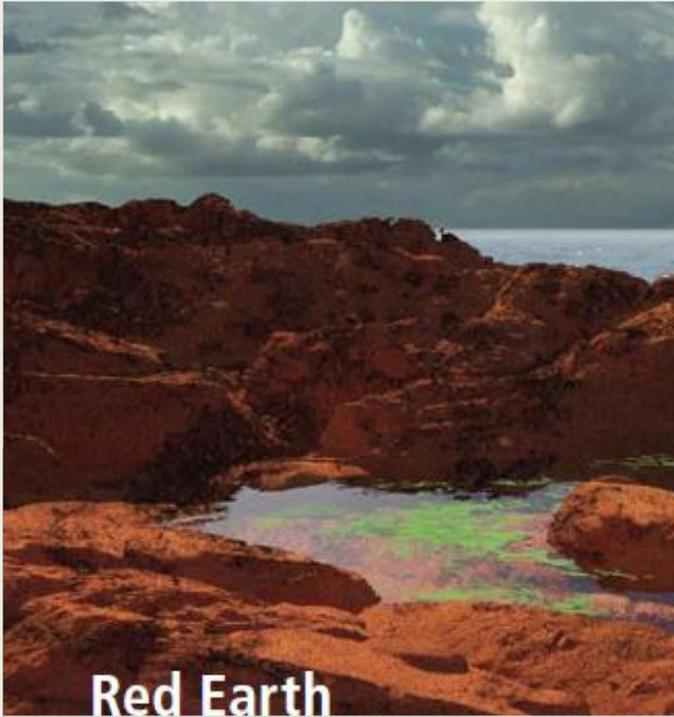


Red Earth

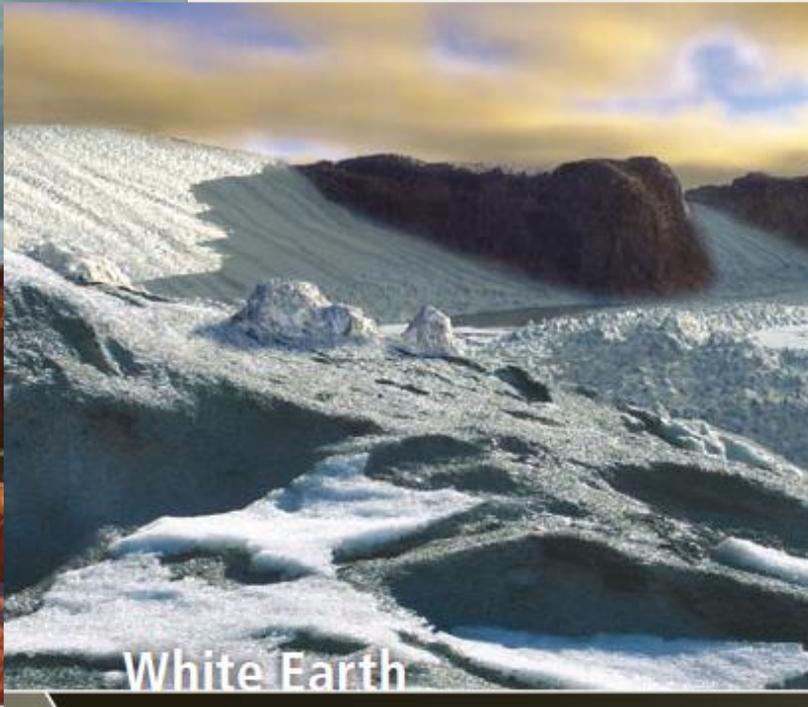


Black Earth





Red Earth

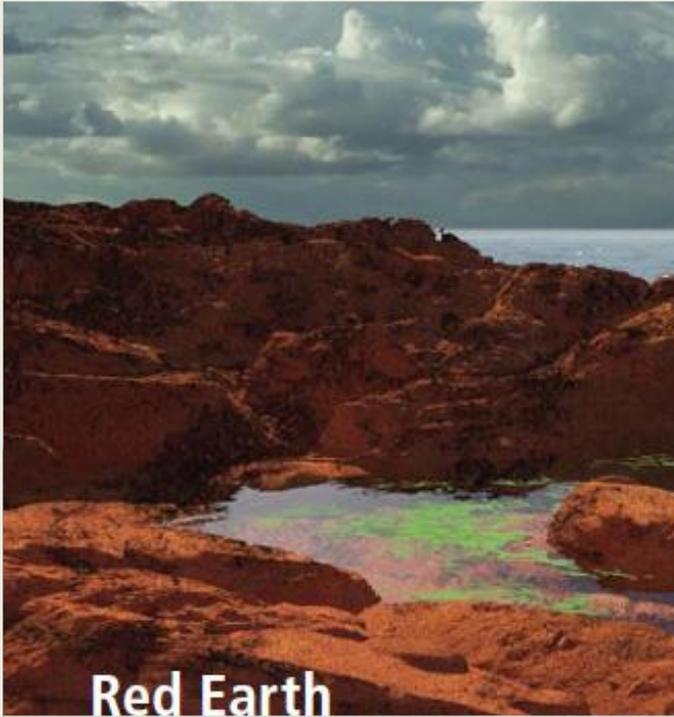


White Earth



Black Earth





Red Earth



White Earth



Black Earth

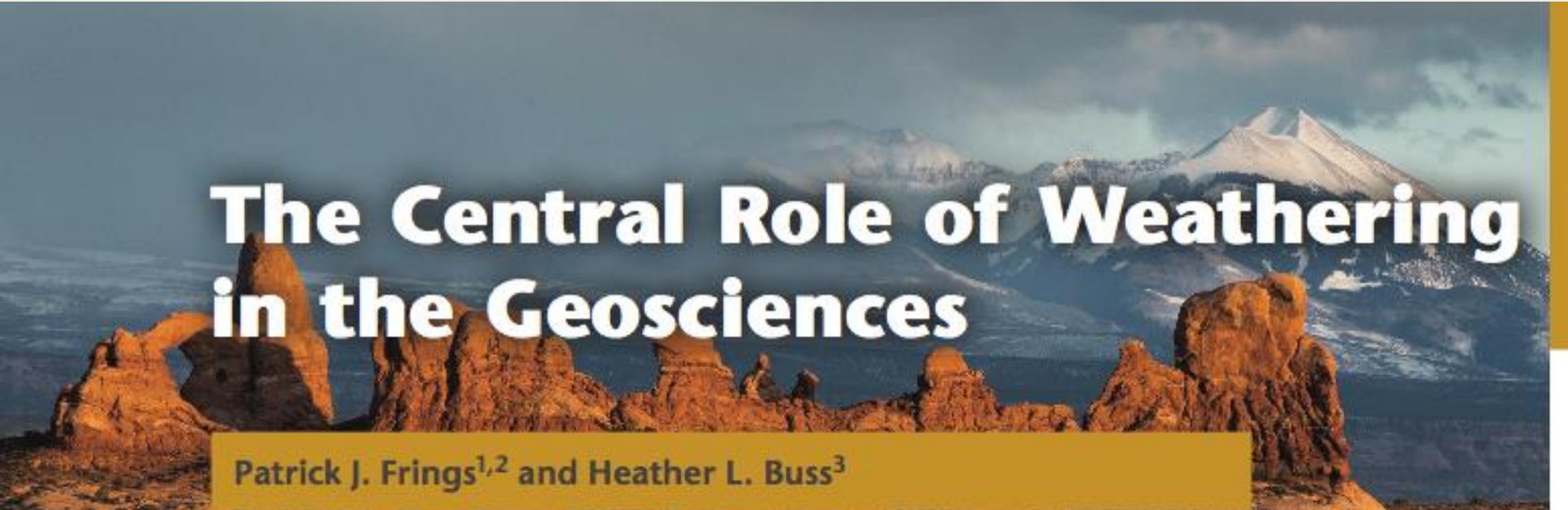


Green Earth

Discussão em grupo 1

Intemperismo

Escolher 1 artigo apenas



The Central Role of Weathering in the Geosciences

Patrick J. Frings^{1,2} and Heather L. Buss³

1811-5209/19/0015-0229\$2.50 DOI: 10.2138/gselements.15.4.229

Weathering is the chemical and physical alteration of rock at the surface of the Earth, but its importance is felt well beyond the rock itself. The repercussions of weathering echo throughout the Earth sciences...

This article outlines how weathering interacts with various geoscience disciplines across a huge range of scales, both spatial and temporal.

It traces the evolution of scientific thinking about weathering and man's impact on weathering itself—for better and for worse.

Keywords: weathering, Earth system science, nutrient cycling, landforms, enhanced weathering, planetary habitability

A yellow tractor is shown in a field, likely performing agricultural work. The tractor is positioned in the upper center of the image, with its front facing right. The background consists of a green field in the foreground and a hazy, light blue sky in the distance. The overall scene is bright and clear.

Combating Climate Change Through Enhanced Weathering of Agricultural Soils

M. Grace Andrews¹ and Lyla L. Taylor²

1811-5209/19/0015-0253\$2.50 DOI: 10.2138/gselements.15.4.253

Rising levels of atmospheric carbon dioxide (CO₂) are driving increases in global temperatures.

Enhanced weathering of silicate rocks is a CO₂ removal technology that could help mitigate anthropogenic climate change.

This article summarizes the research into enhanced weathering and the uncertainties of enhanced weathering due to the key differences with natural weathering, as well as future research directions.

Keywords: enhanced weathering, chemical weathering, climate change, carbon dioxide removal technologies, negative emission technologies, agriculture



How Plants Enhance Weathering and How Weathering is Important to Plants

Stephen Porder¹

1811-5209/19/0015-0241\$2.50 DOI: 10.2138/gselements.15.4.241

Since land plants emerged from swampy coastlines over 400 million years ago, they have played a fundamental role in shaping the Earth system.

... for many terrestrial ecosystems, weathering ultimately constrains primary production (carbon uptake) and decomposition (carbon loss). These constraints are most acute in agricultural systems, which rely on mined fertilizer rather than the recycling of organic material to maintain production. Humans now mine similar amounts of some elements as weather out of rocks globally. This increase in supply has myriad environmental consequences.

Keywords: weathering, plants, phosphorus, roots, nutrient limitation



The Goldilocks Planet? How Silicate Weathering Maintains Earth “Just Right”

James F. Kasting¹

1811-5209/19/0015-0235\$2.50 DOI: 10.2138/gselements.15.4.235

Earth’s climate is buffered over long timescales by a negative feedback between atmospheric CO₂ level and surface temperature. The rate of silicate weathering slows as the climate cools, causing CO₂ to increase and warming the surface through the greenhouse effect. This buffering system has kept liquid water stable at Earth’s surface... A similar stabilizing feedback is predicted to occur on rocky planets orbiting other stars if they share analogous properties with Earth, most importantly an adequate abundance of water and a mechanism for recycling carbonate rocks into CO₂ ... Most silicate weathering is thought to occur on the continents today, but sea floor weathering (and reverse weathering) may have been equally important earlier in Earth’s history.

Keywords: carbonate–silicate cycle, silicate weathering, habitable zone, climate limit cycling, Snowball Earth, sea floor weathering, reverse weathering.