

FORMAÇÃO DO SOLO
-PROCESSOS DE METEORIZAÇÃO-

Elsa Sampaio – ems@uevora.pt

Departamento de Geociências

Universidade de Évora

2011

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO

1.1 FORMAÇÃO DO SOLO

2. PROCESSOS DE METEORIZAÇÃO

2.1 METEORIZAÇÃO FÍSICA

2.1.1 Mecanismos de Meteorização Física

2.1.1.1 Encunhamento de gelo – Crioclastia

2.1.1.2 Exfoliação

2.1.1.3 Meteorização esferoidal

2.1.1.4 Haloclastia

2.1.1.5 Humedecimento e secagem sucessivos

2.2 METEORIZAÇÃO QUÍMICA

2.2.1 MECANISMOS DE METEORIZAÇÃO QUÍMICA

2.2.1.1 Hidratação

2.2.1.2 Dissolução e Solubilização

2.2.1.3 Oxidação

2.2.1.4 Hidrólise

3. CONCLUSÃO

4. SITES COM INTERESSE

5. BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUÇÃO

1.1 FORMAÇÃO DO SOLO

Quando se procura entender as razões das diferenças e da diversidade dos solos é indispensável analisar quais são os factores que influem na sua formação e evolução.

Uma definição de solo que ponha a ênfase nos seus factores de formação permite-nos considerá-lo como o material mineral ou orgânico, não consolidado, existente à superfície da terra, que esteve sujeito e evidencia o efeito da acção do clima (cl) e de macro e microorganismos (o), que actuaram sobre o material originário do solo (p), de forma condicionada pelo relevo (r), ao longo de um dado período de tempo (t) (SSSA, 1997).

Assim, cada propriedade do solo (s) pode ser expressa em termos conceptuais como uma função dos referidos factores de formação do solo (Jenny, 1941):

$$s = f (cl, o, r, p, t, \dots)$$

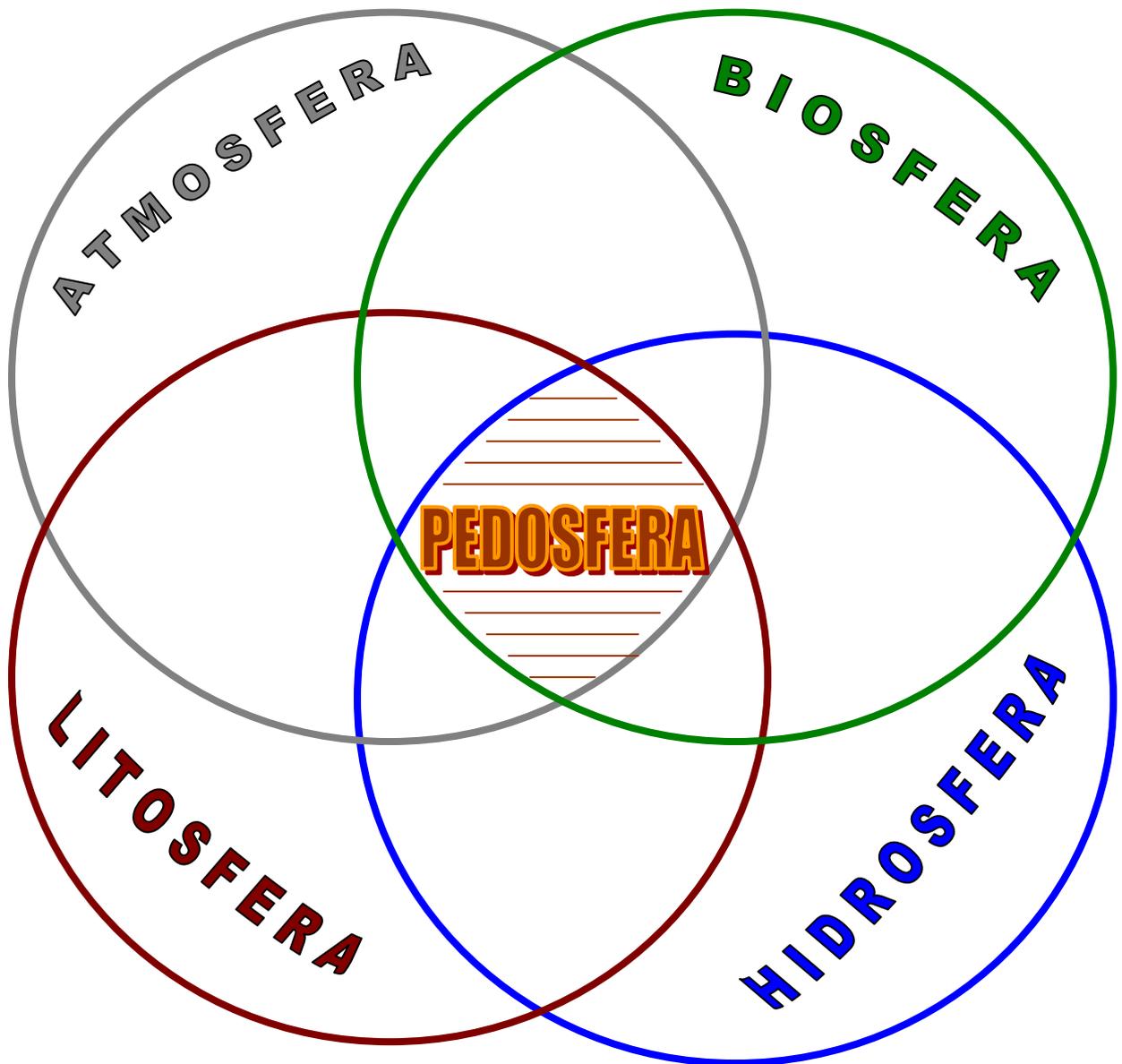
Segundo Jenny (1941) as reticências significam outros factores que pontualmente podem também ser relevantes. Nomeadamente, em muitos solos sujeitos a intervenções humanas significativas, o homem passa a ser outro factor de formação do solo a considerar.

A evolução pode acontecer sem existir a camada R (rocha consolidada e dura), terminando o perfil na camada C (material originário do solo). Isto pode suceder, por exemplo, se o solo se formar sobre um material de origem sedimentar e a camada R estiver apenas a uma profundidade tal que não influi na formação do solo.

Atendendo à situação topográfica pode suceder que o solo vá sofrendo erosão e, portanto que se verifique alguma diminuição da espessura relativamente ao nível original. No entanto caso o perfil se situe numa zona de vale, já será admissível que, pelo contrário, ocorra deposição de material aumentar a espessura e até, fazendo subir a superfície do solo.

Isto significa que para entender a formação do solo é indispensável considerar não só os fenómenos que ocorrem no próprio perfil mas que, de um modo geral, o solo é o resultado de um balanço entre processos de formação e processos de degradação, como é o caso da erosão, entre muitos outros.

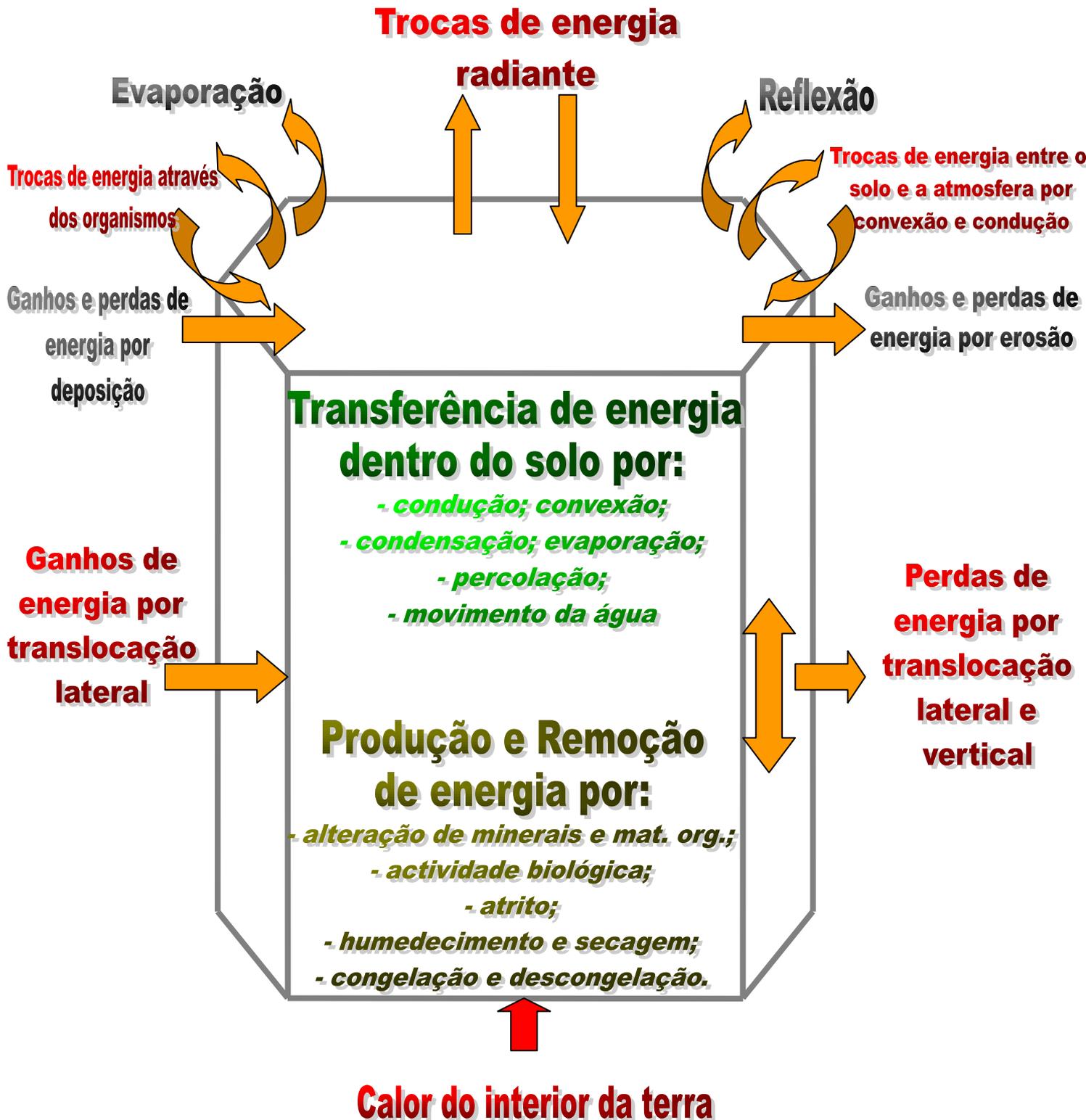
Aliás, já Buol, et al. (1997), esquematizavam esta questão como segue.



Fonte: Buol, et al (1997)

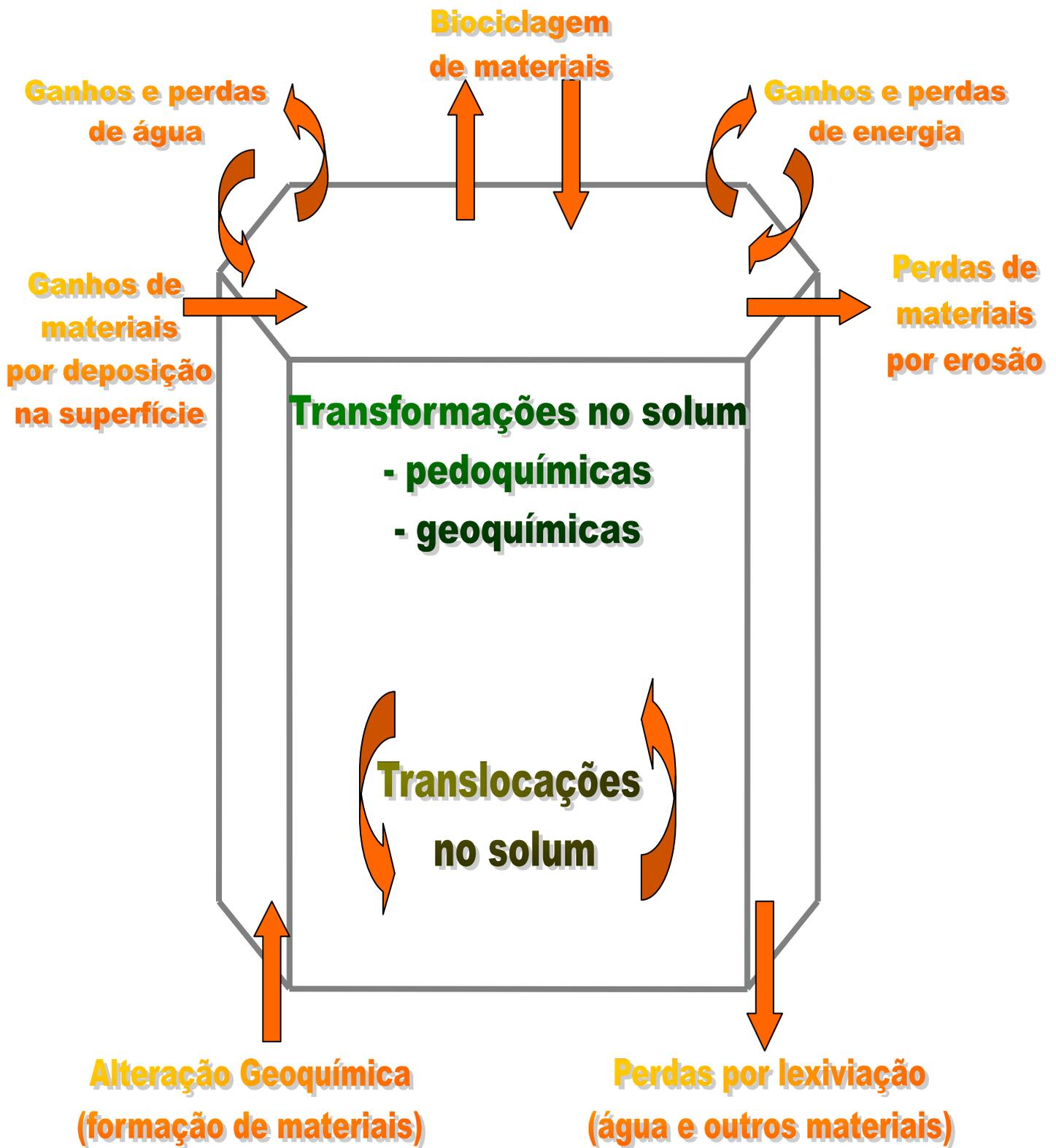
- **A DINÂMICA DA METEORIZAÇÃO DEPENDE DO CLIMA**
- **A DINÂMICA DA FORMAÇÃO DO SOLO DEPENDE DO MUNDO ORGÂNICO**

TROCAS DE ENERGIA ENTRE O SOLO E O AMBIENTE



Fonte: Buol, et al (1997)

TROCAS DE ENERGIA E MATÉRIA ENTRE O SOLO E O AMBIENTE



Fonte: Buol, et al (1997)

Assim sendo, uma das primeiras questões a compreender na formação dos solos é a meteorização das rochas, pois muito da formação dos solos começa nesses processos.

2. PROCESSOS DE METEORIZAÇÃO

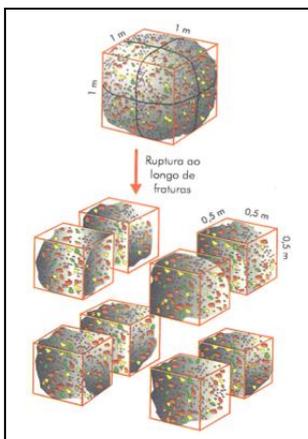
À medida que se aproximam da superfície do planeta, as rochas vão procurando adaptar-se às condições existentes à superfície, onde as pressões baixas, as temperaturas baixas e variáveis e a abundância de água, contrastam de um modo geralmente bastante drástico com as condições que presidiram à gênese dessas mesmas rochas.



A meteorização é, então, o processo pelo qual as rochas se fragmentam e adaptam à superfície da Terra, de forma a procurarem um equilíbrio estável à superfície.

Como produtos resultantes da meteorização tem-se: solos; minerais argilosos e substâncias químicas dissolvidas e em suspensão transportadas pelos rios até ao oceano.

Há dois tipos fundamentais de meteorização: a física e a química.



Na **meteorização física** os produtos resultantes deste processo apresentam a mesma composição química da rocha original, ocorrendo apenas uma acção mecânica, que leva à facturação das rochas em fragmentos mais pequenos, tal como se observa na figura.1.

Figura.1- Esquema representativo da meteorização física

Na **meteorização química**, os produtos resultantes deste processo apresentam uma composição química diferente da das rochas originais, o que é devido a terem ocorrido reacções químicas entre a rocha e os elementos da atmosfera, tal como pode ser observado na figura.2.

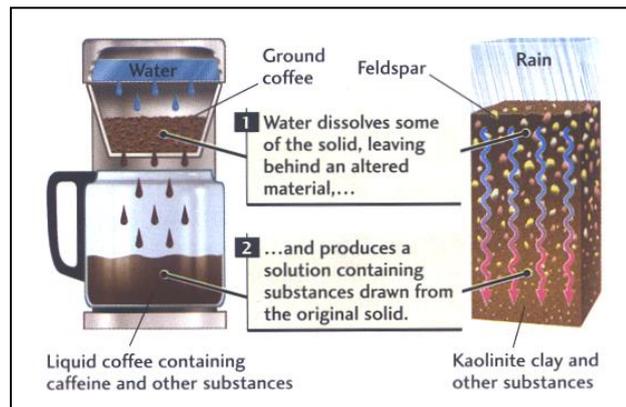
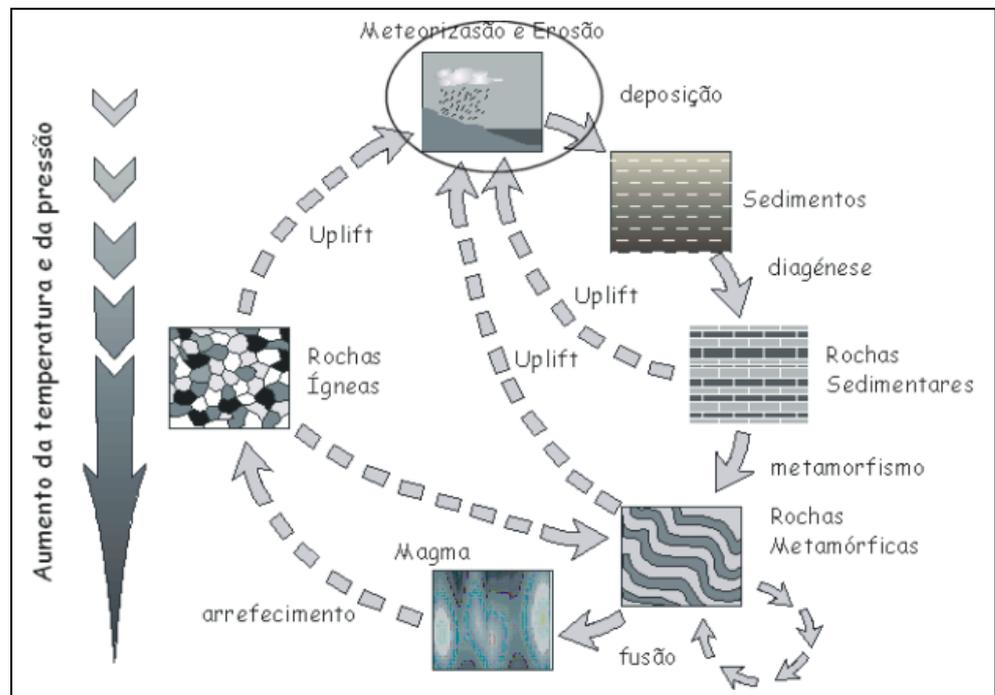


Figura.2 – Esquema representativo da meteorização química

Meteorização, erosão e o ciclo geológico

A meteorização e a erosão são processos que fazem parte do ciclo geológico, na sua parte superficial – Geodinâmica externa – e que são responsáveis por dar forma à superfície da Terra e alterar os materiais ocultos, transformando rochas ígneas, sedimentares e metamórficas em sedimentos ou formando solos.



Factores que controlam a meteorização

A alteração ou grau de alterabilidade de uma rocha é função de:

- a) Factores intrínsecos - propriedades da rocha
- b) Factores extrínsecos – meio onde se processa a alteração: clima; presença

ou ausência de solo; período de tempo em que as rochas estão expostas aos agentes da meteorização

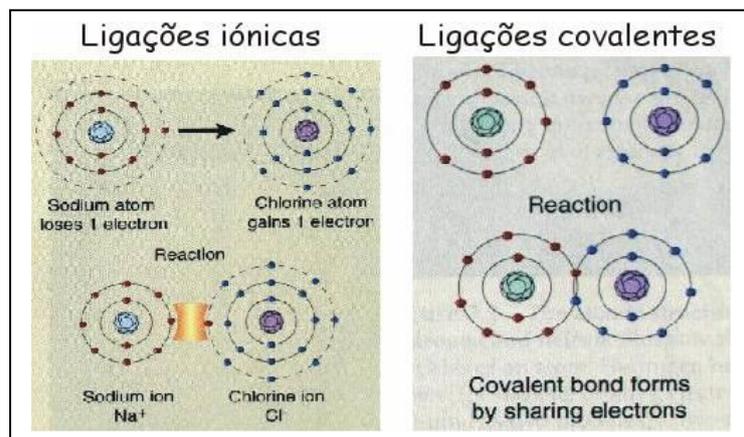
a - Factores intrínsecos (capacidade) - Propriedades da rocha mãe

A natureza da rocha-mãe afecta a meteorização porque:

- os diversos minerais têm diferentes susceptibilidades à alteração,
- a estrutura da rocha afecta a sua susceptibilidade à partição e fragmentação

Os factores intrínsecos que condicionam a estabilidade dos minerais aos agentes de meteorização são:

- Os arranjos estruturais
- A natureza e intensidade das ligações na estrutura (entre os diversos iões e entre as unidades estruturais) – ligações iónicas ou ligações covalentes (figura.3)



- A presença de determinados iões na estrutura

Figura.3

Considerando a estabilidade dos silicatos uma das mais importantes no estudo dos solos e de acordo com as figuras. 4 e 5:

1. A estabilidade é afectada pela intensidade e tipo de ligações existentes na estrutura
2. A estabilidade aumenta quando aumenta o grau de condensação (polimerização) da estrutura
3. Dentro de um determinado grupo estrutural a estabilidade diminui com o

aumento das substituições isomórficas de silício por alumínio

4. A estabilidade diminui com o aumento do número de catiões metálicos

5. A estabilidade é afectada:

- o Pelo volume ocupado por oxigénios que rodeiam o catião
- o Pela dimensão das partículas
- o Pela existência, na estrutura, de posições não ocupadas

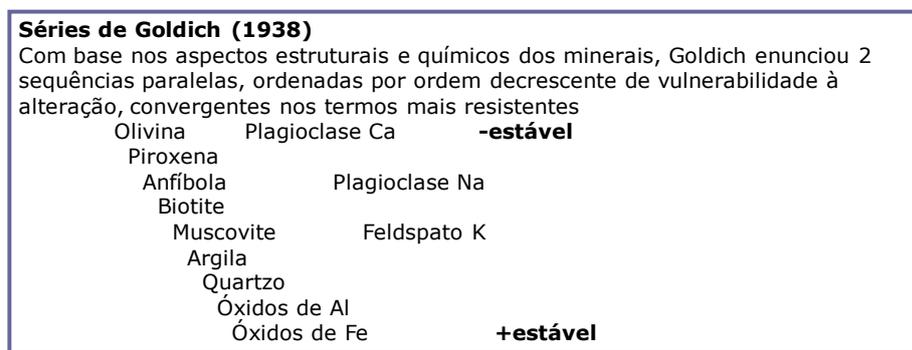


Figura.4 – Sequência de vulnerabilidade à alteração, segundo Goldich (1938)

De acordo com uma análise conjunta das Séries de Goldich e de Bowen.

- Os minerais gerados nos primeiros estádios da evolução magmática são os que se encontram em desequilíbrio mais profundo com as condições existentes na zona exógena da Terra – mais fácil e prontamente se decompõem em relação àquelas condições.

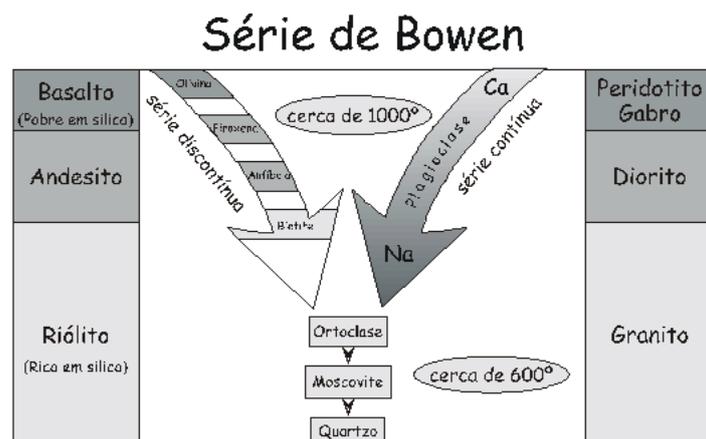


Figura.5

B - Factores extrínsecos – Estes são da responsabilidade do meio onde se processa a meteorização. Assim, podem descrever-se os seguintes:

B1 – Presença de água no estado líquido (figura.6)

- A reactividade química da água desencadeia e acelera as reacções químicas;
- Uma grande mobilidade apresentada por qualquer elemento radical que se encontre na água gera meteorização
- A cobertura vegetal é condicionada pela quantidade de água no estado líquido

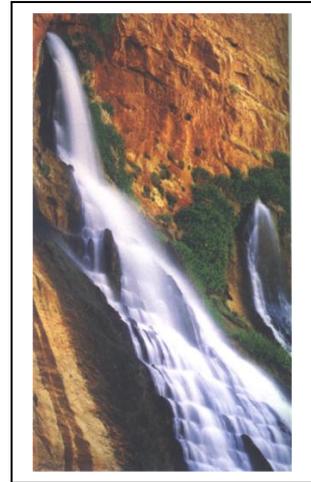


Figura.6 – Presença de água no estado líquido

B2 - Características da circulação e renovação da água

Quanto maior a circulação e renovação da água no seio da rocha, mais rápida e profunda é a meteorização

B3 – Condições químicas do meio: pH, Eh, concentração das soluções, dissociação iónica

A natureza dos reagentes presentes nas soluções que “atacam” os minerais, vão condicionar a sua alteração

B4- Intervenção de organismos animais e vegetais

B5- Influência da topografia

A topografia tem efeitos sobre:

- A intensidade da meteorização química
- A natureza dos produtos meteorizados

na medida em que controla:

- A taxa de escorrência superficial e percentagem de humidade na rocha

- a taxa de drenagem sub-superficial e a taxa de lixiviação dos constituintes solúveis
- a taxa de erosão dos produtos meteorizados e a taxa de exposição da superfície dos minerais.

A topografia Influência a intensidade da meteorização através da:

- boa infiltração e boa drenagem que favorecem a meteorização química
- infiltração e má drenagem que desfavorecem a meteorização química
- má infiltração e má drenagem que desfavorecem a meteorização química e favorecem a erosão

B6 – Influência da precipitação e temperatura

A meteorização está fortemente relacionada com o CLIMA (diferentes condições de temperatura e precipitação)

a. Precipitação (figura.7)

A água é o mais importante reagente em todas as formas de precipitação – existem valores mínimos de precipitação abaixo dos quais nenhuma forma de meteorização ocorre.

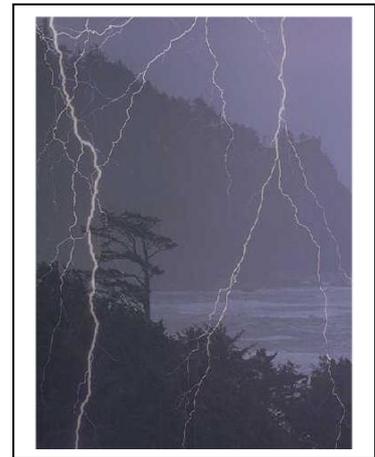


Figura.7 – Precipitação em época quente

O aumento da precipitação favorece o:

- Aumento da circulação e renovação da água no seio da rocha alterada
- Aumento da lixiviação de catiões: Forte lixiviação de catiões alcalinos e alcalino-terrosos. As fracções mais grosseiras (silte, areia) contêm mais quartzo – lixiviação de minerais menos estáveis
- Aumento da velocidade e intensidade da meteorização

b. Temperatura

- A variação anual de temperatura, influencia directamente a meteorização

mecânica

- O aumento de temperatura, aumenta da taxa de reacções químicas e de actividade biológica (O aumento de 10°C duplica/triplica as taxas de reacção química) (diminuição da solubilidade de O₂ e CO₂ na água como aumento da temperatura)

2.1 METEORIZAÇÃO FÍSICA

De acordo com o que já se referiu anteriormente, as acções físicas são preponderantes. O material sofre ruptura devido à actuação de agentes de meteorização mecânica de diversas origens. Os mecanismos mais importantes são: Fissuração e Desagregação

A fragmentação de um bloco rochoso é acompanhada por um aumento significativo de superfície exposta à acção dos agentes meteóricos. Podem, portanto, actuar em todo o globo embora com actuações mais reduzidas do que a actividade química. Iniciam, por vezes, a meteorização de uma dada rocha pois promovem a fragmentação, a qual abre canais que deixam penetrar a água e o ar (agentes de meteorização química), facilitando a reacção com os minerais.

Algumas forças são originadas no interior das rochas (intensidade); outras são aplicadas externamente (capacidade).

É muito importante ter a consciência sempre presente de que, o material perde a coerência sem modificação das composições química e mineralógica iniciais.

2.1.1 Mecanismos de Meteorização Física

- Encunhamento de gelo – Crioclastia
- Efeitos térmicos – termoclastia (insolação)
- Exfoliação
- Meteorização esferoidal
- Haloclastia
- Humedecimento e secagem sucessivos

2.1.1.1 Encunhamento de gelo – Crioclastia (expansão volumétrica da água quando congela em espaços confinados) – Figura.9

A água contida nos poros e nas fracturas das rochas, quando gela vai sofrer cerca de 9% de expansão, o que conduz a pressões que chegam a atingir os 110 Kg/cm². Este processo de expansão alarga as discontinuidades iniciais (poros, fissuras das rochas) e cria outras, permitindo a penetração de mais água, que por sua vez vai gelar.

É bastante importante em rochas permeáveis em regiões frias de alta montanha acima da zona com vegetação, onde normalmente existem mudanças bruscas de temperatura em torno do ponto de congelação

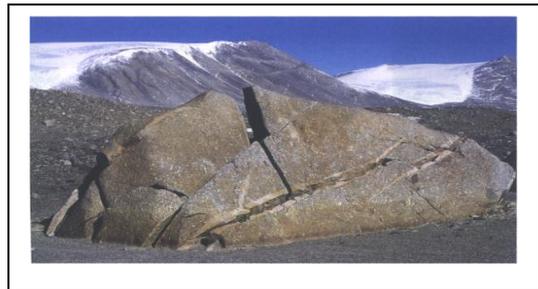


Figura.9 - Crioclastia

Efeitos térmicos – termoclastia (insolação) – Figura.10

A alternância de aumentos e diminuições de temperatura durante um ciclo diurno podem levar, respectivamente à contracção e expansão das rochas, conduzindo à sua ruptura.

As modificações de temperatura verificam-se em vários aspectos:

- Existência de gradientes de temperatura entre a superfície e o interior da rocha.
- Diferentes coeficientes de expansão térmica dos minerais constituintes
- Amplas variações de temperaturas diurnas



Figura.10 - Termoclastia

2.1.1.2 Exfoliação (figura.11)

Resulta do alívio da pressão confinante a que estão sujeitas as rochas, devido à remoção do material suprajacente.

- Esta remoção pode ser natural (é o caso da erosão nas montanhas) ou artificial (é o caso das grandes pedreiras a céu aberto).



- A descompressão causada pela saída do material que estava por cima, provoca a expansão do material e a formação de fracturas subparalelas à topografia

Figura.11 - Exfoliação

2.1.1.3 Meteorização esferoidal – (figura. 12)

É semelhante à anterior mas a fragmentação da rocha produz fragmentos curvos, geralmente em menor escala que o processo anterior.

Pensa-se que estes dois processos são em parte resultado de uma desigual distribuição da expansão e contracção das rochas, motivadas por meteorização química e modificações de temperatura

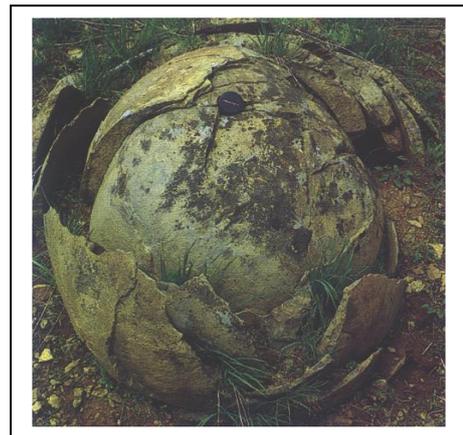


Figura.12 – Meteorização esferoidal

2.1.1.4 Haloclastia – cristalização, crescimento e hidratação de sais em espaços confinados - Comum em regiões quentes desérticas (figura.13).

Nas rochas porosas pode entrar água com sais dissolvidos. Durante o dia, com o aumento da temperatura pode dar-se a evaporação da água com um crescimento e cristalização dos sais contidos.



Figura.13 - Haloclastia

2.1.1.5 Humedecimento e secagem sucessivos – (figura.14)

O processo inicia-se num momento de humedecimento onde existem simultaneamente, uma camada de água ordenada à volta dos minerais e água desordenada fora da acção das partículas. Ao dar-se a secagem, o excesso de água é drenado mas a camada de água ordenada mantém-se à volta da partícula provocando contracção do material. Quando volta a haver condições para um novo humedecimento do solo, a água renovada constrói uma nova camada de água ordenada, a qual, fica dupla e daí resulta uma maior ordenação das moléculas de água, que por sua vez assume uma natureza “quase cristalina” e exerce uma força expansiva contra as paredes do mineral que entra em ruptura.

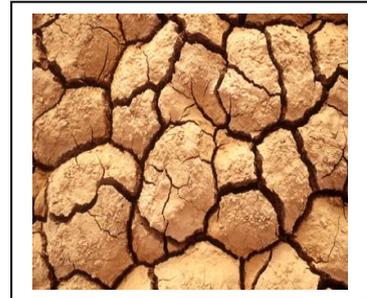


Figura.14 – Ruptura por humedecimento e secagem sucessivo

2.2 METEORIZAÇÃO QUÍMICA

Como já foi referido anteriormente, a meteorização química, implica a destruição da estrutura interna dos minerais e a formação de novas estruturas. Deste modo, a composição química da rocha é alterada, o que provoca mudanças na sua aparência física. Em todo este processo, a água vai ser o agente principal, com efeito, ela não só toma parte directa nas reacções químicas, como também funciona como meio de transporte para os elementos químicos da atmosfera e favorece a remoção da zona alterada das rochas, expondo novas superfícies. Assim, o grau de meteorização química vai depender da taxa de precipitação.

2.2.1 MECANISMOS DE METEORIZAÇÃO QUÍMICA - (figura.15)

- Hidratação
- Dissolução e Solubilização
- Oxidação
- Hidrólise

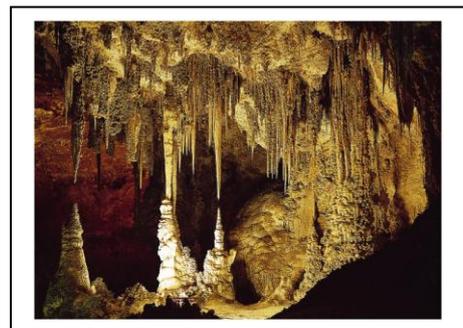


Figura.15 - Dissolução

2.2.1.1 Hidratação

As moléculas de água entram na estrutura mineral, modificando-a e formando outro mineral.

Ocorre por atracção entre os dipolos das moléculas de água e as cargas eléctricas não neutralizadas da superfície dos grãos.

Ex: Formação de minerais argilosos – estes incorporam parte da água (OH^-) na sua estrutura (figura.16).

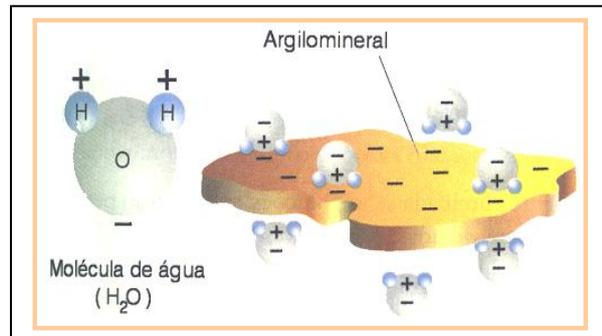


Figura.16 – Hidratação

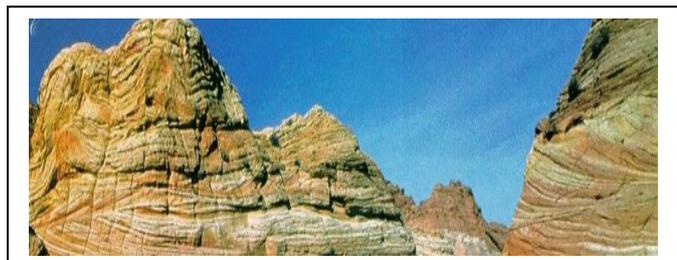
A hidratação envolve mudança de volume do mineral e prepara a superfície dos minerais para outras alterações

2.2.1.2 Dissolução e Solubilização

Os materiais rochosos libertam vários elementos que não reagem uns com os outros, mas passam directamente para a solução. É muito comum em calcários (figura.17).

Pode ocorrer por acção da:

- a) Água corrente
- b) Película de água em redor das partículas



A composição da solução final é igual à Composição do mineral inicial. Se os calcários não forem puros, vão ficar com muitos resíduos do tipo: minerais argilosos; quartzo; sílex; óxidos de Fe. Estes são libertados e concentram-se nas fendas/cavidades do calcário, dando origem à Terra-rossa (figura.18)

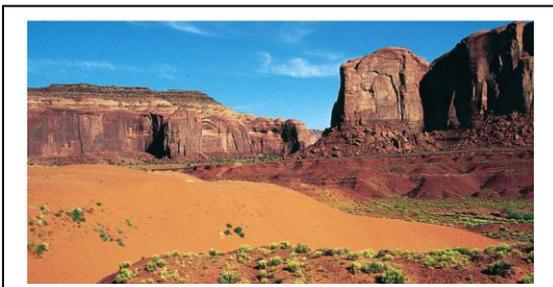


Figura.18 – Terra Rossa

2.2.1.3 Oxidação

É a reacção entre o oxigénio da atmosfera ou o dissolvido na água, com os minerais. A nível dos elementos químicos importantes neste tipo de reacções, é de destacar o caso do ferro, o qual aparece sob a forma de Fe^{2+} nos silicatos ferro-magnesianos e de Fe^{3+} quando alterado em atmosferas oxidantes.

2.2.1.4 Hidrólise

Consiste na reacção química entre um mineral e a água, formando novos minerais – minerais secundários – minerais argilosos (Figura.19).

É o agente de alteração mais importante pois a partir da síntese dos iões libertados formam-se novos minerais mais adaptados às condições da superfície terrestre: minerais secundários que resultam em minerais argilosos e/ou em óxidos de alumínio e ferro.

A hidrólise ocorre porque a água tem tendência a dissociar-se: ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$). Os iões do mineral vão-se combinar com os iões H^+ e OH^- da água. Para além disso, a água da chuva em contacto com o CO_2 atmosférico forma ácido carbónico, tornando as gotas levemente ácidas e, portanto, com maior tendência a dissociar os minerais.

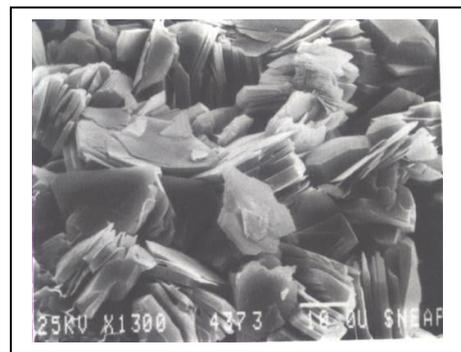


Figura.19 – Minerais de argila

3. CONCLUSÃO

À medida que se vai dando a meteorização de uma rocha, os produtos resultantes vão formando uma capa que é o chamado rególito, o qual pode ter uma espessura de alguns milímetros até centenas de metros, dependendo principalmente do tipo de clima.

4. SITES COM INTERESSE

Instituição	Endereço
Sociedade Portuguesa de Ciência do Solo	http://www.isa.utl.pt/dca/easpcs.html/
Serviço Nacional de Informação Geográfica	http://snig.cnig.pt/snig/
International Union of Soil Sciences	http://www.iuss.org
Food and Agriculture Organization	http://www.fao.org/
European Soil Bureau	http://www.aris.sai.jrc.it/ESB/
ITC Soil Science Division	http://www.itc.nl/ha2/soil/
Soil Science Society of America	http://www.soils.org/
Depto. Edafologia. Enlaces	http://edafologia.ugr.es/Comun/
Department of Geology and Soil Science, University of Gent, Belgium	http://allserv.rug.ac.be/~gbaert/

5. BIBLIOGRAFIA

- Birkeland, P.W. (1984). *Soil and Geomorphology*. Oxford University Press. Inc. N. Y.
- Buol S.; Hole F.; Mccracken R. & Southard R. (1997). *Soil genesis and classification*; 4th edition. Iowa State University Press. Iowa.
- Carvalho, A. M. G. (1996). *Geologia - Morfogénese e Sedimentogénese*; Universidade Aberta; Lisboa
- Derruau, M. (1988). *Précis de Geomorphologie*, 7^{ème} edition; Masson, Paris
- Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press. San Diego.
- Jenny, H. (1941). *Factors of soil formation*. Mc. Graw Hill, New York
- Press, F.; Siever, R. (1997). *Understanding Earth - 2th edition*; W. H. Freeman and Company; New York
- SSSA, 1997. Glossary of Soil Science Terms 1996. Soil Sci. Soc. Am. Madison.
- Strahler, A. & Strahler, A. (2002). *Physical Geography - Science and Systems of the Human Environment*; 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., USA