

Hidrogeologia

Tema de grande importância, mas não é passível de avaliação separada.

Tema só para leitura!

Hidrogeologia vs. Eng. Civil

Hidrogeologia - Ramo das Geociências (Ciências da Terra) que se ocupa do estudo das águas subterrâneas.

Geologia:

Leis relativas à existência e circulação das águas subterrâneas

Grande desenvolvimento decorrente da necessidade de resolução de problemas de grande importância económica.

Enorme procura de água resultante do aumento da população e da industrialização.

A contaminação das águas subterrâneas é uma das questões ambientais mais importantes.

Interacção águas superficiais vs águas subterrâneas

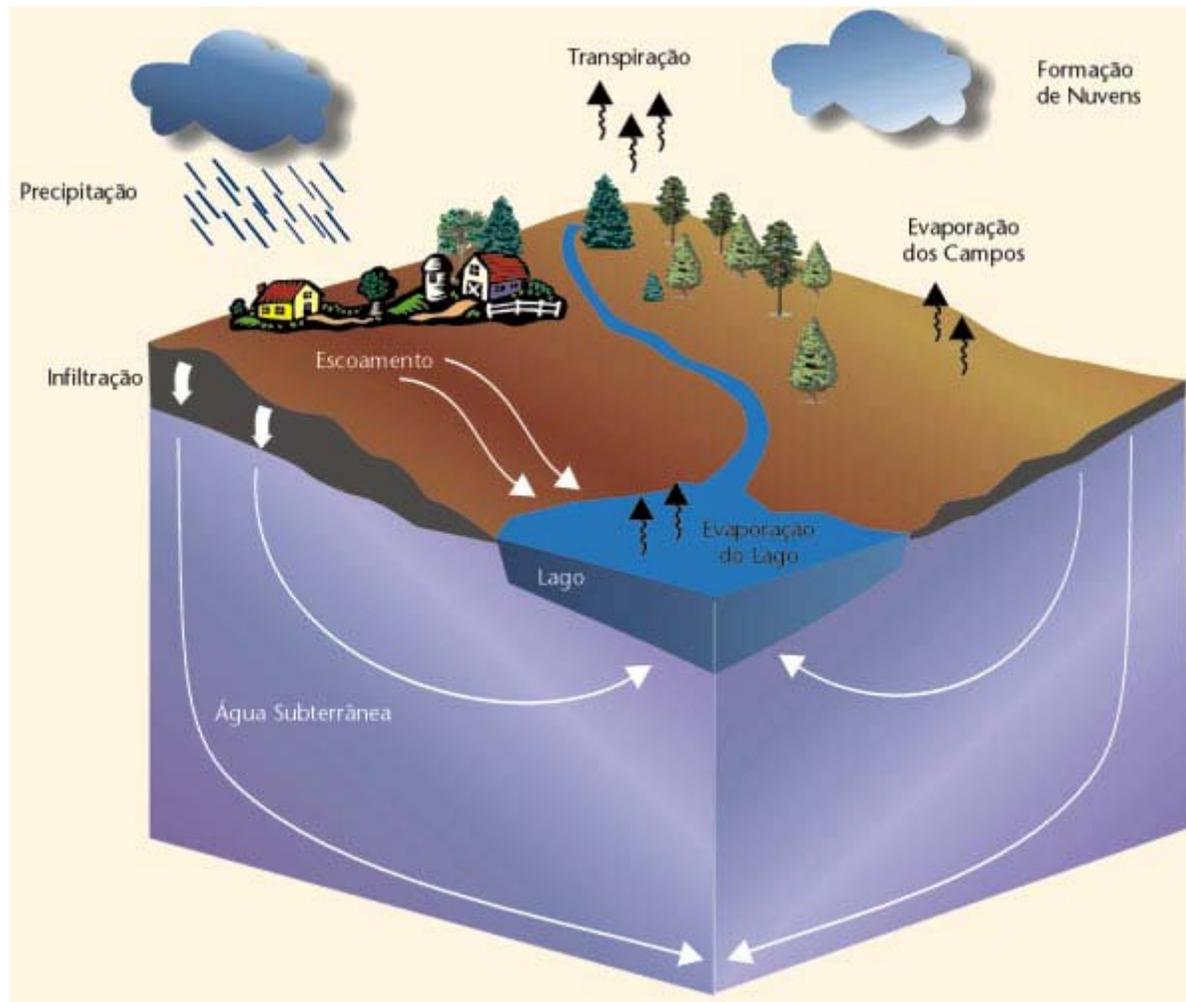
Distribuição de água no Globo

Quadro da distribuição de água no Globo

Águas superficiais	Lagos de água doce	0,009 %
	Lagos salgados e mares interiores	0,008 %
	Armazenamento temporário em rios e canais	0,0001 %
Águas subterrâneas	Águas suspensas e gravíticas incluindo a humidade do solo	0,005 %
	Águas armazenadas até 1 km de profundidade (algumas são salgadas)	0,33 %
	Águas profundas (muitas são salgadas e não potáveis)	0,29 %
Outras águas	Calotes polares e glaciares	2,15 %
	Atmosfera	0,001 %
	Oceanos	97,2 %

Dados procedentes do U.S. Geological Survey

O ciclo hidrológico

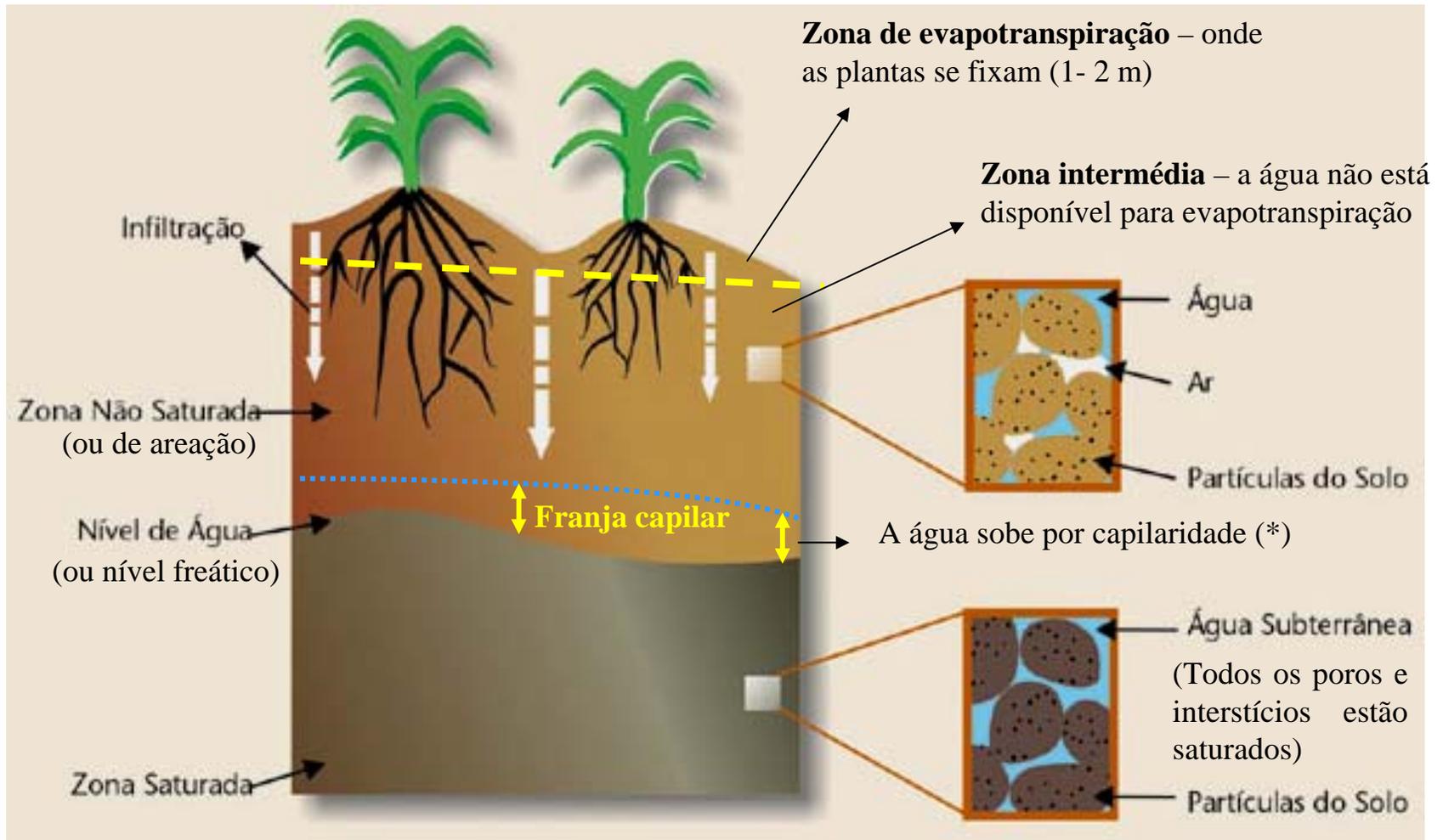


O ciclo hidrológico

Retirado de

http://www.igm.ineti.pt/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/ciclo.htm

Movimento da água no solo



(*) alguns mm nos terrenos arenosos; alguns m nos terrenos argilosos

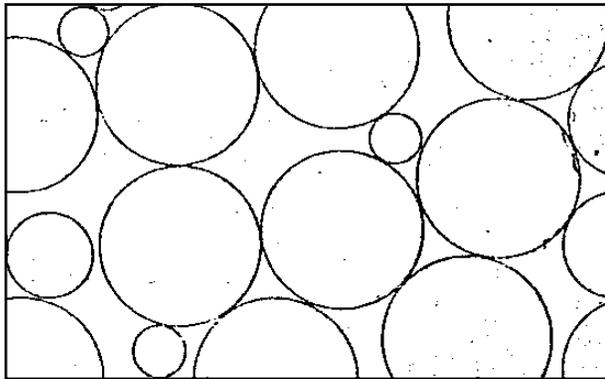
Alguns parâmetros Hidrogeológicos fundamentais

Porosidade - é a propriedade que os solos e as rochas têm de possuir poros ou cavidades, e exprime-se em %:

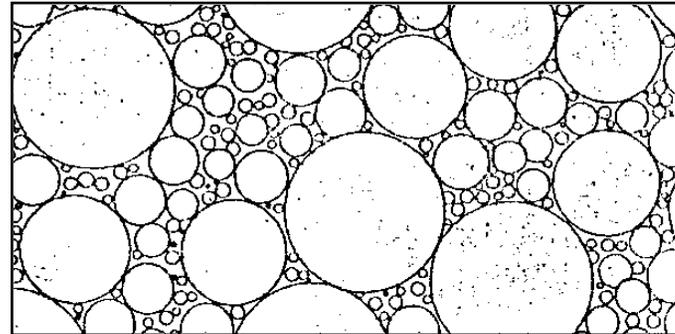
$$P = (V_v / V_t) \times 100$$

V_v = volume total de vazios

V_t = volume ocupado pelo solo ou rocha



32 %

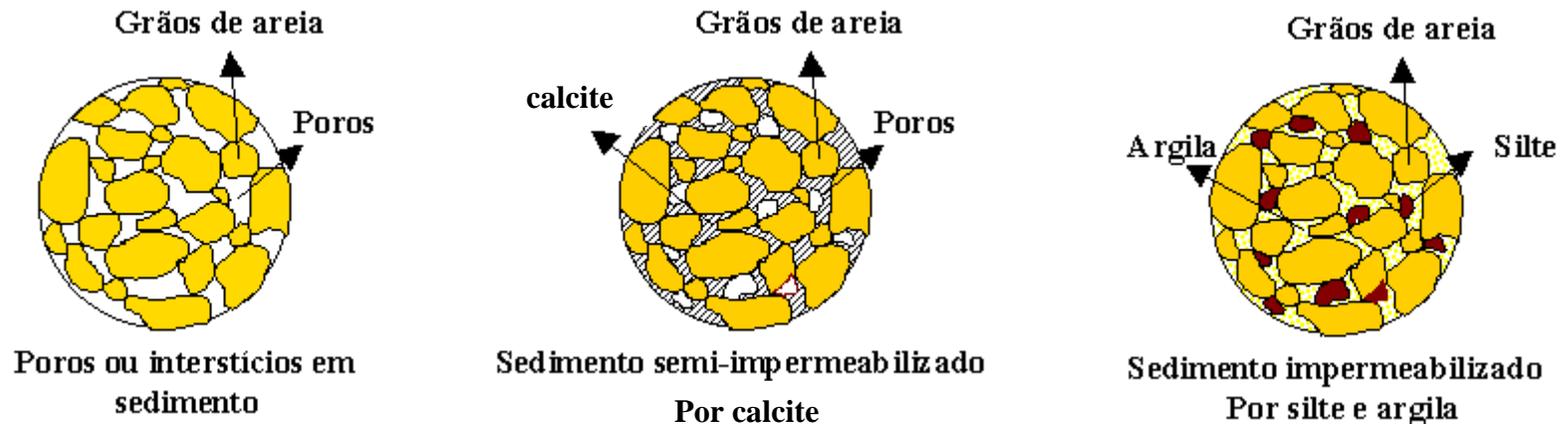


17 %

Exemplos de formações geológicas com porosidades diferentes.

Nas formações geológicas, os espaços vazios podem estar conectados ou podem estar semi-fechados condicionando a passagem de água.

Esta característica designa-se por **permeabilidade**:



Porosidade vs. Permeabilidade

Permeabilidade de diferentes formações geológicas (exemplos)

Areias limpas - Formações muito porosas e permeáveis se os seus poros forem grandes e bem interconectados.

Argilas e certos materiais vulcânicos - Formações impermeáveis, dado que apesar de terem muitos poros, eles são pequenos encontram-se fechados.

Rochas ígneas e metamórficas - São em geral formações de baixa porosidade, e como tal tendem a ser pouco permeáveis uma vez que as conexões entre os poros são difíceis de estabelecer.

Valores de porosidade e permeabilidade

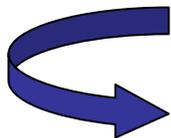
Tipo de rocha	Porosidade (%)	Permeabilidade (m/dia)
Cascalheira	30	> 1000
Areia	35	10 a 5
Argila	45	< 0.001

Tipos de Aquíferos

Aquífero:

- i) formação geológica que armazena e permite a circulação subterrânea da água
- ii) de onde é possível extrair a mesma
- iii) durante um determinado período de tempo
- iv) de forma economicamente viável e sem impactos ambientais negativos.

Os aquíferos são frequentemente designados através de outras expressões que devem ser evitadas,



tais como:

- *toalha aquífera,*
- *lençol freático*
- *lençol de água.*

Tipos de Aquíferos (cont.)

Se as formações geológicas não são aquíferas então podem ser definidas como:

Aquitardo – Formação geológica que pode armazenar água mas que a transmite lentamente não sendo rentável o seu aproveitamento a partir de poços e/ou furos de captação.

Aquicludo - Formação geológica que pode armazenar água mas não a transmite (a água não circula).

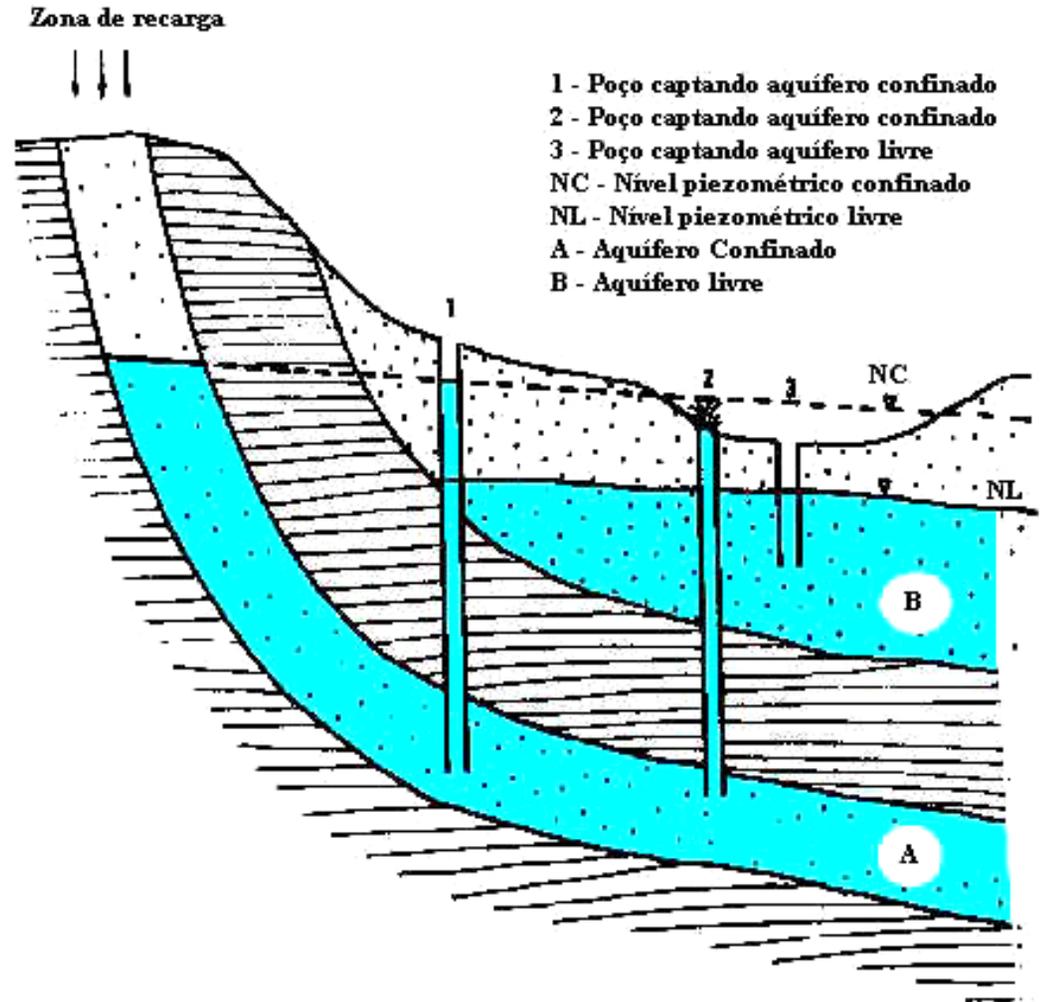
Aquífugo - Formação geológica impermeável que não armazena nem transmite água.

Tipos de Aquíferos (cont.)

No furo 1 a água sobe acima do tecto do aquífero.

A altura a que a água sobe chama-se nível piezométrico e o furo é artesiano.

Se a água atingir a superfície do terreno sob a forma de *repuxo* então o furo artesiano é *repuxante*.



Principais tipos de aquíferos

Aquíferos em diferentes formações

Podemos dizer que existem essencialmente três tipos de aquíferos:

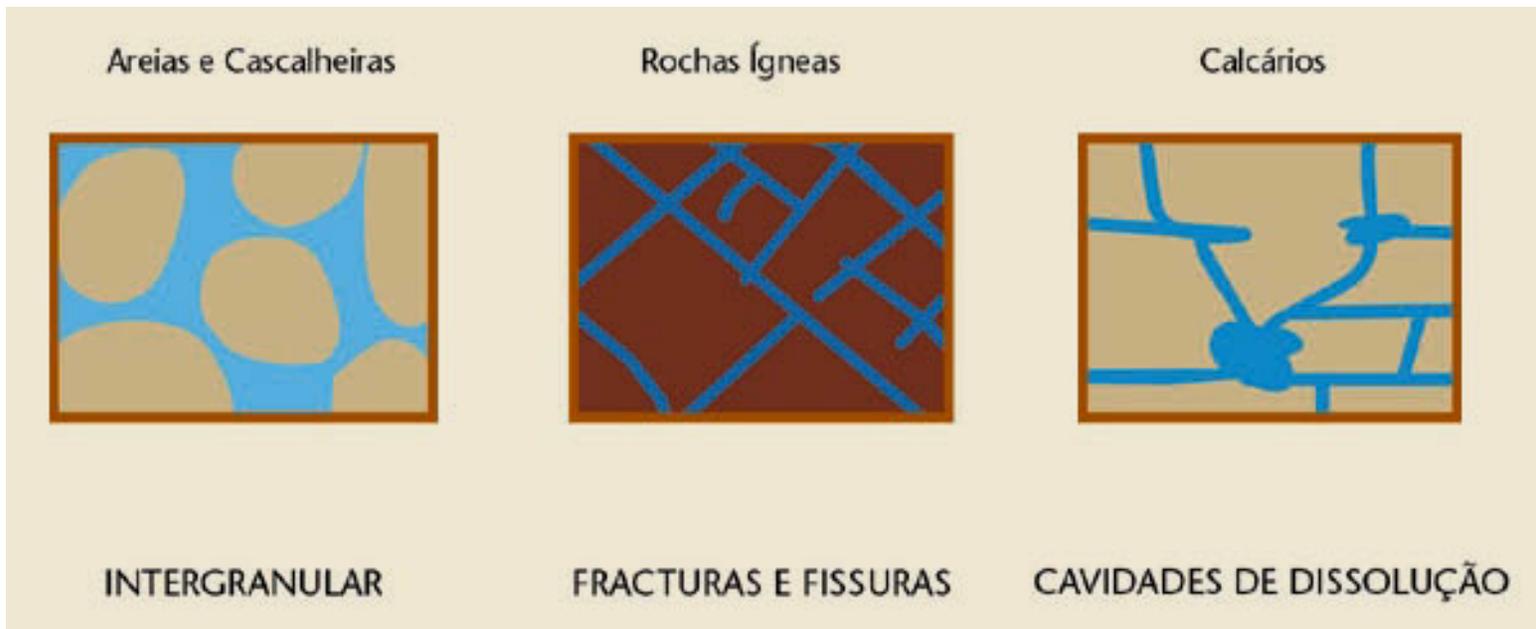
Porosos - a água circula através de poros.

As formações geológicas podem ser detríticas (ex. areias limpas), por vezes consolidadas por um cimento (ex. arenitos, conglomerados, etc.)

Fracturados e/ou fissurados - a água circula através de fracturas ou pequenas fissuras.

As formações podem ser granitos, gabros, filões de quartzo, etc;

Cársicos - a água circula em condutas que resultaram do alargamento de diaclases por dissolução. As formações são os diversos tipos de calcários.



Circulação da águas nos meios porosos, fracturados e cársicos (*fonte IGM*)

Em muitos casos, os sistemas aquíferos são mistos (ex.):

- Os granitos podem ter uma zona superior muito alterada onde a circulação é feita através dos poros e uma zona inferior de rocha sã onde a circulação é feita por fracturas.
- Os calcários podem ser cársicos e fissurados circulando a água através de fissuras da própria rocha e de condutas.

Classificação hidrogeológica das rochas

Do ponto de vista de jazida e circulação das águas subterrâneas podemos classificar as rochas (no sentido geológico do termo)

1) *Rochas permeáveis em pequeno*

2) *Rochas permeáveis em grande*

2a) – Rochas mediantemente permeáveis

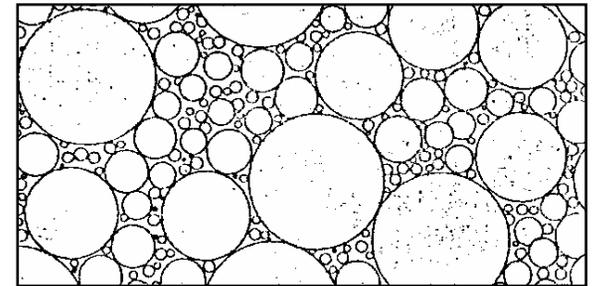
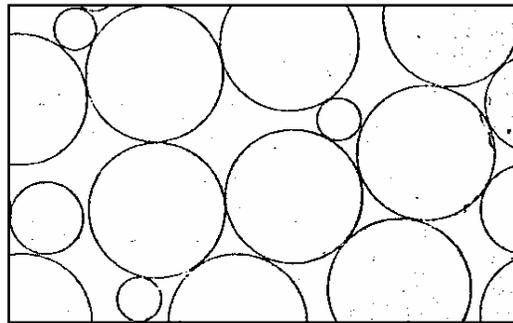
2b) – Rochas fortemente permeáveis

Rochas permeáveis em pequeno

Rochas não consolidadas que inclui argilas, siltes, areias, seixos, calhaus, etc.

Os poros nestas rochas são constituídos pelos vazios existentes entre os seus elementos constituintes.

A porosidade, a permeabilidade, e o rendimento específico são função do tamanho das partículas e da sua homogeneidade.



Porosidade - exemplo de variação devido ao grau de homogeneidade e tamanho dos grãos.

Rochas medianamente permeáveis (cont.)

A) O caso das rochas ígneas plutónicas e das rochas metamórficas

As amostras de rochas plutónicas e metamórficas são apresentadas uma porosidade total quase sempre inferior a 1%.



Os poros existentes neste tipo de rochas são muito pequenos e em geral não comunicam entre si.



Daqui resultam permeabilidades tão baixas que na maioria das rochas se consideram praticamente nulas.

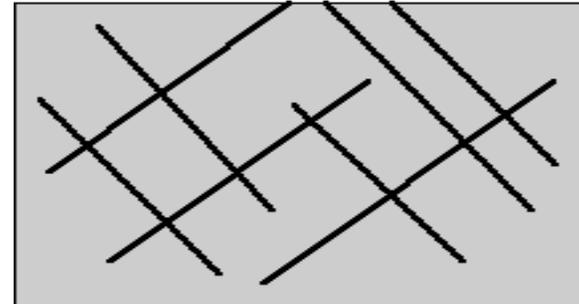
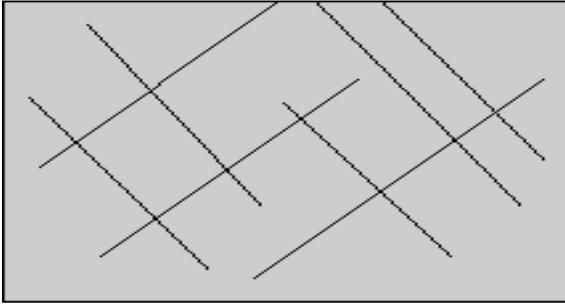


São as fracturas e zonas de alteração que conduzem ao desenvolvimento de porosidades e permeabilidades apreciáveis.

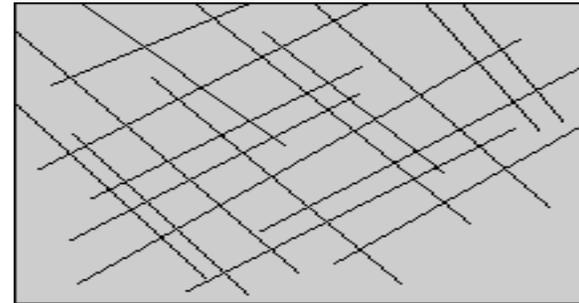
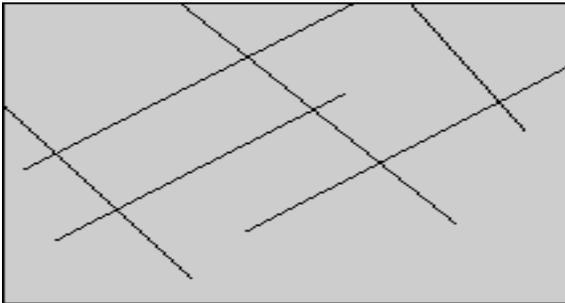
Desfavoráveis

Favoráveis

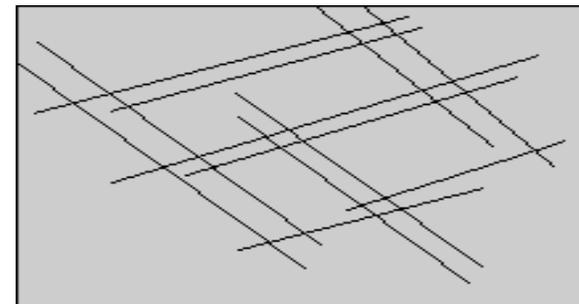
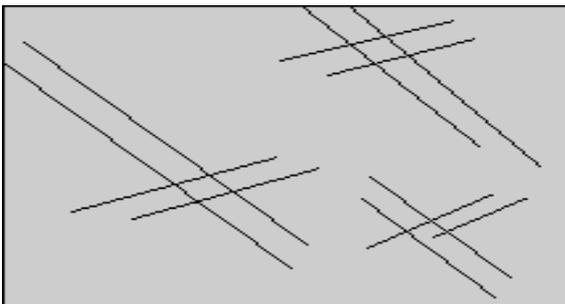
Tamanho das aberturas



Espaçamento entre fracturas



Interconecção

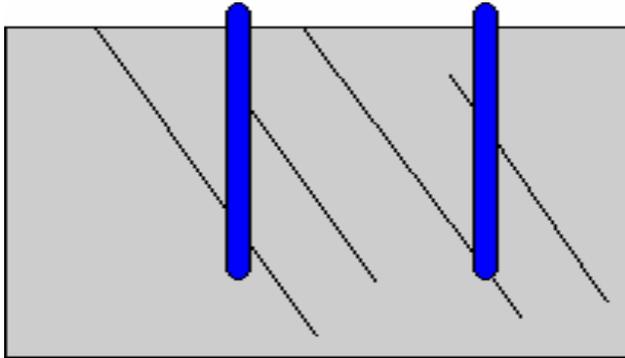


Características favoráveis e desfavoráveis de sistemas de fracturas para a circulação de águas subterrâneas.

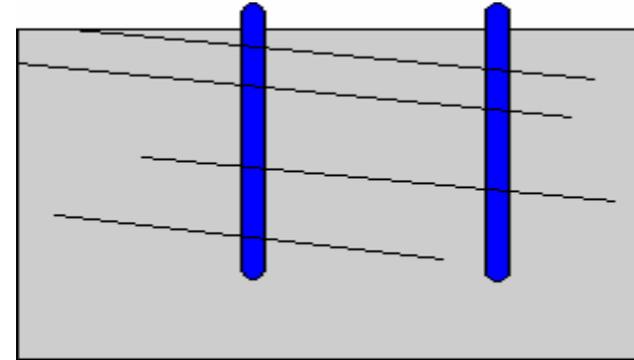
Desfavoráveis

Favoráveis

Orientação

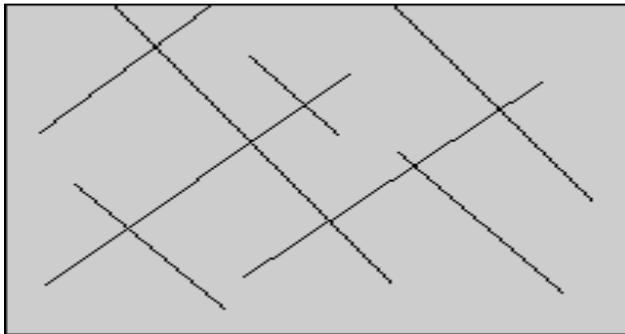


Os furos interceptam poucas fracturas

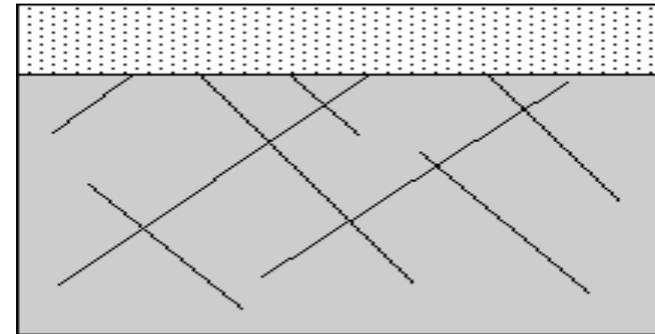


Os furos interceptam mais fracturas

Cobertura de solo



Condição sem recarga



Condição de maior de recarga

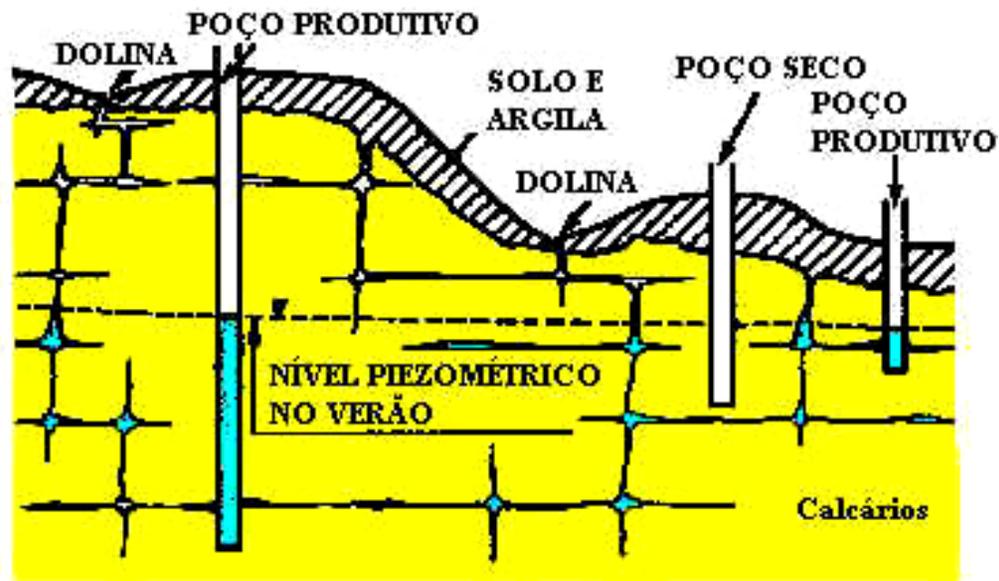
Características favoráveis e desfavoráveis de sistemas de fracturas para a circulação de águas subterrâneas.

Rochas fortemente permeáveis (rochas calcárias)

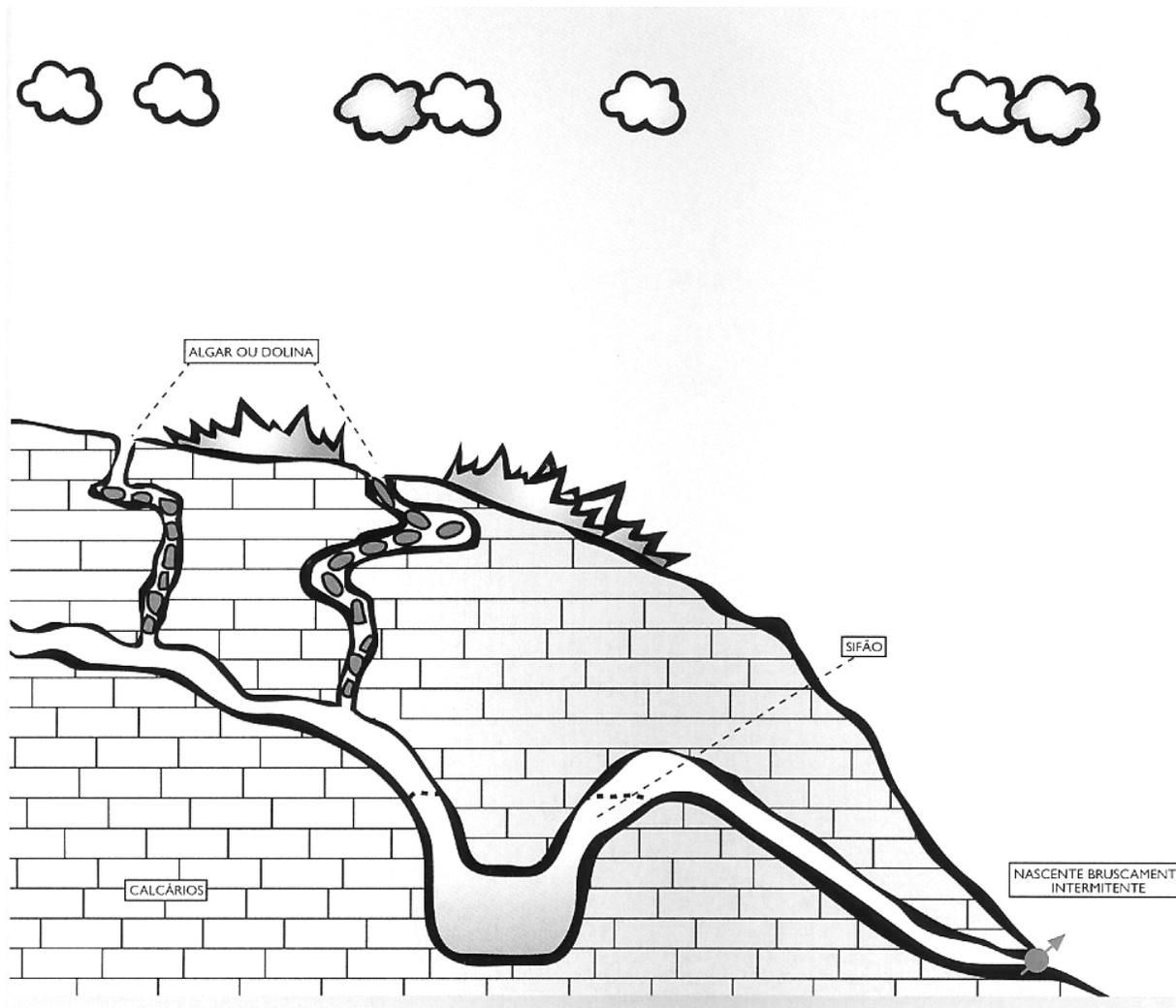
O rápido alargamento das diaclases e juntas de estratificação (por dissolução) transforma-se numa ampla rede de condutas.



Estas rochas são caracterizadas por alto rendimento específico e permeabilidade, muito embora sejam praticamente impermeáveis ao nível de amostras de mão



Modelado cárstico. Localização de furos de captação "secos" e produtivos



Exemplo de circulação das águas subterrâneas nos maciços calcários. Sumidoro, exurgência e cifão.

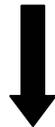
Retirado de INAG: www.inag.pt/snrh

Considerações gerais sobre a hidrogeologia de Portugal continental

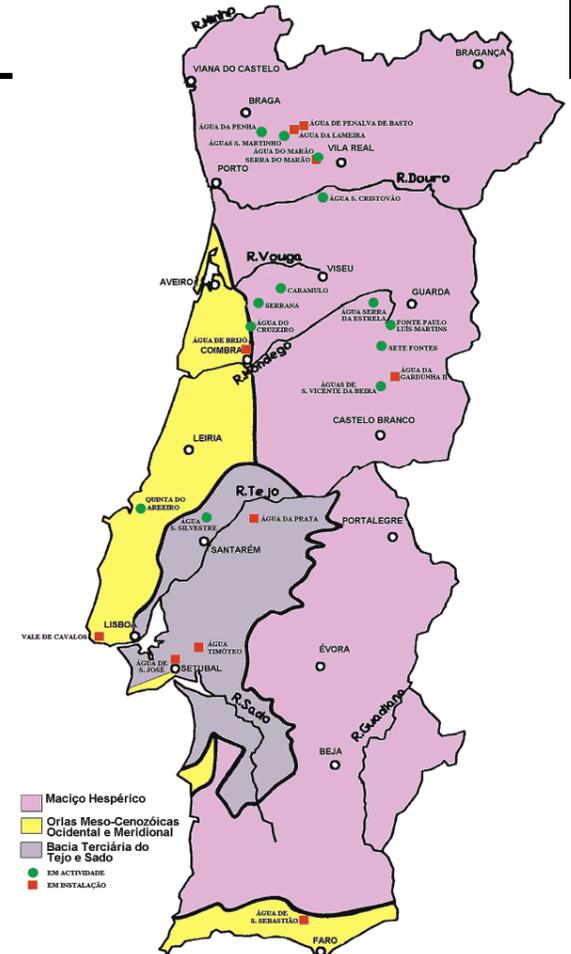
3 grandes unidades geológicas

- i) - o Maciço Hespérico (Paleozóico)
- ii) - As Orlas Mesozóicas
- iii) - As Bacias Terciárias do Tejo e do Sado

O comportamento hidrogeológico destas três unidades depende do tipo de solo de alteração e do grau de fracturação das formações geológicas.



A diversidade de rochas existentes nestas três unidades produz, por alteração das suas camadas mais superficiais, diferentes tipos de solo.



Grandes unidades hidrogeológicas de Portugal continental

**O Maciço
Hespérico**

(granitos e xistos)

Solos com elevada quantidade de elementos grosseiros: boas condições de infiltração

Solos argilosos: não são favoráveis à infiltração

Orlas Mesozóicas

e

Bacias Terciárias

Dada a natureza das rochas existentes, os solos acabam por ser areno-argilosos.

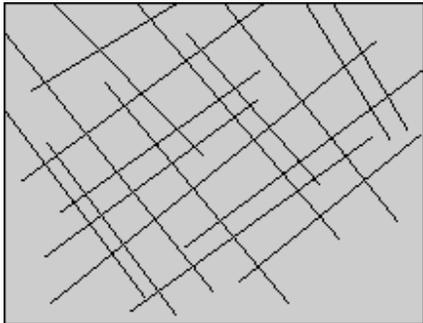
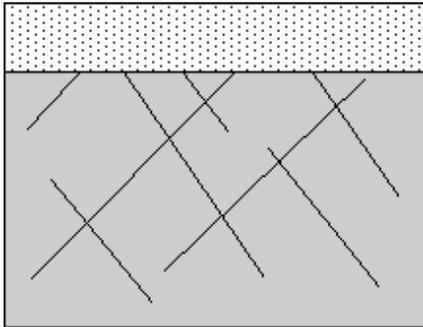
Manchas muito grandes de terrenos calcários:



a carsificação pode originar condições de infiltração muito boas.

O Maciço Hespérico (Paleozóico)

A circulação de águas subterrâneas é mais favorável nas zonas de alteração e nas zonas intensamente fracturadas.



Critério de Alcalinidade vs permeabilidade

Quanto mais básica for a rocha eruptiva mais baixa será a permeabilidade:



devido à mais fácil formação de produtos argilosos ao longo das fracturas.

Acidentes de captação naturais

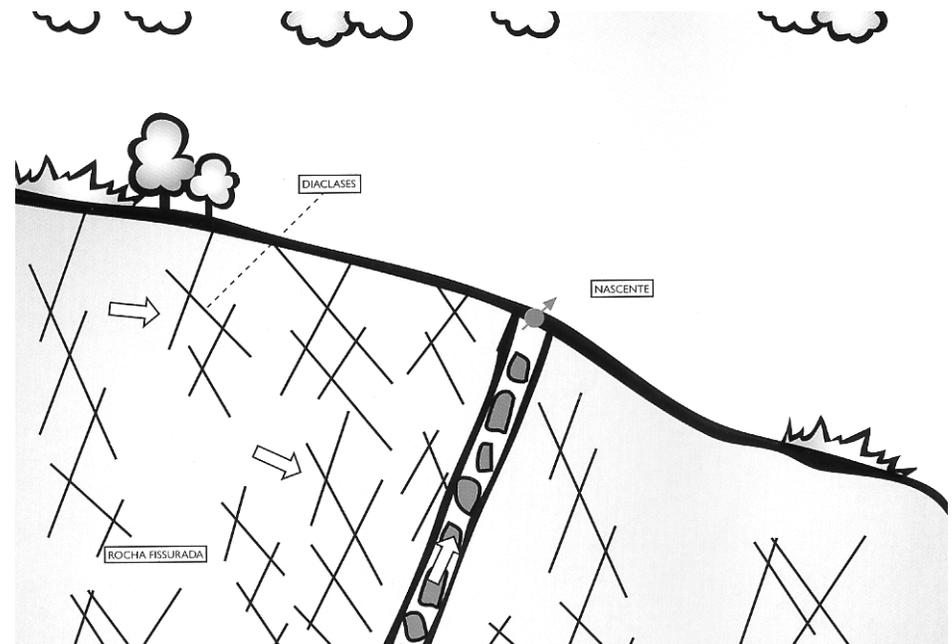
Existência de contactos entre rochas com propriedades hidrológicas diversas

Acidentes tectónicos importantes

Filões

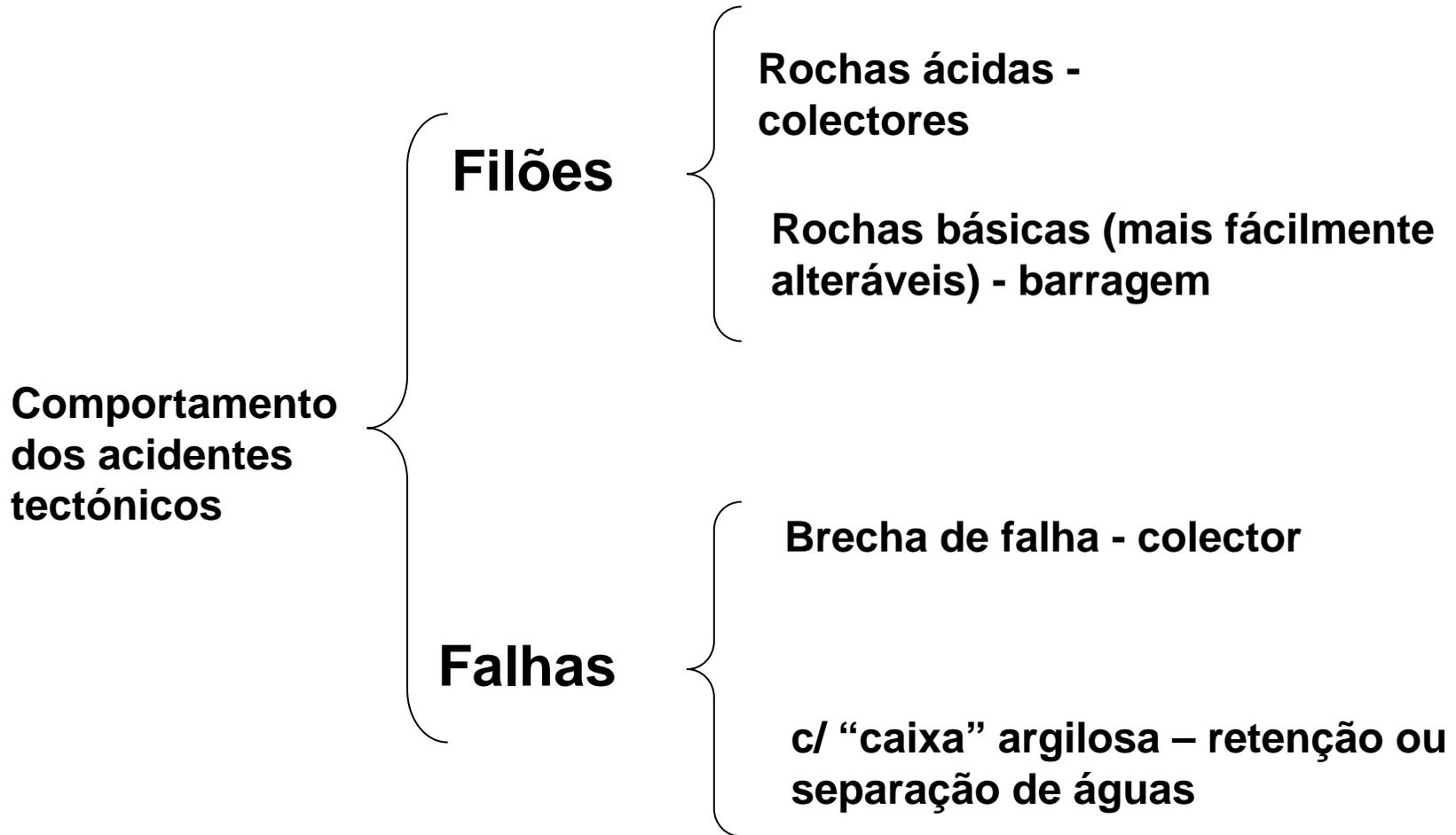
Aplíticos
Pegmatíticos
Quartzosos

Falhas



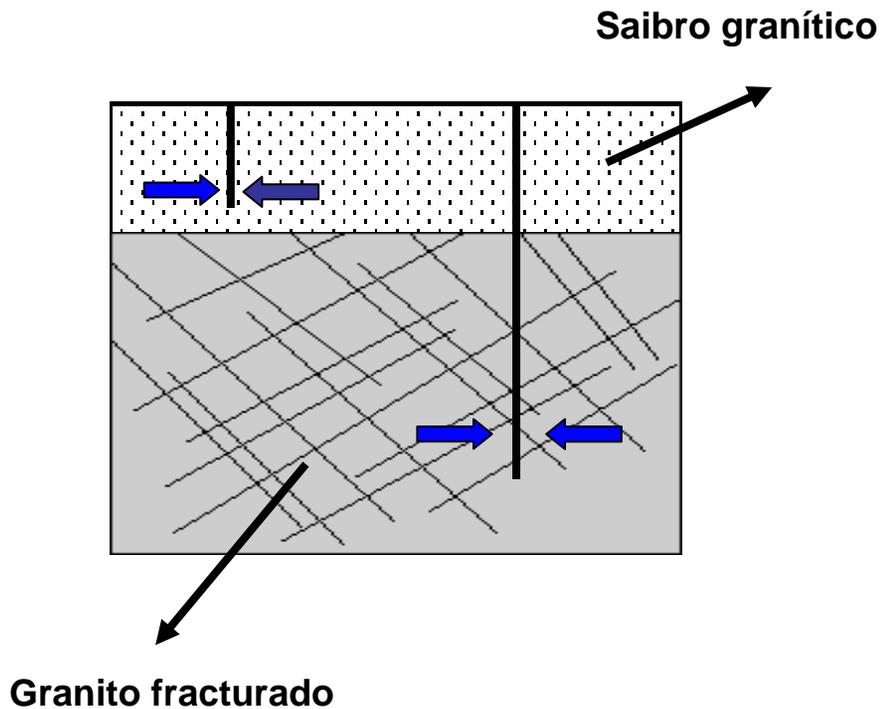
Acidente de captação natural: ex. filão de quartzo encaixado em rochas granitóides. Retirado de INAG: www.inag.pt/snrh

Acidentes de captação naturais (cont.)



Meteorização das rochas graníticas

As rochas graníticas, por acção dos agentes meteóricos transformam-se em saibros graníticos, mais ou menos incoerentes



Destruição da coesão da rocha



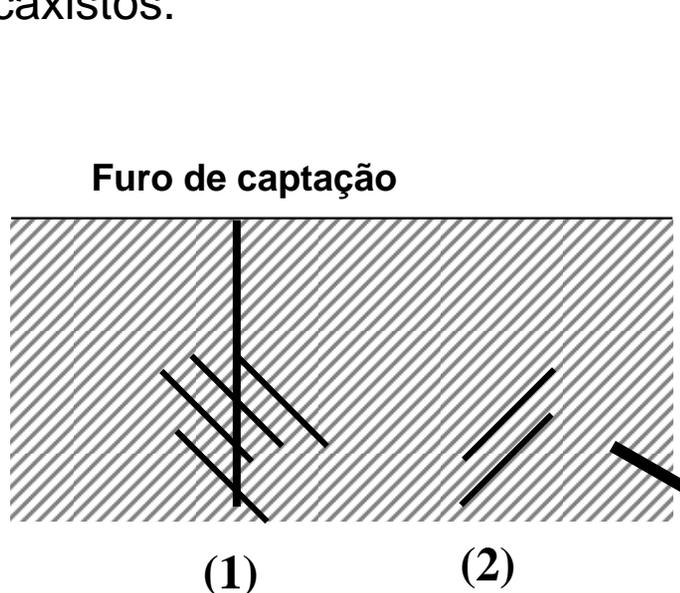
Desaparecimento da rede de diaclases.



O regime hidrológico é comparável ao das rochas não consolidadas

Rochas do Complexo Xisto-Grauváquico

Xistos argilosos, xistos cloríticos, xistos sericíticos e talco-xistos (xistos luzentes), micaxistos.



- (1) – Diaclases/fracturas mais aquíferas
- (2) - Diaclases/fracturas c/ tendência para fechar

A circulação tem lugar ao longo

- Diaclases
- Planos de xistosidade

Estas rochas originam, por alteração, solos argilosos, pouco permeáveis, e dão ensejo à formação de enchimentos argilosos ao longo das fendas, sobretudo, nas zonas mais superficiais.

Escoamento superficial muito intenso.

Orlas Meso-Cenozóicas

Domínio
de
formações

Calcárias
Gresosas
Argilosas



- Fácil solubilidade
- Fácil penetração da água no subsolo
- Relevo Cársico



Exsurgências: dão origem a rios de certa importância.



Os caudais são elevados; c/ oscilações que acompanham as curvas pluviométricas

(zonas extremamente vulneráveis)

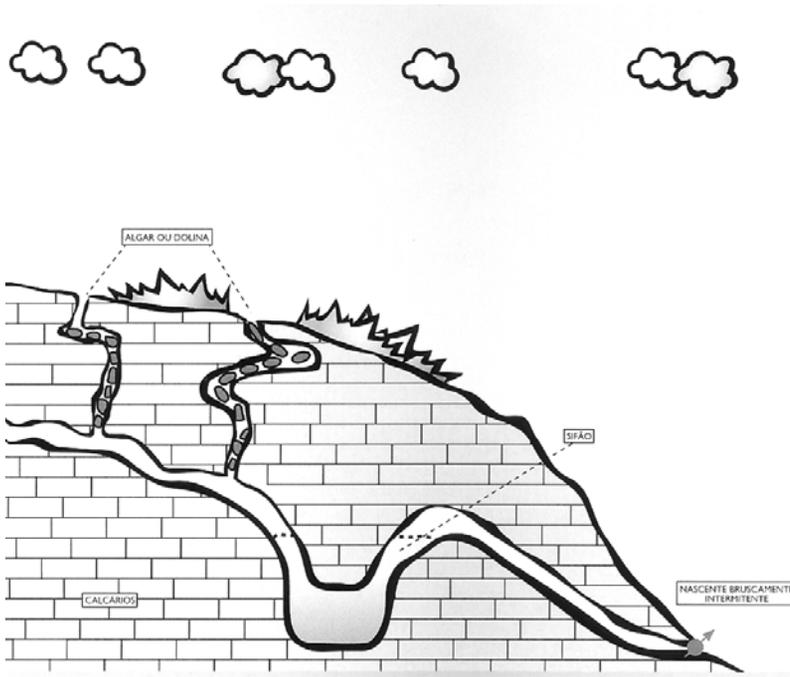


Foto c/ sifão - calcários

Orlas Meso-Cenozóicas (cont.)

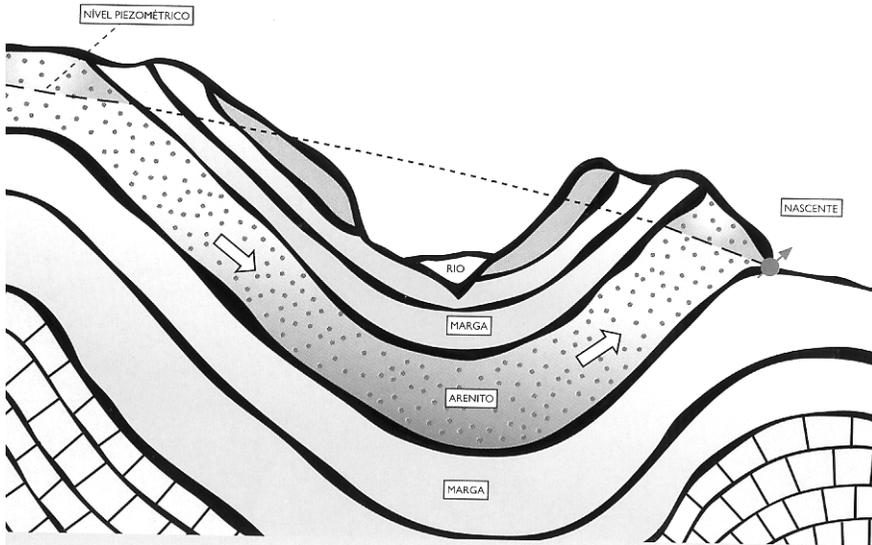
Séries
gresosas
calcárias
argilosas

A circulação das águas subterrâneas é regida pelas diferenças de permeabilidade e de camadas adjacentes

Níveis calcários – muito permeáveis; forte infiltração.

Níveis gresosos – menos permeáveis; zonas de infiltração secundárias (a água circula mais lentamente).

Níveis argilosos – impermeáveis; servem de “base” para a acumulação de água nos níveis superiores.



**Rochas ígneas
e
ataque dos silicatos**

lões tais como o Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e o K^+ encontram-se por vezes debilmente retidos na estrutura silicatada.

O processo de dissolução é função do pH e da temperatura da água.

Formação de substâncias insolúveis, de modo geral minerais argilosos, as quais tendem a fixar de forma irreversível o ião K^+ .



Exemplo da meteorização do granito, dando origem à formação de “caos de blocos”.

**Interacção
água-
granito**

As águas relacionadas com rochas granitóides são em geral pouco mineralizadas,

Domina o HCO_3^- e o Na^+ e/ou Ca^{2+} .

Existem quantidades importantes de sílica (entre 20 e 100 ppm), resíduo da hidrólise dos silicatos, dando origem à formação de minerais argilosos.

Só uma percentagem muito reduzida da sílica provem da dissolução do quartzo.



Contaminação das águas subterrâneas

Apesar do solo e da zona não saturada apresentarem excelentes mecanismos de filtragem



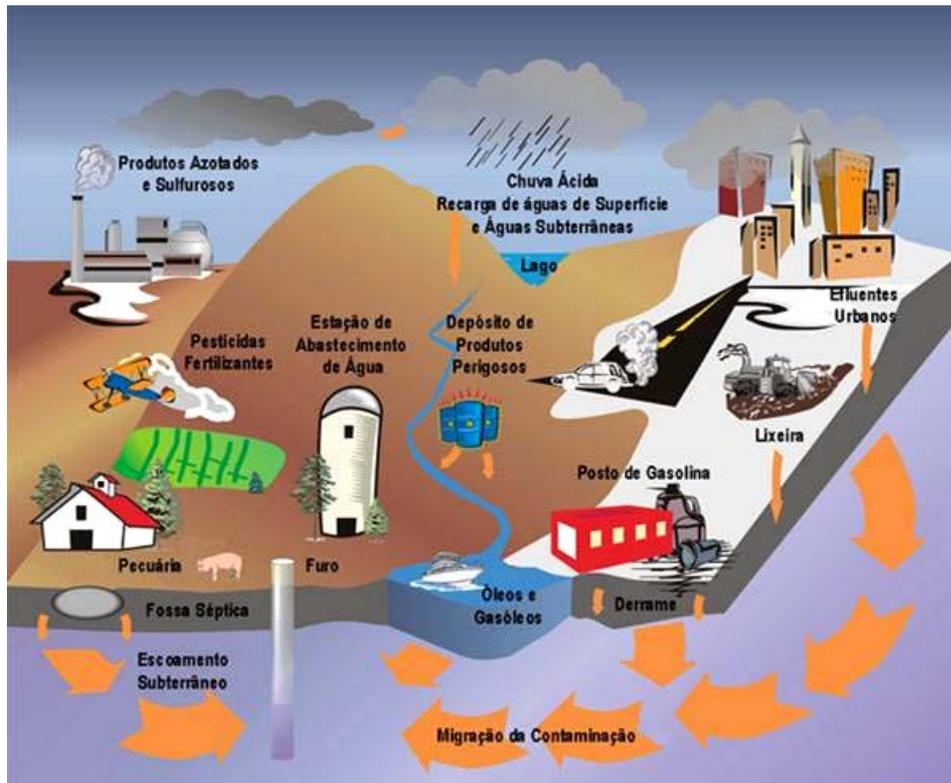
existem substâncias e gases dissolvidos que dificilmente deixarão a água subterrânea



podendo reter inúmeras partículas e bactérias patogênicas



podendo ser responsáveis pela sua poluição.



Factores condicionantes da deterioração da qualidade das águas subterrâneas.

Contaminação das águas subterrâneas (cont.)

Para a planificação e controlo da poluição, é preciso conhecer bem:

- o sistema hidrológico,
- os contaminantes locais possíveis,
- a litologia e geologia da região em questão.

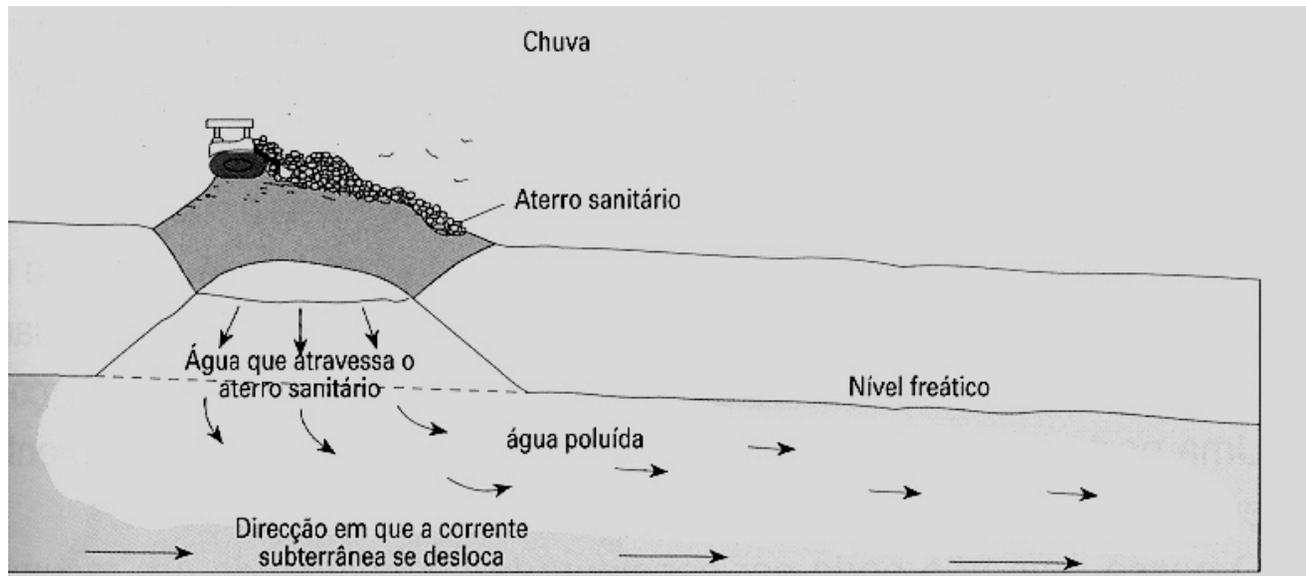
Em alguns sistemas aquíferos, dada a lenta circulação das águas de infiltração ao longo de formações geológicas com um notável poder depurador, os problemas de contaminação são, consideravelmente, retardados.

No caso particular de sistemas aquíferos associados a formações carbonatadas, estas apresentam-se, em geral, carsificadas e por isso estes aquíferos são muito vulneráveis à poluição.

Contaminação das águas subterrâneas (cont.)

Alguns dos possíveis tipos de contaminantes que podemos encontrar são (Custódio & Llamas, 1996):

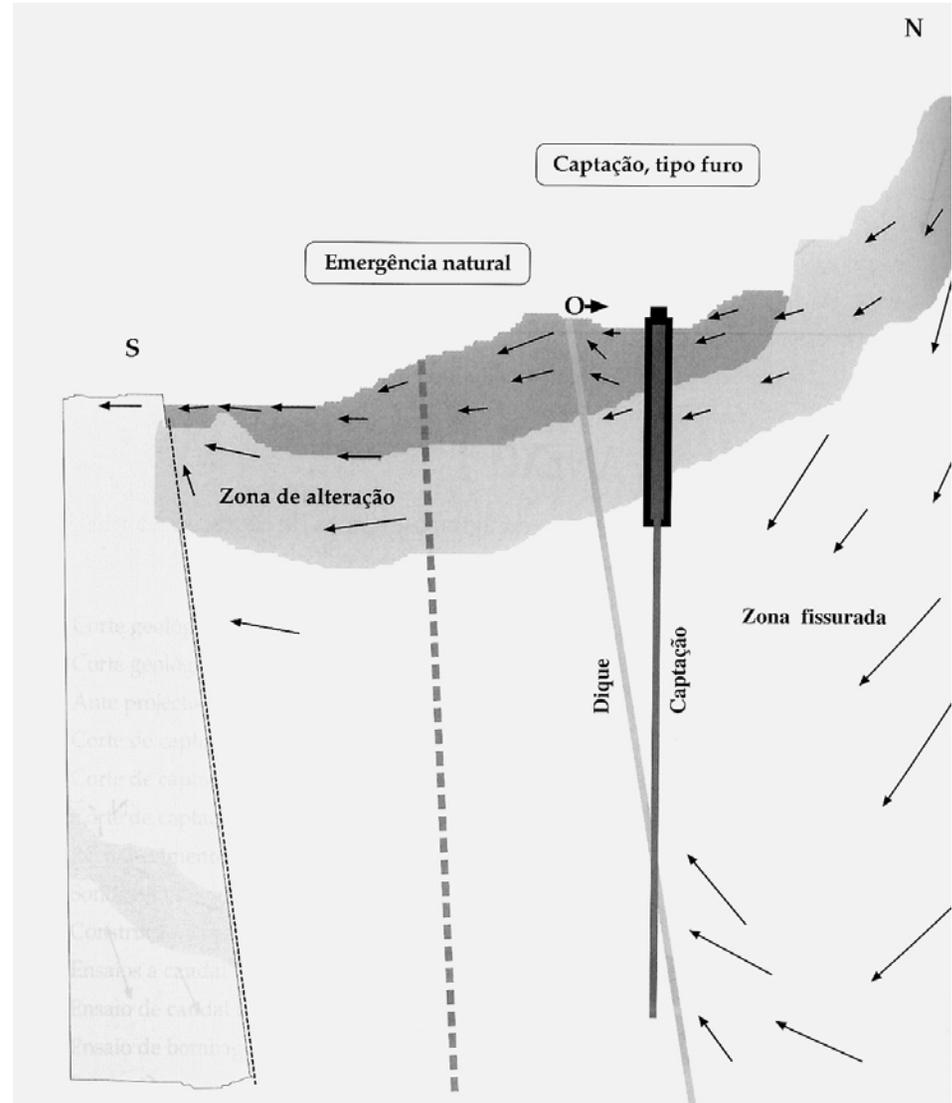
- inorgânicos: Cl, SO₄, NO₃, Na, Ca, K, etc. (comuns na maioria dos fertilizantes agrícolas vulgarmente utilizados no nosso País).
- orgânicos degradáveis (fossas sépticas, excreções de animais, etc).
- orgânicos pouco ou nada degradáveis (pesticidas, detergentes duros, etc).
- biológicos (bactérias, vírus, algas, etc).



Exemplo de contaminação das águas subterrâneas devido à presença de um aterro sanitário mal projectado.

Protecção dos aquíferos

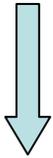
A potencial vulnerabilidade das águas minerais naturais e das águas de nascente, aliada à sua raridade e, sobretudo, à sua utilização humana explicam o regime de protecção que lhes é aplicável (DL 90/90), o qual, pela sua imperatividade, rigor do regime de restrições e dimensão das áreas abrangidas não tem paralelo nos demais recursos geológicos.



Exemplo esquemático de um corte geológico localizado numa zona de execução de uma captação de água subterrânea para consumo humano. Retirado de: http://www.igm.ineti.pt/edicoes_online

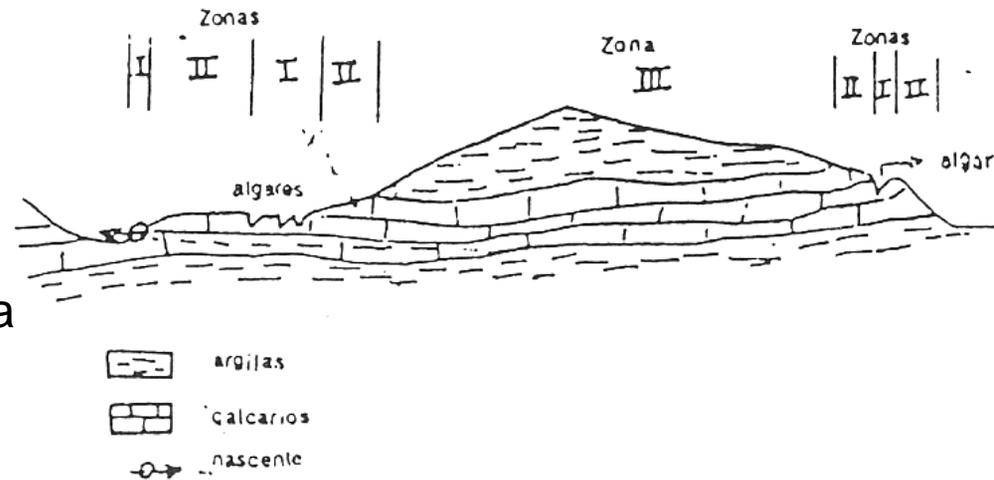
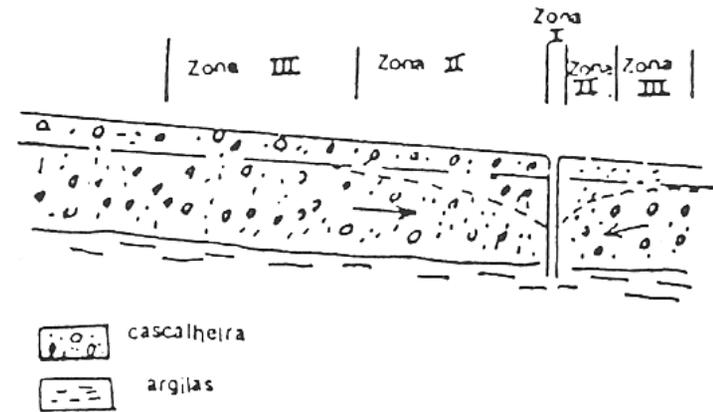
Protecção dos aquíferos

Desde há longa data que em muitos países da Europa existem perímetros de protecção para a salvaguarda de aquíferos e captação de água de consumo humano.



zonas dos
Perímetros de
Protecção

- zona imediata
- zona intermédia
- zona alargada



Exemplo de Perímetro de protecção

Considerações gerais sobre a hidrogeologia de Portugal continental

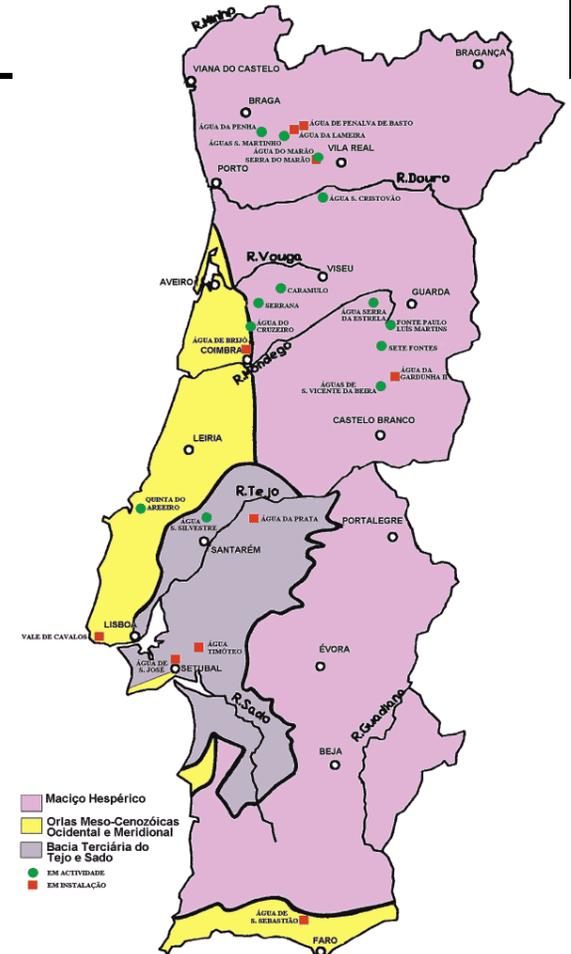
3 grandes unidades geológicas

- i) - o Maciço Hespérico (Paleozóico)
- ii) - As Orlas Mesozóicas
- iii) - As Bacias Terciárias do Tejo e do Sado

O comportamento hidrogeológico destas três unidades depende do tipo de solo de alteração e do grau de fracturação das formações geológicas.



A diversidade de rochas existentes nestas três unidades produz, por alteração das suas camadas mais superficiais, diferentes tipos de solo.



Grandes unidades hidrogeológicas de Portugal continental

O Maciço Hespérico (granitos e xistos)

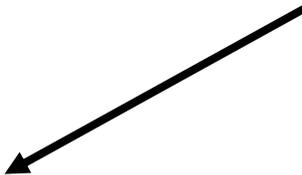


Solos com elevada quantidade de elementos grosseiros: boas condições de infiltração

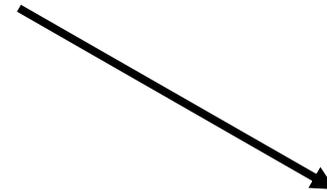


Solos argilosos: não são favoráveis à infiltração

**Orlas Mesozóicas
e
Bacias Terciárias**



Dada a natureza das rochas existentes, os solos acabam por ser arenos-argilosos

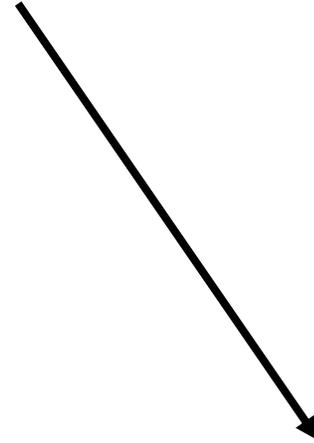
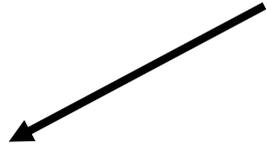


Manchas muito grandes de terrenos calcários

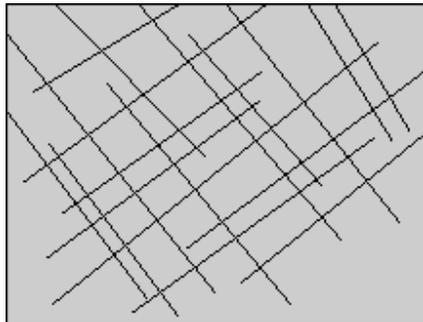
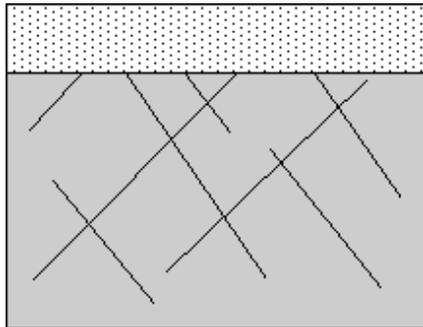


A carsificação pode originar condições de infiltração muito boas

O Maciço Hespérico (Paleozóico)



A circulação de águas subterrâneas é mais favorável nas zonas de alteração e nas zonas intensamente fracturadas



Critério de Alcalinidade vs permeabilidade

Quanto mais básica for a rocha eruptiva mais baixa será a permeabilidade



devido à mais fácil formação de produtos argilosos ao longo das fracturas

Acidentes de captação naturais

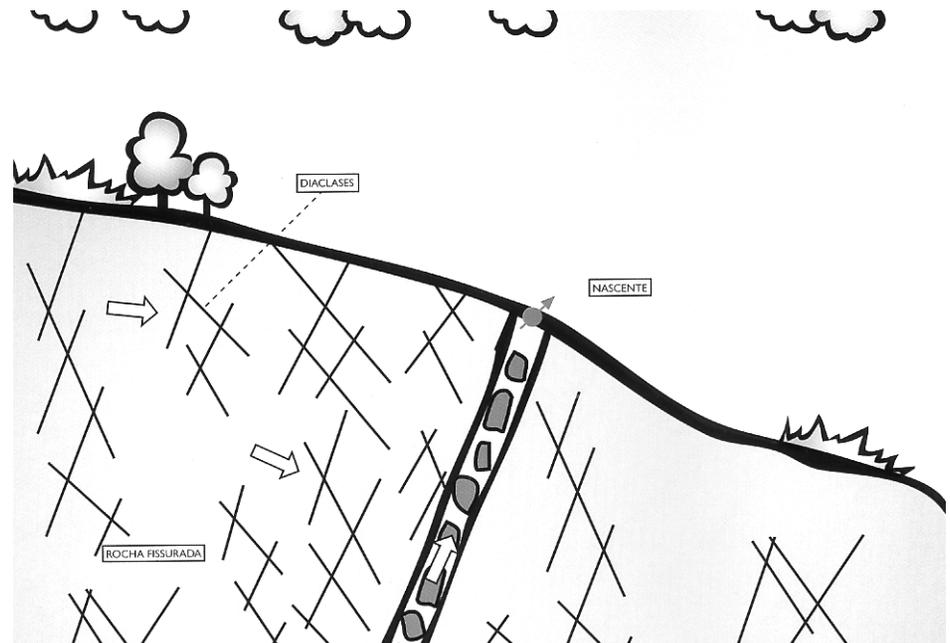
Existência de contactos entre rochas com propriedades hidrológicas diversas

Acidentes tectónicos importantes

Filões

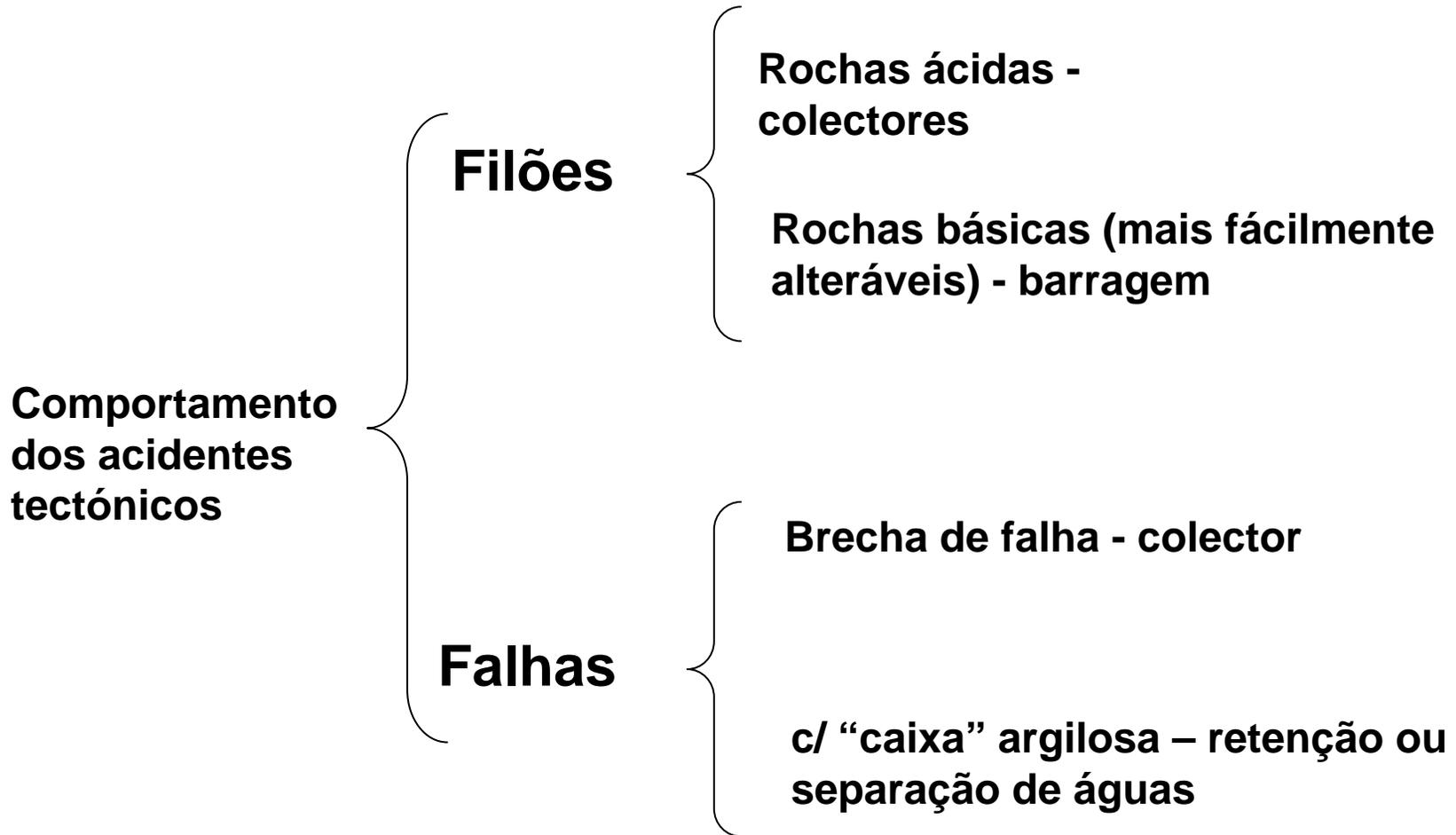
Aplíticos
Pegmatíticos
Quartzosos

Falhas



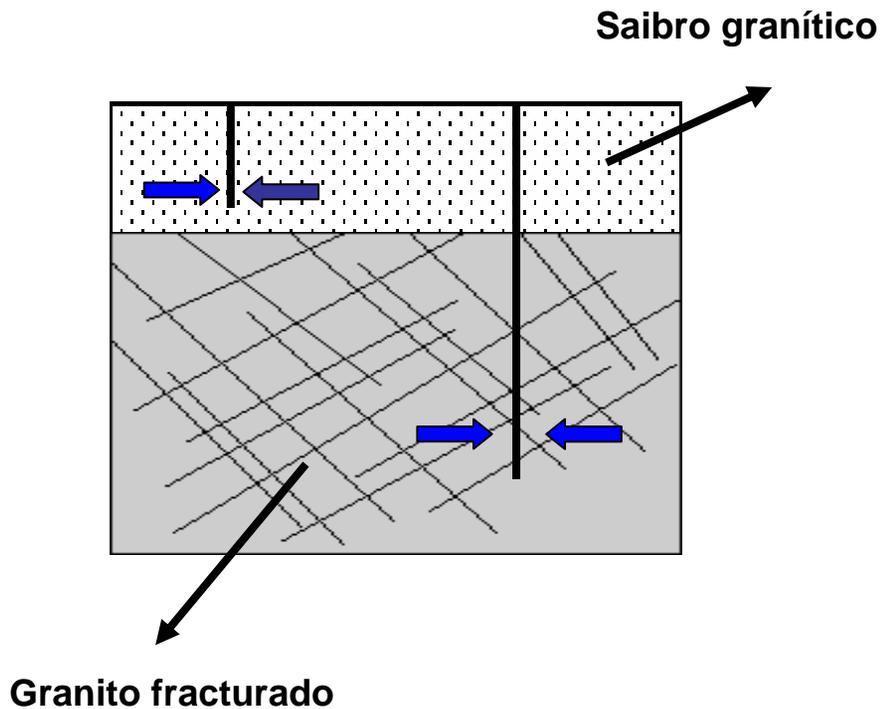
Acidente de captação natural: ex. filão de quartzo encaixado em rochas granitoides. Retirado de INAG: www.inag.pt/snrh

Acidentes de captação naturais (cont.)



Meteorização das rochas graníticas

As rochas graníticas, por acção dos agentes meteóricos transformam-se em saibros graníticos, mais ou menos incoerentes



Destruição da coesão da rocha



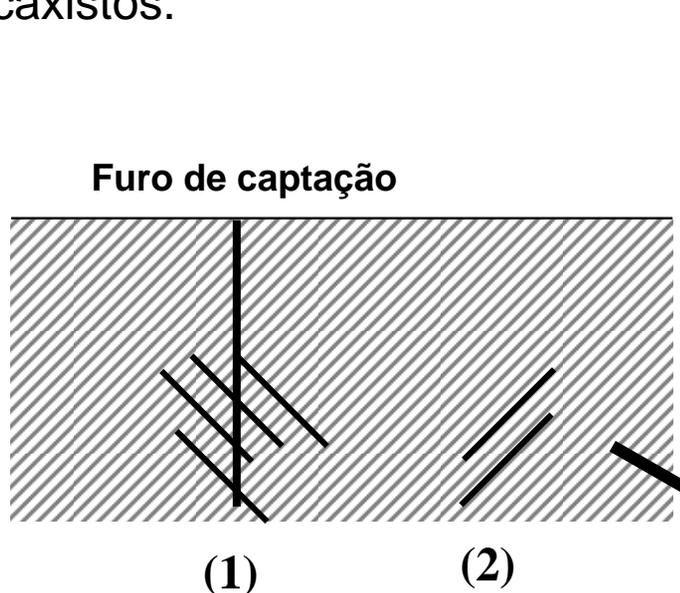
Desaparecimento da rede de diaclases.



O regime hidrológico é comparável ao das rochas não consolidadas

Rochas do Complexo Xisto-Grauváquico

Xistos argilosos, xistos cloríticos, xistos sericíticos e talco-xistos (xistos luzentes), micaxistos.



- (1) – Diaclases/fracturas mais aquíferas
- (2) - Diaclases/fracturas c/ tendência para fechar

A circulação tem lugar ao longo

- Diaclases
- Planos de xistosidade

Estas rochas originam, por alteração, solos argilosos, pouco permeáveis, e dão ensejo à formação de enchimentos argilosos ao longo das fendas, sobretudo, nas zonas mais superficiais.

Escoamento superficial muito intenso.

Orlas Meso-Cenozóicas

Domínio
de
formações

Calcárias
Gresosas
Argilosas



- Fácil solubilidade
- Fácil penetração da água no subsolo
- Relevo Cársico



Exsurgências: dão origem a rios de certa importância.



Os caudais são elevados; c/ oscilações que acompanham as curvas pluviométricas

(zonas extremamente vulneráveis)

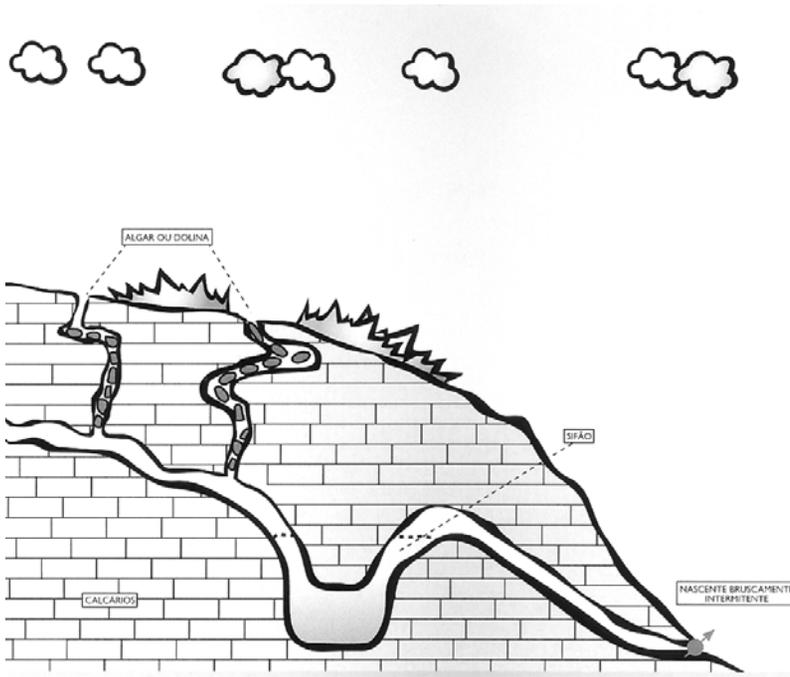


Foto c/ sifão - calcários

Orlas Meso-Cenozóicas (cont.)

Séries
gresosas
calcárias
argilosas

A circulação das águas subterrâneas é regida pelas diferenças de permeabilidade e de camadas adjacentes

Níveis calcários – muito permeáveis; forte infiltração.

Níveis gresosos – menos permeáveis; zonas de infiltração secundárias (a água circula mais lentamente).

Níveis argilosos – impermeáveis; servem de “base” para a acumulação de água nos níveis superiores.

