

GEOLOGIA (10º e 11º)

1.1 A TERRA E OS SEUS SUBSISTEMAS EM AÇÃO

Subsistemas terrestres

- Abertos – trocam matéria e energia com o meio
- Fechados – só trocam energia (e não matéria)
- Isolados – não estabelecem trocas com o meio (não existem na Natureza)

Sistema Terra (sistema fechado) é constituído por 4 subsistemas abertos:

- Hidrosfera: conjunto de toda a água existente no planeta
- Atmosfera: mistura de gases (principalmente azoto, oxigénio, dióxido de carbono e vapor de água)
- Geosfera: parte superficial sólida da Terra e as várias zonas do seu interior
- Biosfera: todos os seres vivos e a matéria orgânica que ainda não foi decomposta

Interações entre sistemas

| | Biosfera | Geosfera | Hidrosfera |
|-------------------|---|--|--|
| Atmosfera | <ul style="list-style-type: none">▪ Fotossíntese: as plantas retiram dióxido de carbono e libertam oxigénio;▪ Respiração: os seres vivos aeróbios retiram O₂ e libertam CO₂▪ Ação do Homem: o Homem provoca a emissão de gases poluentes | <ul style="list-style-type: none">▪ Erupções vulcânicas: libertam para a atmosfera inúmeros gases, bem como energia▪ Desintegração de elementos radioativos: provenientes da geosfera e são libertados para a atmosfera | <ul style="list-style-type: none">▪ Ciclo hidrológico: parte da água evapora até ser devolvida à hidrosfera▪ Circulação da água nos oceanos: permite transferências de calor entre estes subsistemas, condicionando a distribuição climática na Terra |
| Hidrosfera | <ul style="list-style-type: none">▪ Ciclo hidrológico: parte da água está retida nos seres vivos;▪ Ação do Homem: há água poluída pelo Homem | <ul style="list-style-type: none">▪ Movimento da água sobre as rochas: altera-as física e quimicamente;▪ Génese da crusta oceânica: associada a magmas mantélicos permite trocas de matéria e energia | |
| Geosfera | <ul style="list-style-type: none">▪ Suporte e nutrição: as rochas servem de suporte aos seres vivos, que também utilizam os seus nutrientes para obter matéria orgânica e, depois de mortos, são devolvidos à geosfera;▪ Ação dos seres vivos: alteram as rochas e o Homem explora minas e pedreiras | | |

1.2 ROCAS

Rochas sedimentares: formam-se a partir de rochas pré-existentes ou por precipitação de substâncias. Têm origem à superfície ou próximo dela (mais desenvolvido no 11º)

Rochas magmática ou ígneas: resultam da consolidação do magma à superfície (rochas vulcânicas ou extrusivas) ou em profundidade (rochas plutónicas ou intrusivas). (mais desenvolvido no 11º)

Rochas metamórficas: resulta do metamorfismo e recristalização de rochas pré-existentes sem nunca haver fusão de rochas (mais desenvolvido no 11º)

Ciclo das rochas (litológico)



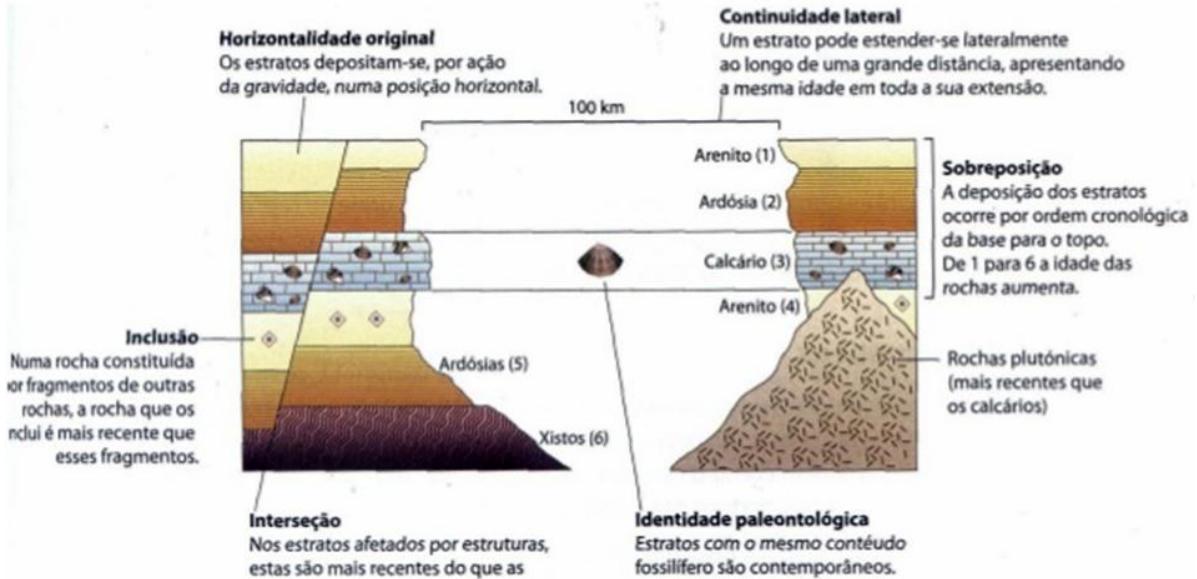
1.3 A IDADE DA TERRA

A determinação da idade de uma rocha ou estrato pode ser feita através de dois tipos de datação: datação relativa ou datação absoluta/radiométrica

1.3.1 Datação relativa: Indica se uma rocha/estrato é mais antiga ou recente que outra por comparação com a idade de outras rochas e fósseis (usando por exemplo os Princípios da Estratigrafia)

Princípios da Estratigrafia (Idade Relativa)

- 1.** Sobreposição dos estratos (mais antigo por baixo)
- 2.** Continuidade lateral
- 3.** Identidade paleontológica (estratos com o mesmo tipo de fóssil têm a mesma idade)
- 4.** Interseção (qualquer estrutura (intrusões magmáticas, falhas, filões) que interseque vários estratos é mais recente que eles)
- 5.** Inclusão (qualquer fragmento que esteja incluído num estrato é mais antigo que ele)



Fósseis: restos de seres vivos (somatofósseis) ou da sua atividade (icnofósseis) registados nas rochas.

Condições de fossilização

Inerentes ao ambiente: intensa sedimentação de grãos finos (areias finas, argilas) constituindo um ambiente anaeróbio (sem O₂)

Inerentes aos seres: existência de peças rígidas ou duras (ex.: esqueleto/exosqueleto (concha))

Etapas da formação de um fóssil

1. Morte do ser vivo
2. Deposição de sedimentos finos sobre o ser vivo (facilitada por ambientes aquáticos de baixo hidrodinamismo como lagos e pântanos)
3. Substituição da parte orgânica por matéria mineral
4. Descoberta do fóssil pela sua exposição à superfície devido à erosão dos materiais

Processos de fossilização

| | | |
|-----------------------------------|--|---|
| Marca (Icnofóssil) | marca ou vestígio do ser vivo (pegada, ovos, ninhos, fezes, rastro) |  |
| Moldagem ou impressão | o molde externo ou interno fica registado na rocha (ex.: moldes de conchas, dentes, caules) |  |
| Mineralização | as partes duras do organismo são substituídas por minerais (ex.: ossos de dinossauros, troncos de árvore petrificados) |  |
| Mumificação ou conservação | todo o organismo (partes moles e duras) fica conservado (em gelo, âmbar ou asfalto) |  |

Tipos de fósseis

Fósseis característicos ou de idade – fósseis de seres que viveram durante um pequeno intervalo de tempo à escala geológica (curta distribuição estratigráfica) mas que apresentavam uma grande distribuição geográfica.

Ex.: fósseis de estromatólitos (Pré-Câmbrico); fósseis de trilobites e graptólitos (Paleozóico); fósseis de amonites, rudistas e dinossauros (Mesozóico); fósseis de mamíferos (Cenozóico)

Nota: Fósseis de, por exemplo, tubarão, tartaruga e crocodilo não são bons fósseis de idade porque são fósseis de seres vivos que habitam a Terra há muitos milhões de anos e ainda persistem na atualidade



Fóssil de trilobite
(Paleozóico)



Fóssil de amonite
(Mesozóico)

Fósseis de fácies ou de ambiente – aparecem apenas em ambientes que tiveram condições muito específicas, fornecendo importantes indicações sobre o meio em que esses seres viveram (**paleoambientes**) e do ambiente de formação das rochas que os contêm.

Ex.: fósseis de corais (que só vivem em ambiente marinho de águas límpidas, pouco profundos, com temperaturas de 25-29°C)

Ambiente/fácies de formação pode ser:

- Fácies Marinho
- Fácies Continental (Fluviais, Lacustres, Desérticos, Glaciares e Cavernícolas)
- Fácies de Transição (Deltaicos, Estuarinos, Lagunares e Litorais)

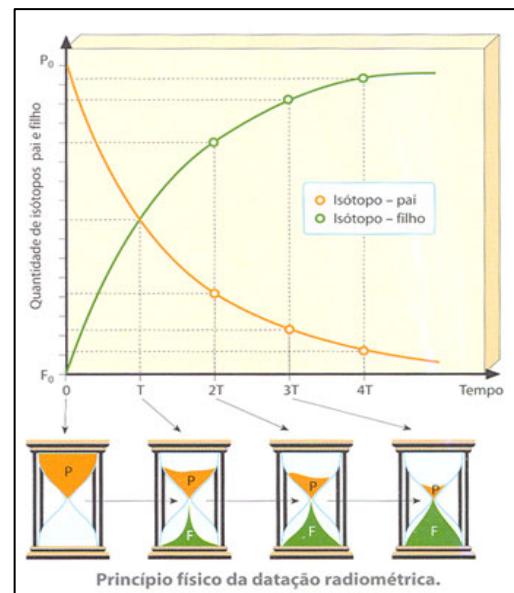
Fóssil de transição – fóssil de um ser que apresenta características de dois ou mais grupos de seres atuais, sugerindo que estes últimos evoluíram a partir dos primeiros.

Ex.: fóssil de *Archaeopteryx* (características de répteis e aves atuais) ou de *Ichthyostega* (característica de peixes e anfíbios atuais)

Nota: Fósseis que se encontram em rochas metamórficas não são bons fósseis de idade nem de ambiente, porque encontram-se deformados, logo não mantém as características originais

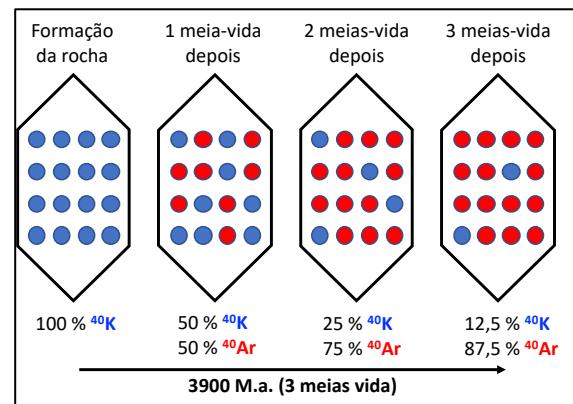
1.3.2 Datação absoluta ou radiométrica

Tem por base a desintegração de um isótopo radioativo instável (isótopo-pai) num isótopo estável (isotópo-filho) independentemente das condições do meio. As rochas mais antigas terão menos átomos-pai e mais átomos-filho que as rochas mais recentes. Cada par de isótopos (pai e filho) tem um tempo de semi-vida ou meia-vida ($T_{1/2}$) característico (tempo de desintegração de 50% do isótopo-pai em isótopo-filho).



Ex.: ^{40}K (isótopo-PAI INSTÁVEL) transforma-se em ^{40}Ar (isótopo-FILHO ESTÁVEL) e tem um $T_{1/2} = 1300$ M.a. (milhões de anos).

Ou seja, 3900 M.a. depois de a rocha se formar, vai ser constituída por 12,5% ^{40}K (pai) e 87,5% ^{40}Ar (filho). Do mesmo modo, uma rocha que tenha 25% ^{40}K tem c. 2600 M.a. ($2 \times T_{1/2}$)



$$\text{Razão } \frac{\text{Pai}}{\text{Filho}}$$

- | | |
|-------|--|
| < 1 | Passou <u>MAIS</u> que um $T_{1/2}$. Rocha mais antiga. |
| $= 1$ | Passou <u>UM</u> $T_{1/2}$. Existe 50 % Pai + 50 % Filho |
| > 1 | Passou <u>MENOS</u> que um $T_{1/2}$. Rocha mais recente. |

A razão isótopo-pai/isótopo-filho é menor nas rochas mais antigas

Eficácia e limitações do método (datação radiométrica)

- Rochas magmáticas podem ser sujeitas a este método de datação
- Não se pode aplicar o método a rochas sedimentares e metamórficas pois os constituintes destas rochas provêm de rochas pré-existentes
- Rochas que não contenham elementos radioativos não podem ser datados por métodos radiométricos

1.3.3. Escala do tempo geológico

Deve-se saber as Eras, há quanto tempo ocorreram (c. 66 Ma, 245Ma e 570 Ma) e os principais acontecimentos. Antes do Câmbrio considera-se Pré-Câmbrico.

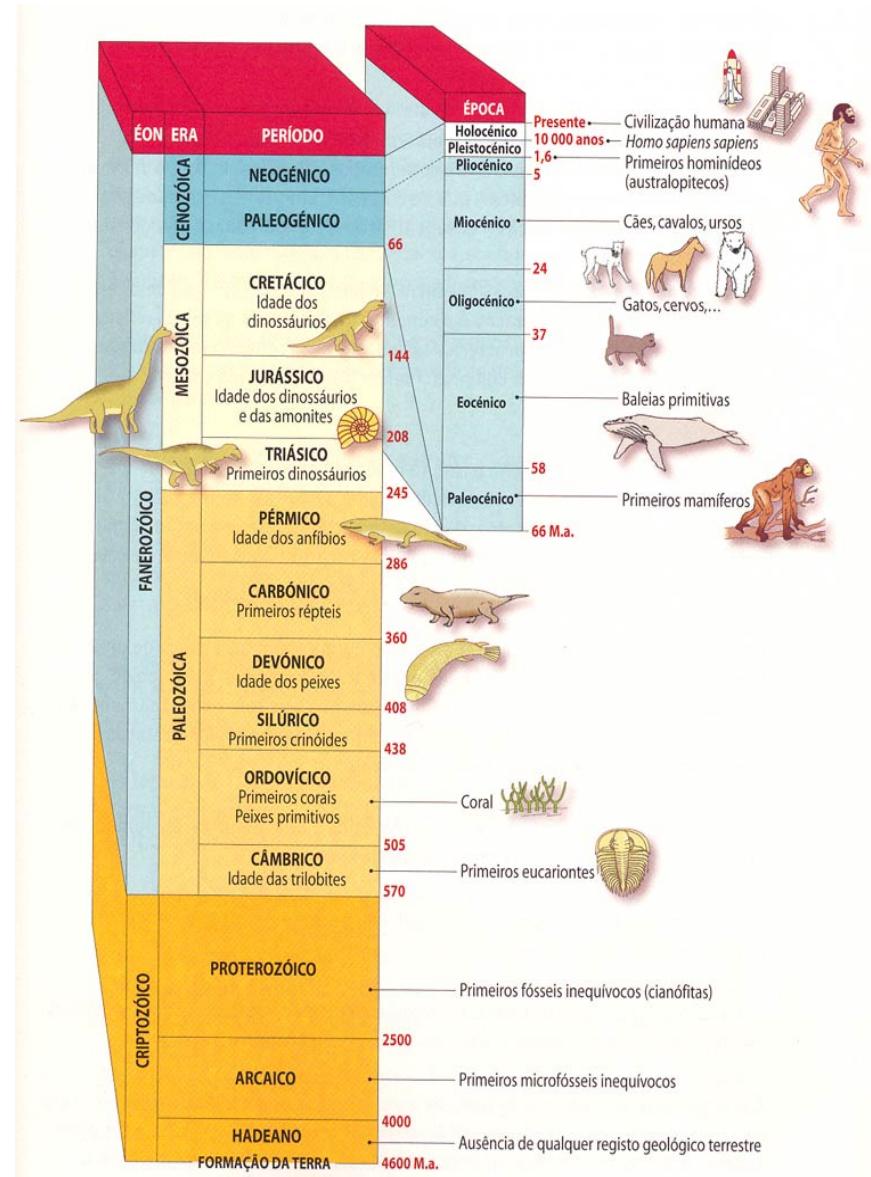
Pré-Câmbrico (desde 4600 Ma até

570/540 Ma):

- Formação da Terra
- Aparecimento dos seres vivos nos oceanos primitivos (simples, sem partes duras e por isso dificilmente fossilizáveis)
- Seres autotróficos produzem oxigénio e contribuem para a formação da camada de ozono

Era Paleozóica (até 245 Ma, nome dos períodos terminam em -ico/-fero):

- Primeiros peixes, plantas terrestres, corais, anfíbios, répteis (por esta ordem)
- Idade das **trilobites**, corais, musgos/fetos
- No final da era há extinção massiva de muitos seres (ex: trilobites)



Era Mesozóica (até 65,5 Ma, nome dos períodos terminam em -ásico):

- Primeiros dinossauros, mamíferos, aves (por esta ordem)
- Idade dos **dinossauros, amonites** e plantas gimnospérmicas (sem flôr)
- No final da era há extinção massiva de muitos seres (ex: dinossauros e amonites)

Era Cenozóica (até à atualidade, nome dos períodos terminam em -génico):

- Primeiros homínideos (2 Ma)
- Idade dos **mamíferos**

1.4 TERRA, UM PLANETA EM MUDANÇA

1.4.1 Princípios básicos do raciocínio geológico:

Catastrofismo (Cuvier) – as transformações na Terra passam por alterações bruscas localizadas no tempo (catástrofes)

Uniformitarismo (Hutton) – as transformações resultam da acumulação de pequenas alterações lentas e repetitivas ao longo do tempo. As catástrofes são vistas como fenómenos pontuais sendo incapazes de provocar alterações na Terra.

Assenta em 3 princípios:

- **Princípio do atualismo ou das causas atuais:** as causas que provocaram determinados fenómenos no passado são idênticas às que provocam o mesmo tipo de fenómenos no presente.
- **Princípio do gradualismo:** a maior parte das mudanças que ocorrem na Terra desenvolvem-se de uma forma lenta e gradual
- As leis naturais são constantes no espaço e no tempo

Neocatastrofismo – concilia o catastrofismo e o uniformitarismo: a Terra vai-se transformando gradualmente através de fenómenos naturais, mas esporadicamente os fenómenos catastróficos influenciam a evolução da Terra

1.4.2 Mobilismo geológico

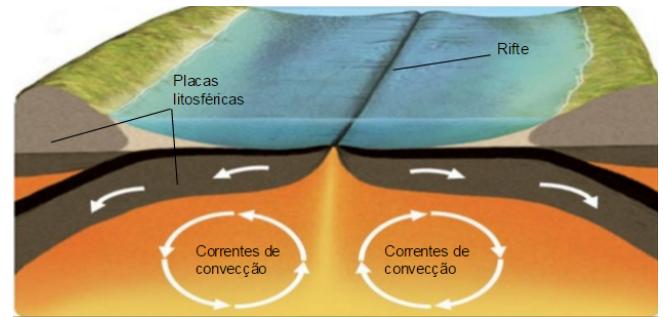
Teoria da deriva dos continentes – Wegener afirmou que, há muitos milhões de anos, todos os continentes terão estado juntos num supercontinente (Pangeia)

| Argumentos | |
|------------------------|--|
| Morfológicos | Os continentes encaixam entre si na perfeição, como um puzzle (costas oeste de África e Leste da América do Sul) |
| Paleontológicos | Fósseis da mesma espécie foram encontrados em locais que distam milhares de km e estão atualmente separados por oceanos |
| Paleoclimáticos | Os sedimentos glaciares, que só se formam a baixas temperaturas, foram encontrados em zonas como a África do Sul e a América do Sul. |
| Geológicos/Litológicos | correlação de montanhas, com rochas e estruturas idênticas, localizadas em continentes diferentes |

Para que esta teoria funcione é necessário existirem:

1. zonas onde a placa litosférica está a crescer, fazendo com que as placas se movimentem;
2. zonas onde a placa litosférica vai sendo lentamente destruída (vai desaparecendo).

Teoria da tectónica de placas: a **litosfera** (sólida e rígida) encontra-se dividida em placas (tectónicas ou litosféricas) que se movimentam sobre a **astenosfera** que é menos rígida e apresenta um comportamento fluido sobretudo em consequência das **correntes de convecção** (mecanismo térmico)



Correntes de convecção: o material mais próximo da superfície está a uma temperatura inferior e acaba por descer, enquanto que o material a temperaturas superiores (mais profundo), por ser menos denso, sobe em direção à crosta. Estes movimentos são cíclicos e lentos e interferem no movimento das placas tectónicas.

Fontes de energia/calor:

- Decaimento radioativo do interior da Terra
- Calor remanescente da formação da Terra
- Pressão das camadas litostáticas suprajacentes.

Limites entre placas (INTERPLACA):

| | | |
|--|---|--|
| <p style="text-align: center;">→ ←</p> <p>Convergente ou destrutivo (zona de colisão de placas)</p> | <p>Zonas de subducção</p> <p>Limite Oceânico-Continental (O-C): zona de subducção da placa oceânica (mais densa) sob a continental (menos densa); há destruição de fundos oceânicos antigos e formação de cadeias montanhosas (<u>ogenia</u>) e <u>arcos vulcânicos</u> na placa continental Ex.: Cordilheira dos Andes e de uma fossa oceânica na placa oceânica</p> | <p>Quando uma placa oceânica encontra uma placa continental, a placa oceânica entra em subducção e um cinturão de montanhas vulcânicas é formado na margem da placa.</p> |
| | <p>Limite Oceânico-Oceânico (O-O): há subducção de uma placa oceânica mais densa (a mais antiga) sob uma placa oceânica menos densa; há formação de ilhas constituindo <u>arcos insulares</u> Ex.: Japão, Filipinas</p> | <p>Quando duas placas oceânicas convergem, formam uma fossa de mar profundo e um arco de ilhas vulcânicas.</p> |
| | <p>Limite Continental-Continental (C-C) formação de cadeias montanhosas (<u>ogenia</u>), ambas as placas ascendem, não há subducção. Ex.: Himalaias</p> | <p>Quando duas placas continentais colidem, a crosta é amassada e espessada, formando altas montanhas e um amplo planalto.</p> |

| | | |
|--|---|--|
| Transformante ou conservativo (movimento é transversal) | Não há destruição nem construção da litosfera, apenas deslocações de uma placa relativamente a outra; está associado a sismos. (Ex.: Falha de St. André) | |
| Divergente ou construtivo (zona de afastamento de placas) | <p>Riftes responsible pela fragmentação de continentes e pela formação e alastramento dos fundos oceânicos constituídos graças à atividade vulcânica</p> <p>Ex.: limite Placa Norte-Americana e a Placa Euro-Asiática que forma a Crista Média-Atlântica</p> | |

2. A FACE DA TERRA

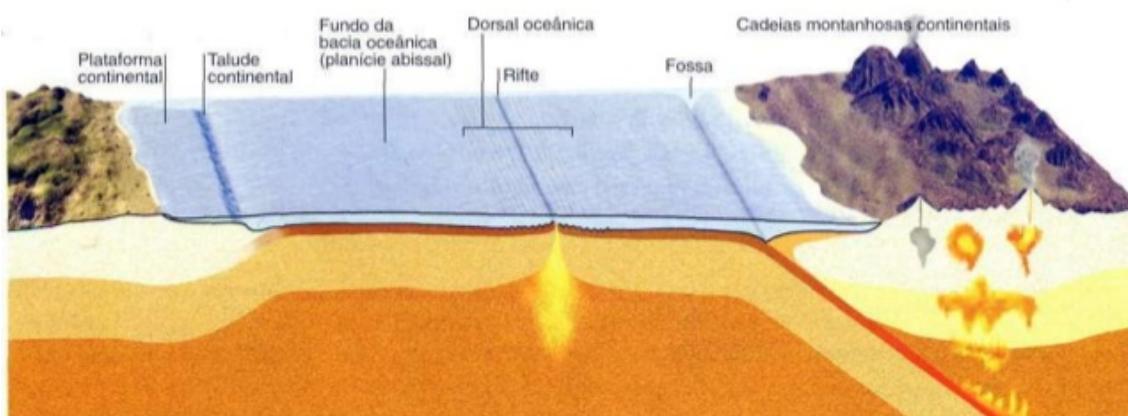
Áreas Imersas (submersas)

Domínio continental

- Plataforma continental (declive suave)
- Talude continental (declive acentuado q se estende até às zonas profundas do oceano)

Domínio oceânico (rochas essencialmente basálticas)

- Planícies abissais (vastas superfícies essencialmente planas)
- Dorsais oceânicas (cadeias montanhosas submarinas na faixa média dos oceanos)
- Riftes (fenda no meio das dorsais oceânicas)
- Fossas (depressões muito profundas associadas a zonas de subducção)
- Zonas de subducção



3.1 MÉTODOS DE ESTUDO PARA O INTERIOR DA GEOSFERA

Métodos diretos

- Observação direta da superfície visível
- Exploração de jazigos minerais
- Sondagens (perfurações verticais)
- Vulcanismo

Métodos indiretos

- Planetologia e Astrogeologia (origem comum dos astros do Sistema Solar)
- Sismologia (pelo comportamento das ondas sísmicas)
- Geotermismo (ver a seguir)
- Gravimetria (ver a seguir)
- Geomagnetismo (ver a seguir)

Geotermismo

Grau geotérmico:

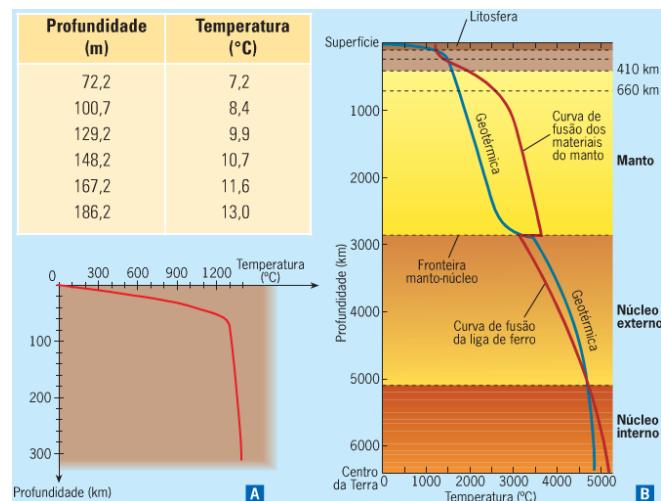
- profundidade necessária para aumentar a temperatura em 1°C;
- é menor em locais em que se dá grande dissipação de calor (zonas vulcânicas);
- diminui com a aproximação às dorsais oceânicas onde há vulcanismo ativo;
- aumenta com a profundidade

Gradiente geotérmico:

- taxa de variação da temperatura com a profundidade;
- diminui com a profundidade (à medida que nos aproximamos do núcleo a taxa de variação de temperatura não é tão grande)

Fluxo térmico:

- quantidade de calor que se liberta à superfície



EM ZONAS DE VULCANISMO, O GRAU É BAIXO E O GRADIENTE E O FLUXO SÃO ALTOS

Gravimetria: há anomalias gravimétricas que são variações locais ou regionais da força gravítica cujo valor normal é de zero ao nível do mar:

Anomalias gravimétricas positivas (acima de zero):

associadas a rochas mais densas (ex.: rochas metálicas, intrusões magmáticas)

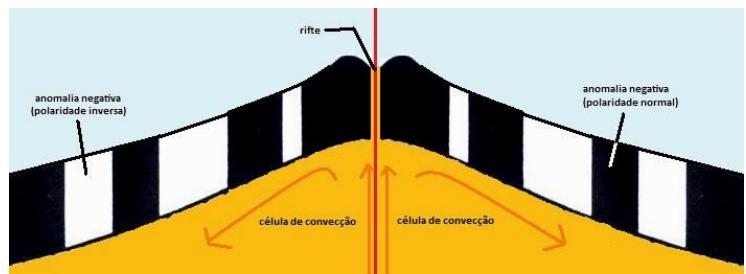
Anomalias gravimétricas negativas (abaixo de zero):

associadas a rochas menos densas (ex.: sal-gema (domos salinos), grutas)

Geomagnetismo (gerado pelo núcleo externo da Terra; sofre variações ao longo do tempo. A orientação do campo magnético fica registado nas rochas com minerais magnetizáveis (ex. ferro, existente em rochas magmáticas como o basalto) no momento da sua formação)

Polaridade normal: a polaridade que se encontra “gravada” nas rochas é idêntica à polaridade atual

Polaridade inversa: a polaridade é oposta à polaridade atual



Nos riftes, as inversões magnéticas apresentam-se simétricas de um e de outro lado.

Rochas com a mesma polaridade podem não ter a mesma idade.

O Paleomagnetismo apoia a teoria da formação e alastramento dos fundos oceânicos a partir do risco e, portanto, a Teoria da Tectónica de Placas

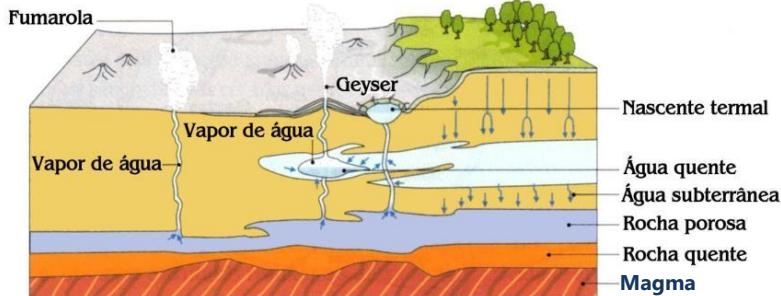
3.2 VULCANISMO

Vulcanismo primário ou eruptivo:

| Tipo central | Tipo fissural |
|---|--|
| aparelho com a forma cónica típica  | materiais são expelidos ao longo de fraturas da superfície terrestre, como os riftes  |

Vulcanismo secundário ou residual:

- Nascentes termais (nascentes de água quente com minerais)
- Geiseres (emissões cíclicas de água a elevadas temperaturas)
- Fumarolas (emissões de vapor de água a elevadas temperaturas)
 - Sulfataras (emissões de vapor de água e compostos de enxofre)
 - Mofetas (emissões de vapor de água e dióxido de carbono)



Materiais expelidos pelos vulcões

Gasosos: vapor de água, amoníaco, monóxido e dióxido de carbono, sulfureto de hidrogénio

Em fusão: lava (resulta do magma que ascendeu e desgaseificou)

Sólidos – piroclastos:

- Bombas (> 32mm)
- Lapilli ou bagacina (2 a 32 mm)
- Cinzas (< 2mm)
- Pedra-pomes (pouco densas, muito leves)

Tipos de lava

(ver também a tabela dos tipos de magma mais à frente)

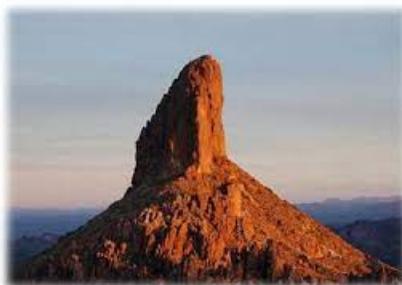
| | Características | Erupção associada |
|------------------------|---|--|
| Lava básica | <ul style="list-style-type: none"> • fluida e quente (>1000°C) • pobre em sílica (< 52%) • pobre em gases/voláteis que se libertam fácil e suavemente | Erupção Efusiva: <ul style="list-style-type: none"> • com escoadas de lava • sem emissão de piroclastos • cones baixos e de vertentes suaves • associada a riftes e fissuras |
| Lava intermédia | <ul style="list-style-type: none"> • intermédias | Erupção Mista: <ul style="list-style-type: none"> • episódios efusivos intercalados com episódios explosivos |
| Lava ácida | <ul style="list-style-type: none"> • viscosa e menos quente (800°C) • rica em sílica (> 65%) • rica em gases que se libertam com muita dificuldade causando explosões | Erupção Explosiva: <ul style="list-style-type: none"> • sem escoadas de lava • há emissão de piroclastos • cones altos e de vertentes abruptas • pode haver formação de nuvens ardentes • associada a zonas de subducção |

Lava fluida (lava básica) após consolidação:

- escoadas **encordoadas ou pahoehoe** (lisas, resultantes de uma lava muito fluida)
- escoadas **escoriáceas ou aa** (ásperas, rugosas, resultantes de uma lava menos fluida)
- escoadas em **almofada (pillow lavas)** (resultantes do arrefecimento da lava na água)

Lava viscosa (lava ácida)

- Pode solidificar na chaminé e formar **agulhas** ou
- Pode solidificar à saída da cratera formando **domos** ou **cúpulas**.



Agulha



Domo ou cúpula

Nuvens ardentes e lahars

Os piroclastos podem movimentar-se ao longo de vertentes envolvidos em água (LAHAR) ou em gases (NUVENS ARDENTES) constituindo depósitos piroclásticos de fluxo:

- **Nuvens ardentes** ou piroclásticas: nuvens de gases e cinzas incandescentes que se deslocam a grandes velocidades junto à superfície
- **Lahars**: avalanches de lama (rio de lama /lodo) formadas pela fluidificação de materiais vulcânicos (ex.: cinzas) saturados de água

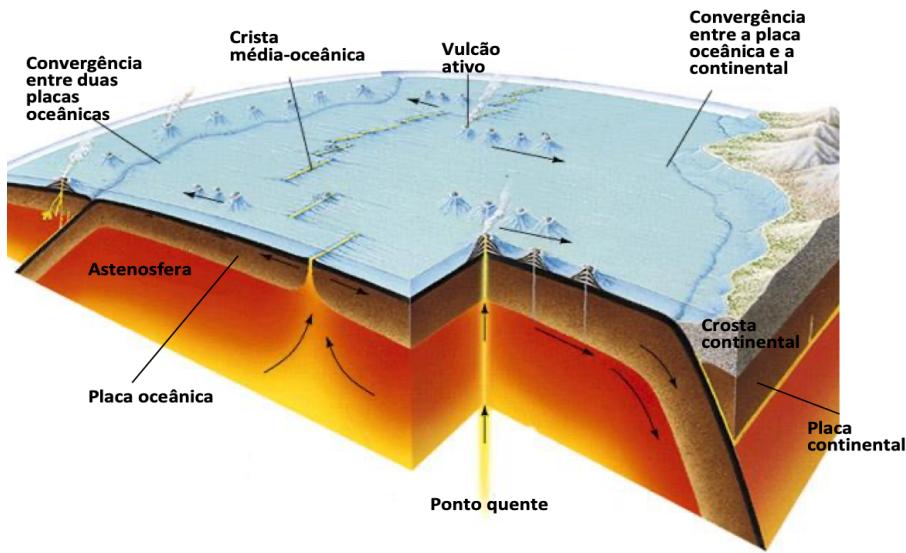
Entrada de água no aparelho vulcânico: aumenta o teor de gases na lava e diminui a temperatura, conduzindo a um aumento da sua viscosidade.

Formação de caldeiras vulcânicas:

1. Erupção vulcânica e esvaziamento da câmara magmática
2. O cone abate após perder sustentação (colapso)
3. Forma-se uma depressão (**caldeira**)
4. Com a acumulação de água formam-se lagoas



Zonas de vulcanismo

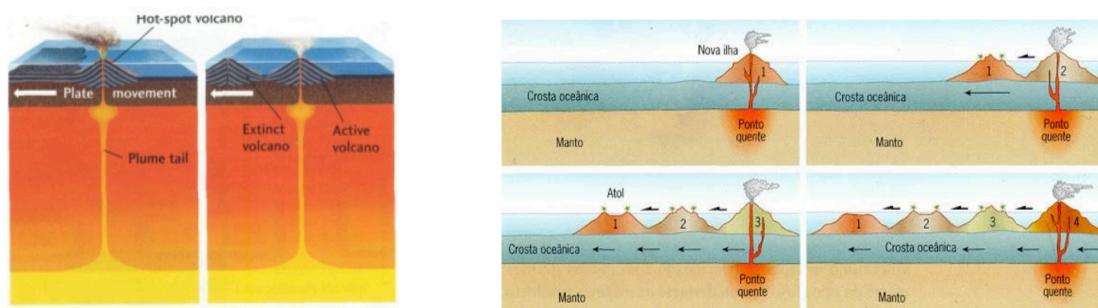


Vulcanismo INTERPLACA

- Límites convergentes (subdução Oceân. – Cont.): zonas de atividade vulcânica do tipo explosivo (a litosfera fria e com água é subductada, funde e origina magmas ricos em gases)
- Límites convergentes (subdução Oceân – Oceân): erupções mistas ou explosivas; formam-se arcos insulares
- Límites divergentes (Riftes): atividade vulcânica não explosiva (efusiva/mista)

Vulcanismo INTRAPLACA

- **Hotspots:**
 - zonas intraplaca por onde sai magma básico que ascende em colunas estreitas ('plumas' térmicas) com origem no manto inferior.
 - **hotspot oceânico**: zonas de atividade vulcânica não explosiva (efusiva ou mista).
 - **hotspot continental** (ex.: Yellowstone) está associado a um hotspot explosivo, onde o magma ao atravessar as rochas ácidas características da placa continental funde-as ficando o magma mais ácido e originando assim erupções mais explosivas.
 - Formam-se cinturas vulcânicas semelhantes a arcos vulcânicos (várias ilhas/vulcões alinhados) mas só uma das extremidades possui vulcão ativo (ex.: ilhas do Havaí)

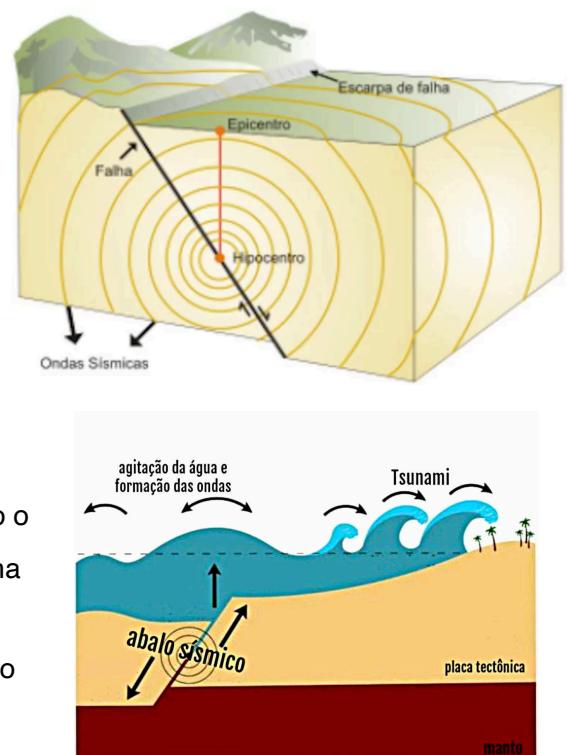


Benefícios do vulcanismo

- aparecimento de novos espaços para povoar (ilhas)
- solos mais férteis
- possibilidade de utilização do calor como fonte de energia geotérmica
- exploração dos produtos vulcânicos para ornamentação e construção
- utilização de termas para fins medicinais
- exploração turística

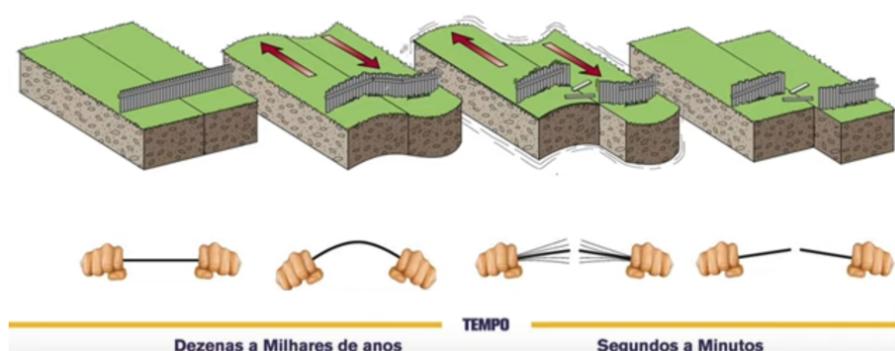
3.3 SISMOLOGIA

- **Hipocentro ou foco:** local de origem do sismo (em profundidade)
- **Epicentro:** ponto à superfície na vertical do foco onde o movimento vibratório do solo é máximo
- **Abalos premonitórios** – abalos que ocorrem antes do sismo principal
- **Réplicas** – abalos que ocorrem após o sismo principal
- **Tsunami** – onda gigante que se pode formar quando o epicentro se localiza no mar; originada quando há uma grande libertação de energia que provoca uma deslocação vertical de uma massa de água no oceano



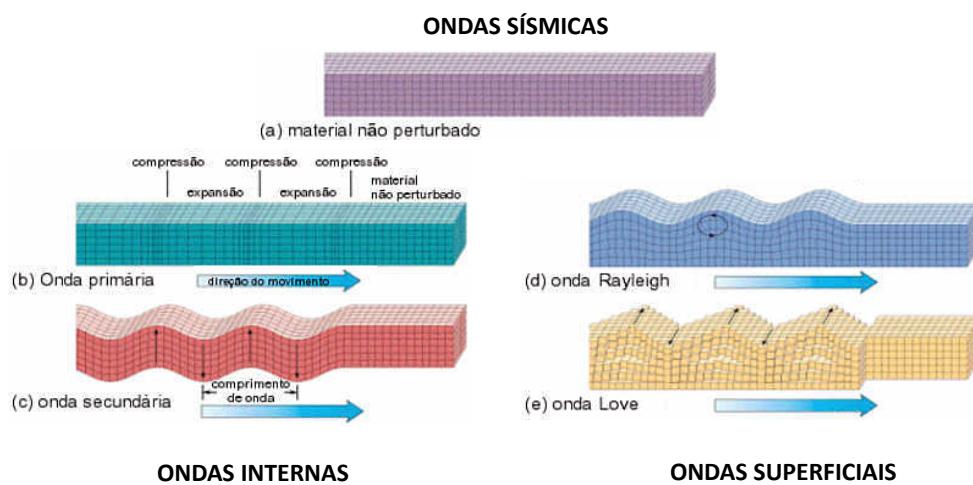
Origem dos sismos tectónicos – Teoria do ressalto elástico

- os movimentos das placas levam a que as rochas acumulem **tensões** e se **deformem**
- quando a tensão ultrapassa o **limite de resistência/elasticidade** das rochas, estas **fraturam** e **ressaltam elasticamente** (forma-se uma falha com movimento relativo entre os 2 blocos)
- há **libertação brusca da energia acumulada** sob a forma de calor e de ondas elásticas que provocam o sismo e se propagam em todas as direções



Ondas sísmicas

| | Ondas internas ou profundas ou de volume | | Ondas superficiais ou longas ou ondas L | |
|--------------------------|--|------------------|--|------------------|
| Designação | Primárias ou P | Secundárias ou S | Love | Rayleigh |
| Origem | No hipocentro | | Na superfície por interferência das ondas P e S com a superfície | |
| Propagação | Únicas longitudinais | Transversais | De torção | Circulares |
| Amplitude | Baixa amplitude | | Grande amplitude (ondas mais destruidoras) | |
| Velocidade | Maior velocidade que é variável com a rigidez e densidade dos materiais que atravessam | | Velocidade mais baixa e constante | |
| Meios em que se propagam | Sólido, líquido e gasoso | Sólido | Sólido | Sólido e líquido |



Velocidade das ondas superficiais (Love e Rayleigh) é constante.

Velocidade das ondas internas (P e S) varia:

- diretamente com a rigidez do material;
- inversamente com a densidade do material (que vai aumentando com profundidade);
- diretamente com a incompressibilidade das rochas (só no caso das ondas P)

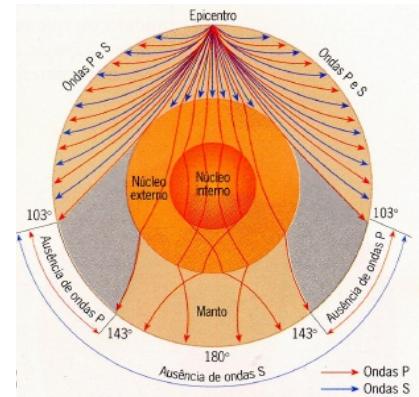
Como o aumento da rigidez é maior que o aumento da densidade com a profundidade, geralmente, a velocidade das ondas aumenta com a profundidade. Mas há exceções:

- Na entrada na astenosfera (que é menos rígida) as ondas P e S reduzem a sua velocidade (zona de baixa velocidade sísmica)
- No núcleo externo (líquido) as ondas P abrandam muito a sua velocidade e são refratadas e as ondas S deixam de se propagar – justifica a zona de sombra das ondas P e S

Zonas de sombra: zonas da superfície terrestre onde as ondas sísmicas não são detetadas devido à existência do núcleo externo líquido e à refração das ondas sísmicas.

Zona de sombra das ondas S: a partir dos 103°

Zona de sombra das ondas P: entre os 103° e 143°



Avaliação dos sismos:

| Intensidade | Magnitude |
|---|--|
| Medida dos <u>danos</u> causados nos edifícios, objetos e pessoas | Medida da <u>energia libertada</u> no hipocentro e determinada com base na amplitude máxima das ondas registadas no sismograma |
| Um sismo tem <u>vários valores</u> de intensidade que dependem de: <ul style="list-style-type: none"> profundidade do foco distância ao epicentro natureza do subsolo quantidade de energia libertada no foco | Cada sismo tem <u>um só valor</u> de magnitude. |
| Escala de Mercalli Internacional (qualitativa) | Escala de Richter (quantitativa). |
| <u>Isossistas</u> : linhas que unem locais de igual intensid.; são curvas irregulares pois as rochas atravessadas pelas ondas sísmicas têm características diferentes | |

Deteção e registo dos sismos

- sismómetros – sensores que detetam as ondas sísmicas
- sismógrafos – aparelho que regista as vibrações detetadas pelos sismómetros
- sismogramas – registos sísmicos obtidos pelos sismógrafos

Determinação do epicentro

- Recorre-se a sismogramas de pelo menos 3 estações sismográficas
- Determina-se a distância ao epicentro pela determinação do intervalo de tempo entre a chegada das ondas P e S

Sequência de eventos durante um sismo

- Acumulação de tensões em profundidade
- Libertaçao de energia por rutura de materiais
- Propagação de ondas P e S a partir do foco sísmico (hipocentro)
- Propagação de ondas L a partir do epicentro
- Registo de ondas P em estações sismográficas
- Registo de ondas S em estações sismográficas
- Determinação da magnitude de um sismo

Classificação dos sismos

- **superficiais**: epicentro a menos de 70 km de profundidade
- **intermédios**: entre 70 e 300 km
- **profundos**: epicentro a mais de 300 km de profundidade (mais violentos; associados a zonas de subducção)

Sismos e tectónica de placas

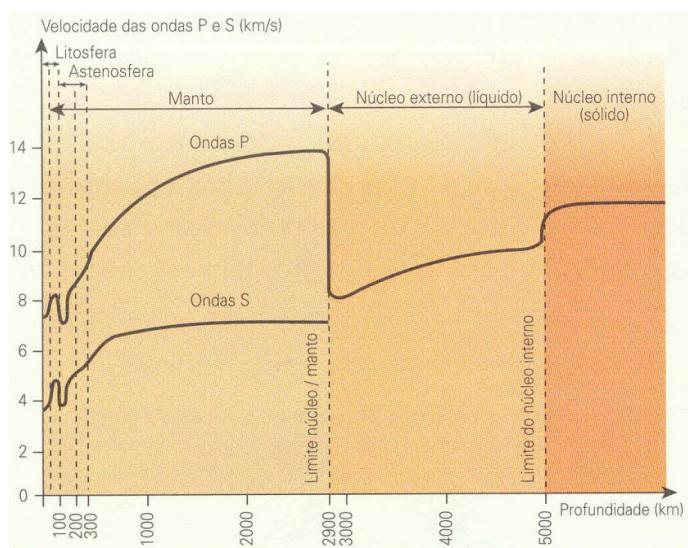
Sismicidade interplacas – 95%

- limites entre placas são sempre zonas sísmicas mas nem sempre são vulcânicas.
Ex. limites conservativos e limites convergentes sem subducção não são zonas vulcânicas.
- as zonas de subducção são as regiões mais sísmicas, com sismos mais profundos (até 700 km de profundidade) e mais violentos

Sismicidade intraplaças – 5%

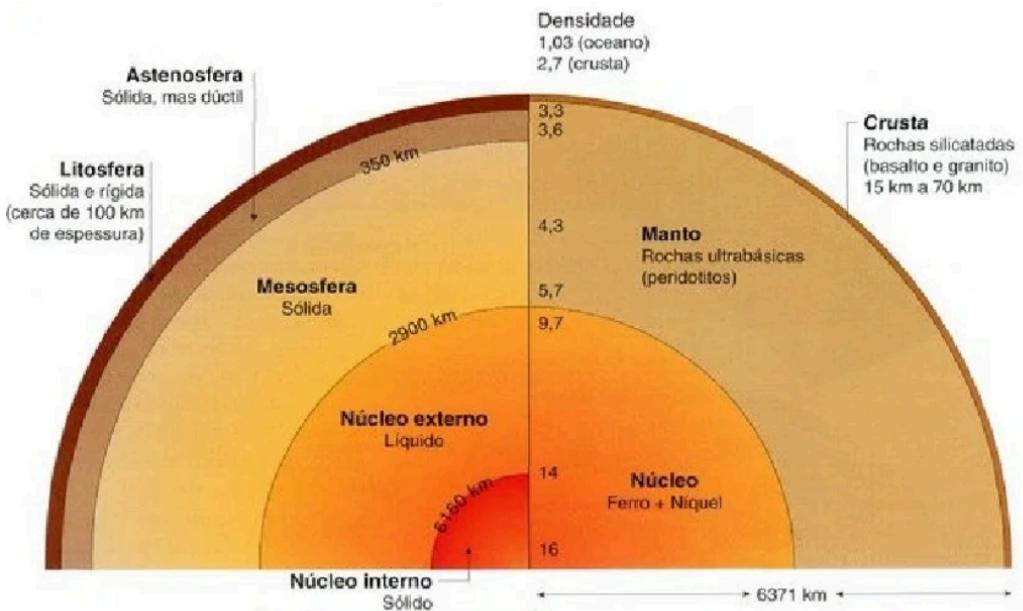
- sismos naturais como abatimento de grutas, movimento de magma em vulcões,...
- sismos artificiais (provocados pelo homem) como explosões em minas

Ondas sísmicas (P e S) e Descontinuidades



| Descontinuidade | Zona | Comportamento das ondas sísmicas | Km |
|-------------------------------|---|--|----------|
| Mohorovičić, Moho ou M | Entre crosta e manto | ondas aumentam de velocidade | ~30 |
| | Entrada na Astenosfera | menos rígida, zona de baixa velocidade | ~100-250 |
| Guttenberg | Entre manto e núcleo externo (líquido) | ondas P diminuem muito a velocidade e são refratadas; as S não se propagam | ~2900 |
| Lehmann | Entre núcleo externo e interno (sólido) | ondas P aumentam a velocidade e as S reaparecem | ~5150 |

3.4 ESTRUTURA INTERNA DA GEOSFERA



NOTA: Existe ainda a **Camada D** que é uma camada localizada na transição entre o manto e o núcleo, considerada a fonte das plumas térmicas

Modelo Geoquímico (3 zonas com diferentes composições químicas)

| Camada | | Constituição |
|---------------|--------------------|---|
| Crosta | Continental | Granito (SIAL: silício e alumínio), sedimentares e metamórficas Mais espessa, Menos densa e Mais antiga que a oceânica |
| | Oceânica | Basalto (SIMA: silício e magnésio) Mais densa e Mais recente que a continental |
| Manto | | Peridotito (FEMA: ferro e magnésio) |
| Núcleo | | Metálico (NIFE: níquel e ferro) |

Modelo Geofísico (4 zonas com propriedades físicas distintas)

| Camada | | Constituição |
|--------------------|----------------|--|
| Litosfera | | Camada superior <u>rígida</u> ; Cerca de 100 km de espessura; Corresponde à crosta e um pouco do manto superior |
| Astenosfera | | Camada sólida mas <u>pouco rígida</u> (mais plástica com materiais parcialmente fundidos) Corresponde a parte do manto superior |
| Mesosfera | | Camada mais <u>rígida</u> que a astenosfera Limitada inferiormente pela desc. de Guttenberg |
| Endosfera | Externa | Camada no estado <u>líquido</u> (2900 km) |
| | Interna | Camada no estado <u>sólido</u> (5150 km) |

Minerais

Substâncias sólidas, naturais, inorgânicas, de estrutura cristalina e com composição química definidas, fixas ou variáveis dentro de limites bem definidos

Minerais isomorfos: têm a mesma estrutura interna, mas composição diferente

Ex.: plagioclases (feldspatos de cálcio e sódio)

Minerais polimorfos: têm a mesma composição, mas estrutura diferente

Ex.: Diamante e grafite (ambos constituídos por carbono, C)

Aragonite e calcite (CaCO_3)

Silimanite e andaluzite (Al_2SiO_5)

Propriedades dos minerais:

Físicas:

- COR (cor do mineral observada à luz natural, numa região de fratura recente)
 - Minerais idiocromáticos** – cor constante
 - Minerais alocromáticos** – apresentam várias cores (ex.: quartzo)
- RISCA ou TRAÇO (cor do mineral quando reduzido a pó)
- BRILHO (efeito produzido pela luz ao refletir-se numa superfície de fratura recente)
 - Brilho metálico (ex.: hematite, pirite)
 - Brilho submetálico (ex.: volframite)
 - Brilho não metálico (ex.: diamante, quartzo)
- DUREZA (resistência que o mineral oferece ao ser riscado por outro ou por certos objetos).
Escala de dureza: **Escala de Mohs**
- CLIVAGEM (mineral fragmenta-se de forma regular em superfícies planas e brilhantes, quando sujeito a uma pancada com um martelo. Ex.: calcite, halite, piroxena, anfíbola, biotite, feldspato, moscovite)
- FRATURA (mineral fragmenta-se de forma irregular sem direção definida, quando sujeito a uma pancada com um martelo. Ex.: Quartzo, Olivina, Obsidiana)

Químicas:

- Densidade absoluta e relativa
- Composição
- Efervescência por ação de um ácido (ex.: calcite/calcário/mármore)

4.1 ROCHAS SEDIMENTARES

4.1.2 Rochas sedimentares – Formação

Sedimentogénesis (processos que levam à formação de sedimentos):

Meteorização

Erosão (pela água, vento, gravidade)

Transporte (pela água, vento, gravidade)

Sedimentação ou deposição

Diagénese (litificação da rocha):

Compactação (soterramento dos sedimentos, exclusão da água e diminuição dos poros)

Cimentação/Consolidação da rocha

Pode haver recristalização (formação de neominerais)

A. Meteorização:

Física ou mecânica (levam à desagregação da rocha, aumentando a área de exposição aos agentes de geodinâmica externa)

| | |
|-----------------------------|--|
| Termoclastia | ação de diferentes temperaturas provocam a dilatação e contração das rochas levando à sua fratura |
| Crioclastia | ação do frio/gelo |
| Ação da água | chuva a bater nas rochas, ondas nas falésias, ... |
| Ação dos seres vivos | as raízes são responsáveis pelo aparecimento e alargamento de fendas e certos animais escavam tocas ou galerias que aumentam o grau de degradação da rocha ou a expõem ainda mais a outros agentes de meteorização |
| Haloclastia | pelo crescimento/expansão de minerais, ex.: halite |
| Descompressão | pelo alívio de pressão de rochas formadas em profundidade sob elevadas pressões; as rochas expandem, fraturam e formam <u>diáclases</u> |

Química (levam à formação de novos minerais mais estáveis – minerais de neoformação; mais intensa em regiões de clima quente e húmido, como o clima tropical. Também é mais intensa quanto mais fraturada e desagregada estiver a rocha)

| Reação | Descrição | Exemplo |
|---------------------|--|---|
| Oxidação | Ocorre nos silicatos com ferro por combinação com oxigénio; Fe^{2+} (ferro ferroso) é transformado em Fe^{3+} (ferro férrico) (ex.: olivina, piroxena, anfíbola) | Fe^{2+} (ferro ferroso) \rightarrow Fe^{3+} (ferro férrico) |
| Hidratação | Combinação de um mineral com água | hematite \rightarrow limonite |
| Desidratação | Exclusão de água dos minerais | gesso \rightarrow anidrite |

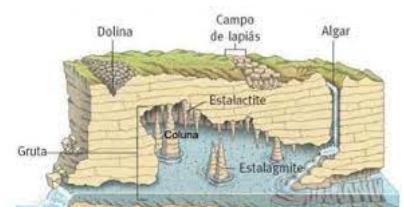
| | | |
|-------------------|--|--|
| Hidrólise | <p>CO₂ atmosférico reage com a água da chuva e forma ácido carbónico (H₂CO₃) que por dissociação forma iões HCO₃⁻ e H⁺:</p> $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ <p>Estes iões H⁺ vão substituir os iões K⁺ do feldspato convertendo-o em argila (caulinita) e iões solúveis - CAULINIZAÇÃO</p> | Feldspatos (granito) → Caulinita (argila) |
| Dissolução | <p>Reação dos minerais com a água ou um ácido em que iões livres ficam dissolvidos numa solução e por isso o <u>mineral desaparece</u></p> | halite em água (NaCl + H ₂ O → Na ⁺ + Cl ⁻) |
| | <p>CARBONATAÇÃO: águas acidificadas reagem com carbonato de cálcio (calcite) formando-se produtos solúveis que são removidos em solução; se o calcário inicial tiver impurezas, após a carbonatação estas impurezas ficam no local (ex.: terra rossa, argila avermelhada que resulta de impurezas não solúveis do calcário)</p> | calcite em água acidificada |

Exemplo de meteorização – Formação de caos de blocos a partir de granito

1. Formação do granito em profundidade
2. O **granito aflora** à superfície em grandes maciços rochosos devido a **movimentos da crosta e à remoção de camadas (meteorização e erosão)**
3. Formam-se **diáclases** (fraturas) no granito devido à **descompressão**
4. Com diáclases, o maciço fica mais vulnerável à ação da **meteorização** pois as diáclases facilitam a infiltração da água tornando as rochas mais frágeis nas bordas
5. Nas zonas mais expostas os minerais perdem coesão e desintegram-se convertendo-se em **areia grosseira** (areia granítica ou quartzosa) - **arenização**
6. As micas e os feldspatos reagem com a água ácida originando **minerais de argila** (hidrólise – meteorização química), aumentando o grau de desagregação da rocha
7. O granito alterado fica assim mais vulnerável (granito podre) e acaba por se desagregar facilmente em blocos
8. Os vértices dos blocos rochosos vão-se arredondando por ação dos agentes de meteorização e erosão, formando o **caos de blocos**

Exemplo de meteorização – Formação de grutas num maciço calcário (modelado cárstico)

1. A água da chuva reage com o CO₂, formando-se ácido carbónico, ficando, assim acidificada
2. A água acidificada infiltra-se através das fraturas (ou das diáclases) do calcário ocorrendo meteorização química da rocha, ou seja, a água acidificada dissolve o carbonato de cálcio que constitui o calcário
3. A remoção dos iões em solução (ou do carbonato de cálcio) pela água que circula no interior do maciço, em profundidade, conduz ao alargamento das fraturas levando à formação de grutas



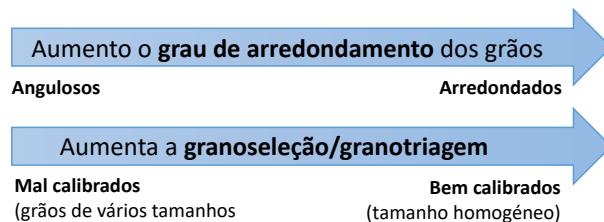
B. Erosão: processo de remoção dos produtos resultantes da meteorização

| Agentes erosivos | | Paisagens sedimentares formadas |
|------------------|-----------|--|
| Águas | Selvagens | Ravinamentos |
| | Chuvas | Chaminés-de-fada |
| | Rios | Marmitas de gigante; Vales em forma de V |
| | Glaciares | Vales em forma de U |
| | Mares | Falésias; Arribas |
| Vento | | Dunas; Blocos pedunculados |



C. Transporte: materiais erodidos podem ser deslocados para longe do local de formação

- Agentes de transporte: Gravidade, Vento e Água
- Durante o transporte ocorre calibragem (granotriagem, seleção de grãos conforme a energia do agente de transporte) e arredondamento dos fragmentos erodidos (detritos)
- Em geral, quanto maior a distância de transporte mais pequenos e arredondados são os detritos



D. Sedimentação/Deposição

- Ocorre quando a energia dos agentes de erosão e transporte diminui ou se anula
- Os sedimentos depositam-se na horizontal formando estratos
- À medida que se acumulam novos sedimentos, os estratos inferiores transformam-se em rochas sedimentares

E. Diagénese ou Litificação

- Processo que propicia a passagem dos sedimentos soltos/móveis a rochas sedimentares consolidadas.
- Inclui: compactação, desidratação e cimentação (resultante da precipitação de substâncias dissolvidas na água)

CICLO SEDIMENTAR: Sedimentogénese + Diagénese

4.1.3 Rochas sedimentares – Classificação

| DETRÍTICAS | | QUIMIOGÉNICAS | | BIOGÉNICAS |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|--|
| Não consolidadas | Consolidadas | Evaporitos | Carbonatadas | |
| Argila* (grão mais fino) | Argilitos* | Sal gema ^a (NaCl) | Calcário (CaCO ₃) | |
| Siltes | Siltitos | Gesso (CaSO ₄) | Travertino (CaCO ₃) | Calcário recifal, conquífero,fossilífero |
| Areias | Arenitos | | | Carvão (turfa, lenhite, hulha, antracite) |
| Balastros (grão grosso) | Brechas (angulosos) | | | Petróleo, Asfalto |
| | Conglomerados (arredondados) | | | |

Marga – rocha de transição entre detritica e quimiogénica (50% argilas + 50% calcite)

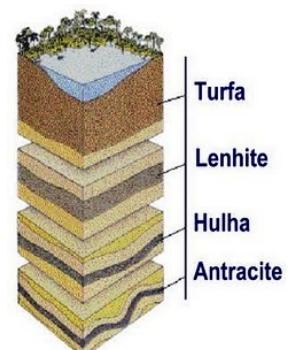
* As partículas que constituem as argilas aumentam de volume ao absorverem água, o que leva a que em caso de saturação se tornem impermeáveis.

Quando perdem água formam-se fendas de retração ou dessecação

^a halite NaCl; é pouco denso e pode ascender formando grandes massas de sal, os domos salinos ou diápiros

Formação do CARVÃO (em ambiente continental, origem em restos vegetais)

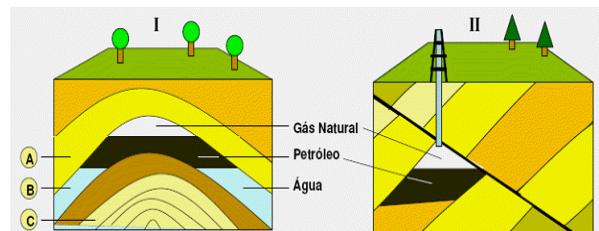
- restos de plantas tropicais e subtropicais são rapidamente cobertos por sedimentos finos, em zonas pantanosas, ficando em anaerobiose
- ao longo do tempo (milhões de anos), com a deposição de mais sedimentos, os materiais orgânicos ficam sujeitos a uma maior pressão e temperatura e vão sendo transformados em carvão (**incarbonização**), perdendo voláteis e água.
- Consoante a sua riqueza em carbono, os carvões podem ser classificados em:
 - Turfa** (menos rico em carbono e mais rico em água e voláteis)
 - Lenhite** (ou lignite)
 - Hulha** (ou carvão betuminoso)
 - Antracite** (pobre em água e voláteis e o mais rico em carbono (c. 90%) e maior potencial energético)



Formação do PETRÓLEO (em ambiente marinho, origem em plâncton)

- matéria orgânica (plâncton, algas, pólen) acumula-se em fundos oceânicos pouco profundos e sem turbulência
- é rapidamente coberta por sedimentos finos (argiloso ou carbonatados) ficando em anaerobiose e sob ação de organismos decompositores; estes sedimentos contendo a matéria orgânica constituem a **rocha-mãe A** (tipo argiloso/carbonatado)

- com a deposição de mais sedimentos, a compactação e o afundimento destas camadas leva à formação do petróleo (a 120°C e precisa de milhões de anos)
- o petróleo e o gás natural formados (a partir da parte lipídica do plâncton) que são menos densos que os restantes sedimentos, têm tendência a subir se as rochas envolventes forem porosas e permeáveis do tipo arenito/conglomerado/calcário (**rocha-armazém B**)
- quando encontram uma rocha de baixa permeabilidade (argilosa/salina-**rocha-cobertura C**) o movimento dos hidrocarbonetos pára, ficando estes acumulados na rocha armazém
- Esta estrutura (rochas mãe, armazém e cobertura) forma uma **armadilha petrolífera**, SE houver estruturas geológicas favoráveis a essa acumulação (domos salinos, falhas e dobras). A armadilha petrolífera torna-se num **jazigo petrolífero** se a sua exploração for economicamente rentável



Régressões marinhas

- **Recuo** do nível médio das águas do mar durante os períodos de **glaciações**, devido à transferência de uma quantidade importante de água do mar para as calotes polares, e consequente avanço da linha de costa
- Há medida que o mar vai recuando, ocorre uma sequência onde o tamanho do grão aumenta da base para o topo



Transgressões marinhas

- **Avanço** do nível médio das águas do mar em períodos **interglaciários**, devido ao descongelamento das calotes polares, e consequente recuo da linha de costa
- Há medida que o mar vai entrando por terra a dentro, ocorre uma sequência normal onde o tamanho do grão diminui da base para o topo, uma vez que a energia do meio vai também diminuindo

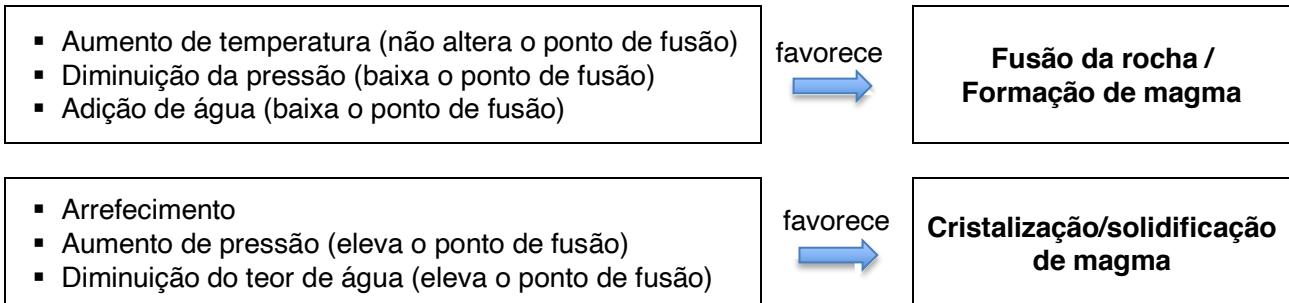


4.2 MAGMATISMO

Magma

- Mistura silicatada com gases (fração volátil), proveniente da astenosfera
- É tão mais viscoso quanto maior a quantidade de sílica e menor a sua temperatura
- A presença de água quebra as ligações entre a sílica, diminuindo a viscosidade do magma e baixando o seu ponto de fusão. Favorece o processo de magmatismo

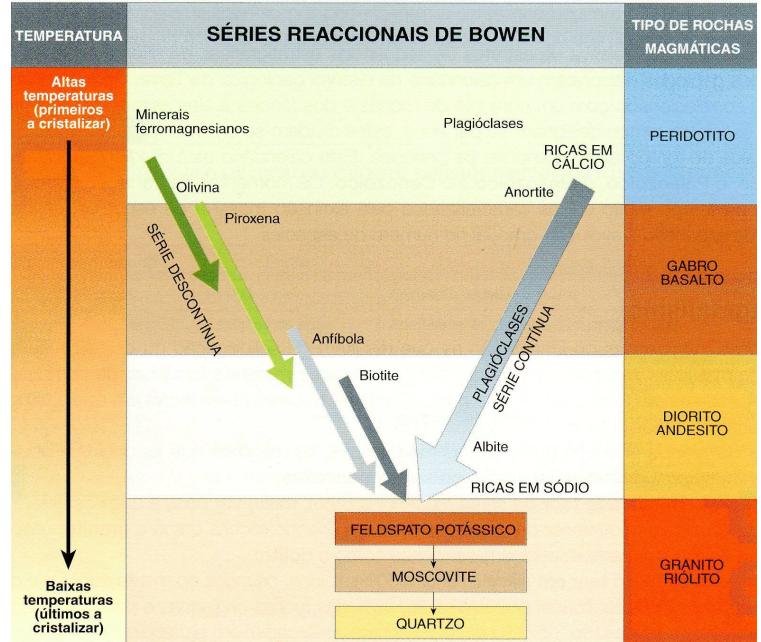
Formação de magma: influência da água, temperatura e pressão



Série de Bowen

- sequência pela qual os minerais cristalizam num magma em arrefecimento, devido aos seus diferentes pontos de fusão
- **Série descontínua:** série dos minerais ferromagnesianos **O-P-A-B**
- **Série contínua:** série das plagioclases (feldspatos cálcio-sódicos) que são minerais isomorfos: **Ca – Na**

Nota: Biotite (mica preta); Moscovite (mica branca)

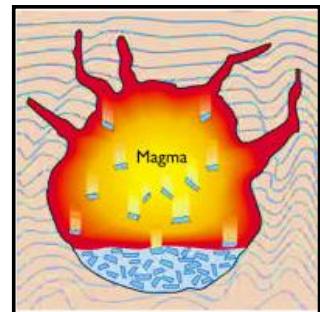


Diferenciação magmática

(explica como se obtém um magma a partir de outro com composição diferente)

- **Cristalização fracionada:** formação sequencial dos diferentes minerais; não se formam todos ao mesmo tempo – Série de Bowen
- **Diferenciação gravítica:** deposição dos minerais mais densos que se formaram; os menos densos acumulam-se na parte superior da câmara magmática

À medida que se dá a cristalização fracionada e diferenciação gravítica num magma em arrefecimento, este vai perdendo primeiro Ca, Fe e Mg e vai-se tornando cada vez mais rico em Si, Al e K ao mesmo tempo que se vai tornando menos denso
- **Assimilação magmática:** o magma pode fundir as rochas encaixantes alterando a composição original do magma
- **Mistura de magmas:** quando duas câmaras magmáticas se fundem



4.2.1 Rochas magmáticas – Classificação

| Tipo de Magma | Sílica (%) | Temp (°C) | Viscos. | Teor em gases | Origem | Formação | Rochas que origina | | Côr | Minerais | Densidad |
|---------------------------------|------------|-----------|---------|---------------|--------------------------------------|--|--|--|-------------|---|-----------------|
| | | | | | | | Vulcânicas (extrusivas) | Plutónicas (Intrusivas) | | | |
| Ultra-básico | < 43 | >1200 | Fluido | Baixo | Manto | | Komatito/ Kimberlito | Peridotito | Melanocrata | Ultramáficos | |
| Basáltico ou Básico | < 52 | 900-1200 | Fluido | Baixo | Manto superior | • Lim. diverg. (Riftes) • Hotspots oceânicos (sob PO) | Basalto  | Gabro  | Melanocrata | Máficos (Mg e Fe): • Olivina • Piroxenas Plagiocl. cárquicas | Maior densidade |
| Andesítico ou Intermédio | 53–64 | 850 – 900 | Média | Interm. | Manto e crosta (na presença de água) | • Zonas de subducção (PO-PC ou PO-PO) | Andesito  | Diorito  | Mesocrata | Máficos e Félsicos: • Anfíbola • Biotite Plagiocl. sódicas | Interm. |
| Riolítico ou Ácido | > 65 | < 850 | Viscoso | Alto | Crosta | • Lim. convergentes PC-PC • Hotspots continentais | (Traquito)  | (Sienito)  | Leucocrata | Félsicos (Al e Si): • Feldspato potássico • Moscovite • Quartzo | Menor densidade |
| | | | | | | | Riolito  | Granito  | | | |

*PO- placas oceânicas; PC- placas continentais

Textura:
 Afaníticas (agranulares)
 Faneríticas (granulares)



Obsidiana – rocha com textura vítreia (arrefecimento muito rápido à superfície)

Fenocristais

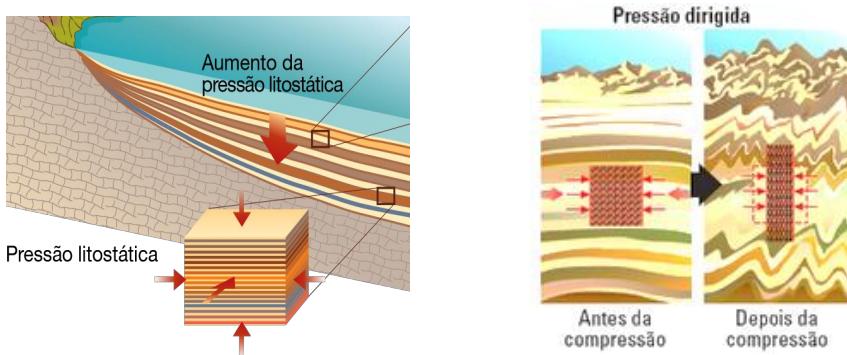
- são **cristais maiores** que se destacam dos restantes cristais de uma rocha; indicam que houve **vários tempos de cristalização**:
 - um lento em que os cristais tiveram tempo de se desenvolver
 - um rápido quando o magma ascende
- Rocha com textura **porfírica**: rocha plutónica com fenocristais
- Rocha com textura **porfiroide**: rocha vulcânica com fenocristais
- Rocha com textura **pegmatítica**: os fenocristais têm grandes dimensões; são destes pegmatitos de onde normalmente se tiram os minerais para venda (ex.: diamantes)

4.3 METAMORFISMO

Rochas metamórficas formam-se a partir de rochas pré-existentes por **recristalização** dos minerais (**não há fusão** dos materiais) em consequência de metamorfismo

Fatores de metamorfismo

- Temperatura (entre 200° e 800°C; depois inicia-se a transição para o magmatismo)
- Tensão:
 - Tensão litostática** (resulta do peso das rochas suprajacentes, fazendo diminuir o volume das rochas e aumentando a sua densidade)
 - Tensão não litostática ou dirigida ou diferenciada** (diferente intensidade em diferentes direções, podendo ser compressiva, distensiva ou de cisalhamento; geralmente associada a movimentos tectónicos; causa o alinhamento dos minerais ou foliação)

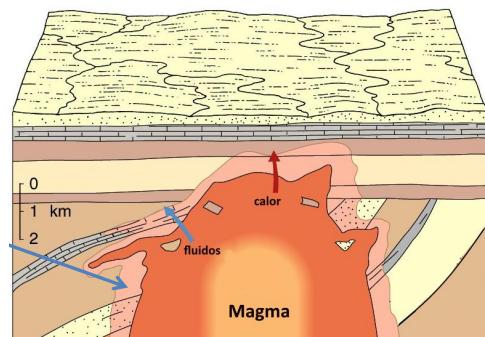


- Fluidos circulantes (transportam elementos solúveis que podem levar à alteração da composição química e mineralógica)
- Tempo

Tipos de metamorfismo

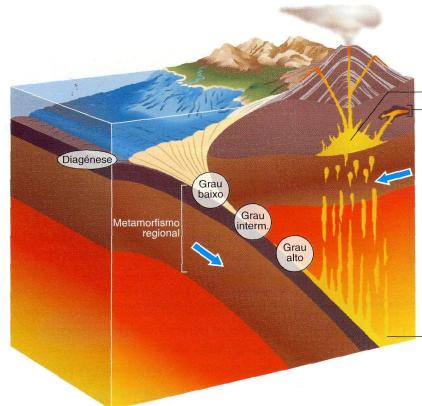
Metamorfismo de contacto

- Localizado a baixas profundidades numa zona de contacto de uma intrusão magmática com as rochas encaixantes, formando-se uma auréola de metamorfismo (rochas alteradas em torno da intrusão)
- o grau de metamorfismo diminui com a distância à intrusão
- fatores importantes: temperatura elevada e fluidos circulantes
- não associado com foliação dado o papel secundário da tensão
- há formação de novos minerais do lado de fora da intrusão (exometamorfismo) e do lado de dentro (endometamorfismo)



Metamorfismo regional

- Afeta áreas extensas a profundidades onde atuam temperaturas e tensões elevadas como nos limites convergentes de ogenia
- Fatores importantes: tensão e temperatura elevadas
- As tensões são essencialmente não litostáticas levando à foliação das rochas formadas (ex.: xisto e gnaisse)



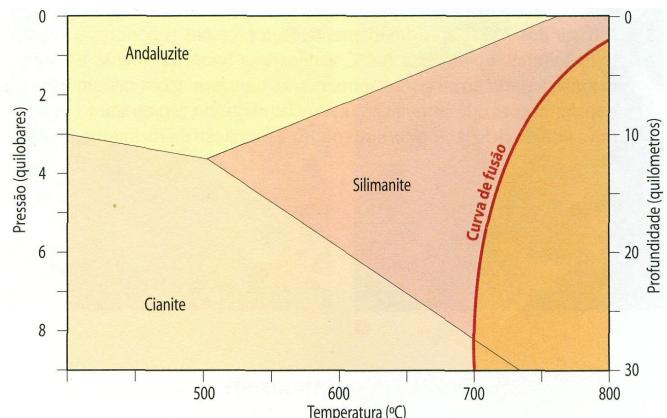
Ultrametamorfismo

- Limiar do metamorfismo na transição para o magmatismo (originando, por ex: migmatitos)

Grau de metamorfismo: Aumenta com a pressão e a temperatura

Minerais-índice

- Minerais **característicos de rochas metamórficas** que se formam apenas dentro de certos valores de pressão e temperatura pelo que a sua presença numa rocha metamórfica permite inferir as condições em que ela se formou
- Exemplos: clorite, granada, estaurolite, silimanite, cianite (ou distena), andaluzite.
- Assim, se a rocha exibir, por exemplo, silimanite, indica que essa rocha se formou em ambientes metamórficos de elevadas temperaturas.



4.3.1 Rochas metamórficas – Classificação

| | Rocha metamórfica | Rocha-mãe/ Protólito | Tipo de foliação | Grão | Grau metam. | Metamorfismo associado |
|------------------------------------|---|-------------------------|----------------------|-------------------|----------------|---|
| FOLIADAS |  | Ardósia | Argilitos | Clivagem | Fino | Regional (Tensões não litostáticas) |
| | | Filito | | | | |
| |  | Micaxisto | Ardósia ou filito | Xistosidade | Médio | |
| |  | Gnaisse | Micaxisto ou Granito | Bandado gnaissico | Grosso | |
| NÃO FOLIADAS GRANOBLÁSTICAS | | Corneana | Rochas argilosas | Sem foliação | Fino | Contacto* (Tensões litostáticas e Temperatura) |
| | | Quartzito | Arenito quartzítico | | | |
| |  | Mármore | Calcário | | Grosso | |

* O mármore também pode formar-se num contexto de metamorfismo regional

As rochas metamórficas são, na sua generalidade, resistentes e duráveis devido aos processos de metamorfismo que substituem minerais instáveis por minerais mais estáveis.

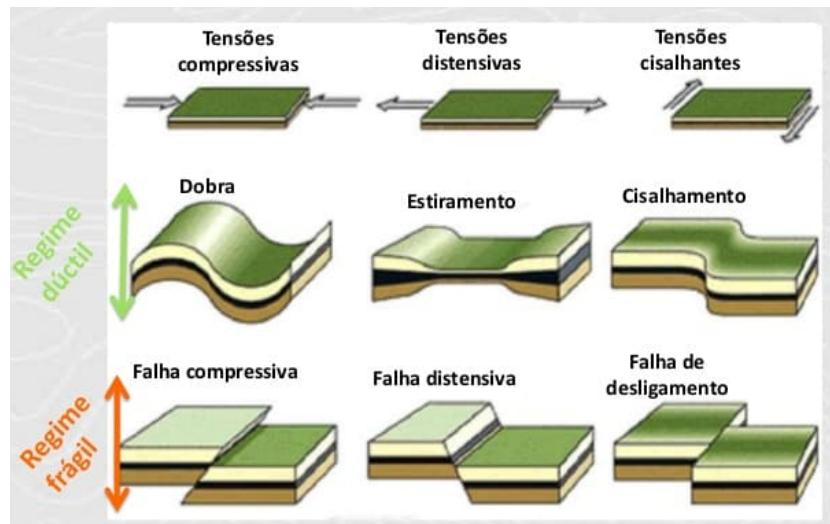
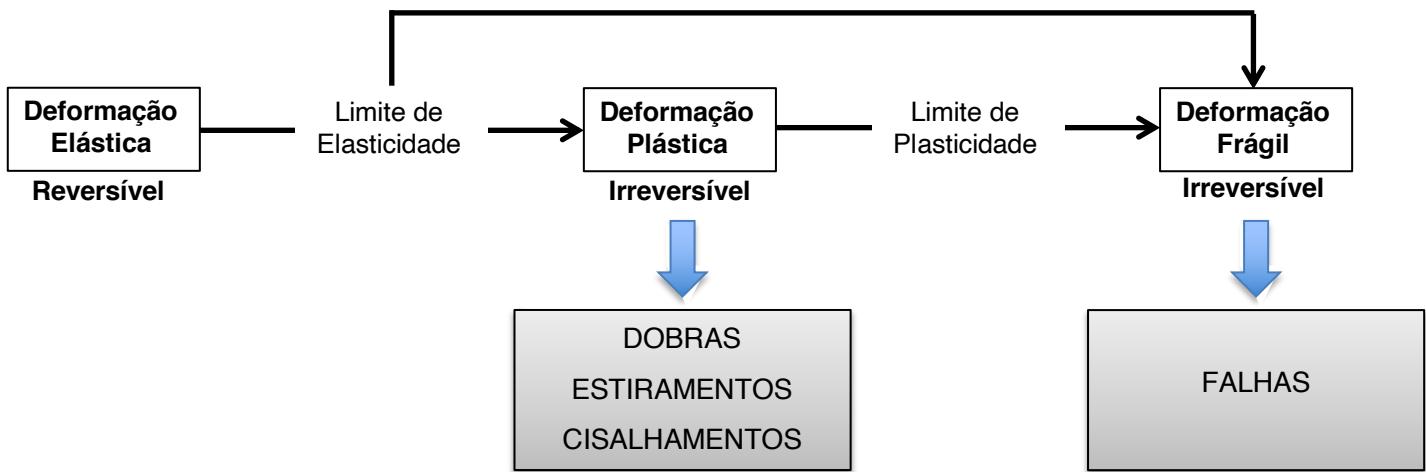
4.4 DEFORMAÇÃO DOS MATERIAIS

As rochas podem ter três tipos de deformações quando sujeitas a tensão:

- **Deformação elástica:** a rocha deforma-se mas quando a tensão cessa, volta à sua forma inicial (reversível). Quando o **limite de elasticidade** é ultrapassado a rocha passa a sofrer deformação plástica ou frágil
- **Deformação plástica:** rocha deforma-se irreversivelmente mas não fratura. Quando o **limite de plasticidade** é ultrapassado a rocha passa a sofrer deformação frágil
- **Deformação frágil:** a rocha fratura quando a tensão é superior ao limite de plasticidade/elasticidade

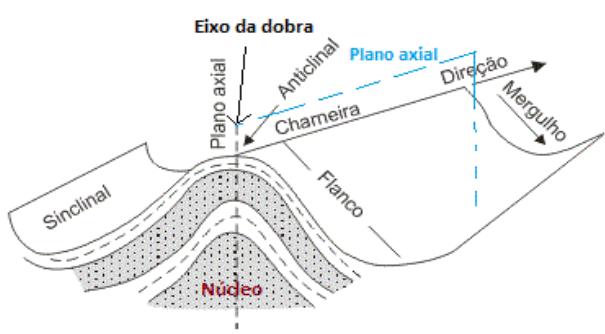
O comportamento das rochas quando estão sujeitas a tensões pode ser de dois tipos:

- **Comportamento dúctil:** as rochas quando sujeitas a temperaturas e pressões elevadas (condições de profundidade) podem atingir o seu limite de elasticidade deformando-se sem fraturar, originando deformações contínuas como **dobras**, estiramentos e cisalhamentos
- **Comportamento frágil:** as rochas sujeitas a temperaturas e pressões baixas (condições de superfície) podem atingir o seu limite de plasticidade deformando-se e fraturando-se, e deste modo, originando deformações descontínuas como **falhas**

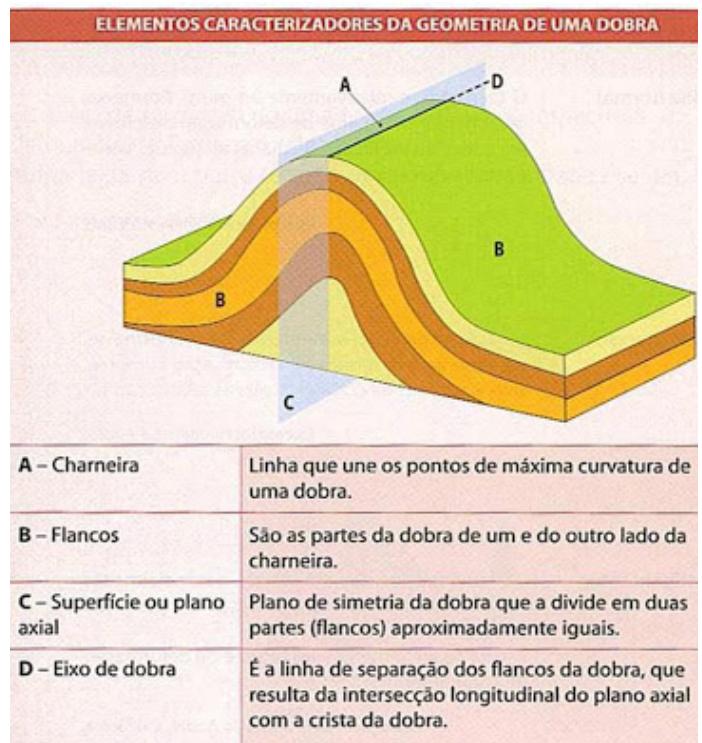


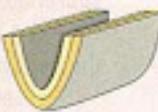
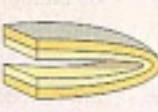
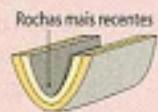
4.4.1 Dobras

- Deformação plástica, contínua, comportamento **dúctil**
- Ocorrem de forma lenta em condições de profundidade (pressão e temperatura altas)
- Resultam de **tensões compressivas**
- **Direção da dobra** define a direção da dobra



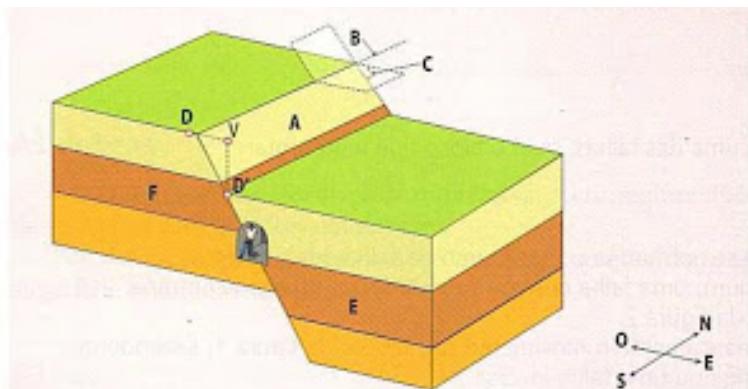
Elementos que compõem uma dobra.



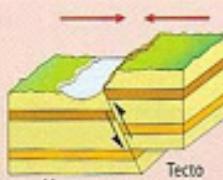
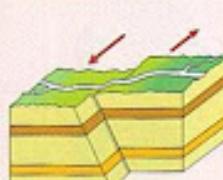
| TIPOS DE DOBRAS | | | |
|---|--------------|---|--|
| CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO | NOME | CARACTERIZAÇÃO | |
| Disposição espacial da dobra | Antiforma | Dobra cuja abertura está dirigida para baixo. |  |
| | Siniforma | Dobra cuja abertura está voltada para cima. |  |
| | Dobra neutra | Dobra cuja abertura se orienta lateralmente. |  |
| Disposição, na dobra, da sequência estratigráfica | Anticinal | No núcleo da antiforma, encontram-se as rochas mais antigas. |  Rochas mais antigas |
| | Sinicinal | No núcleo da siniforma, encontram-se as rochas mais recentes. |  Rochas mais recentes |

4.4.2 Falhas

- Deformação descontínua, comportamento **frágil**
- Ocorrem em condições de superfície (**pressão e temperatura baixas**) num curto espaço de tempo
- Podem resultar de tensões compressivas, distensivas ou de cisalhamento
- **Atitude da falha:** é dada pela inclinação e direção

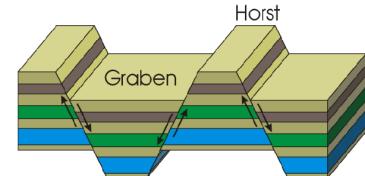


| | |
|-----------------------|--|
| A – Plano de falha | É a superfície de fractura. |
| B – Direcção | O plano de falha define-se no espaço pela sua direcção e pela sua inclinação: – a direcção é a orientação da linha de intersecção do plano de falha com um plano horizontal; |
| C – Inclinação | – a inclinação é o ângulo definido entre o plano de falha e uma superfície horizontal. |
| D – Relevo ou rejeito | É o movimento relativo entre os dois blocos da falha (DD'). O relevo total pode ser decomposto numa componente horizontal – relevo horizontal (DV) – e numa componente vertical – relevo vertical (D'V) . |
| E – Tecto | Bloco situado acima do plano de falha. |
| F – Muro | Bloco situado abaixo do plano de falha. |

| TIPOS DE FALHAS | | | |
|---------------------------|--|--|---|
| CLASSIFICAÇÃO DE ANDERSON | | | |
| Falha normal | O tecto desce relativamente ao muro. Forma-se, geralmente, em regime de deformação distensivo, em zonas de separação de placas tectónicas, continentais ou oceânicas. Exemplo: Rift Valley Africano. |  |  |
| Falha inversa | O tecto sobe relativamente ao muro. Forma-se, geralmente, em regime de deformação compresivo, em zonas de colisão de placas tectónicas. Exemplo: Himalaias e Andes. |  |  |
| Desligamento | Os movimentos dos blocos são essencialmente horizontais e paralelos à direção do plano de falha. Forma-se, geralmente, em regime de deformação de cisalhamento. Exemplo: Falha de Santo André, Califórnia. |  |  |

Associação de falhas podem originar configurações geográficas como:

- Fossas tectónicas ou **grabens** (parte rebaixada)
- Maciços tectónicos ou **horsts** (parte elevada)



4.5 RECURSOS GEOLÓGICOS

Materiais que podem ser extraídos da Terra e usados para benefício do Homem. Podem ser:

Recursos renováveis: gerados pela Natureza a uma taxa igual ou superior àquela a que são consumidos

Recursos não renováveis: gerados na Natureza a um ritmo muito mais lento do que aquele a que são consumidos pelo Homem

Tipo de recursos:

- Recursos energéticos
- Recursos minerais
- Recursos hidrogeológicos

4.5.1 Recursos Energéticos

| | Fonte de energia | Vantagens | Desvantagens |
|-----------------------|---|---|---|
| RENOVÁVEIS | Energia solar, eólica, geotérmica, de biomassa, dos mares, hidroelétrica | <ul style="list-style-type: none"> • Não são poluentes • Não produzem resíduos • São inesgotáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Impacto visual negativo |
| NÃO RENOVÁVEIS | Combustíveis fosseis (petróleo, carvão e gás natural) | <ul style="list-style-type: none"> • Permitem a produção de energia elétrica | <ul style="list-style-type: none"> • Libertam dióxido de enxofre e de carbono que reagem com a água da chuva formando-se <u>chuvas ácidas</u> (acidificam solos e cursos de água) • O dióxido de carbono libertado contribui para o <u>efeito de estufa</u> e consequentemente para o <u>aquecimento global</u> |
| | Energia nuclear | <ul style="list-style-type: none"> • Combustível mais barato que o carvão • É necessário menor quantidade de matéria prima para a produção de energia • Não causa efeito de estufa | <ul style="list-style-type: none"> • Elevado custo de construção e manutenção de centrais nucleares • Risco de acidentes com fuga • Produção de resíduos radioativos que podem causar cancros • Risco de ação terrorista |

Energia Geotérmica: energia libertada pela Terra aquece a água no local e é esta água aquecida que é aproveitada pelo Homem como fonte de energia

Geotermia de Alta Entalpia:

- A temperatura da água é **superior a 150°C**.
- Pode ser aproveitada para produção de eletricidade e aquecimento de águas sanitárias
- Em zonas de baixo grau geotérmico e alto gradiente e fluxo geotérmicos

Geotermia de Baixa Entalpia: a temperatura da água é **inferior a 150°C**. Pode ser aproveitada para aquecimento de águas sanitárias

4.5.2 Recursos Minerais

São recursos NÃO RENOVÁVEIS e podem ser classificados em

Recursos minerais metálicos

- Escassos: cobre, zinco e chumbo
- Abundantes: ferro, titânio, alumínio

Recursos minerais não metálicos

- Materiais de construção: areias, cascalho, granito, basalto, mármore
- Fertilizantes e evaporitos: fosfatos, nitratos, sal-gema

Reserva: todos os minerais e rochas que são economicamente viáveis para serem explorados.

Clarke: abundância média de um determinado elemento químico na crosta terrestre (em ppm)

Jazigo mineral: em zonas em que o teor de um determinado elemento químico é várias vezes superior ao seu Clarke, e por isso é rentável a sua exploração. Esta exploração faz-se a céu aberto (pedreiras) ou em minas subterrâneas

Minério: mineral que é explorado num jazigo

Ganga ou **Estéril**: material que é rejeitado. Este é acumulado em **escombreiras**

Desvantagens da exploração mineira:

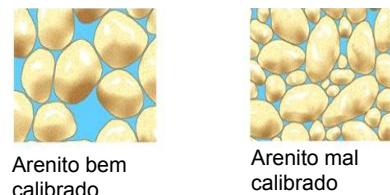
- Impacto ambiental das escombreiras, podendo haver contaminação dos solos e das águas subterrâneas, lagos e rios após a lixiviação de alguns elementos presentes nas escombreiras (ex.: metais pesados, elementos radioativos)
- Provoca distúrbios nas vias respiratórias do Homem devido a poeiras libertadas durante o processo de moagem do minério
- Impacto visual das minas a céu aberto

4.5.3 Recursos Hidrogeológicos

Aquíferos: formação geológica que tem capacidade de armazenamento de água que é passível de ser explorada de uma forma economicamente rentável. A capacidade de armazenamento de um aquífero depende da sua porosidade e permeabilidade

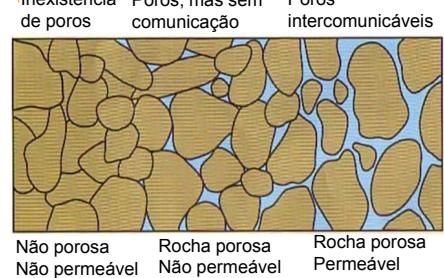
Porosidade: relação entre o volume de espaços vazios (poros) e o volume total da rocha. Dependendo das formas dos poros, as formações rochosas podem ser:

- **Rochas porosas:** tipicamente rochas detriticas consolidadas ou não.
 - Rochas com elevada porosidade: grãos de tamanho homogéneo
 - Rochas com moderada ou baixa porosidade: grão de tamanho muito diferente
- **Rochas fissuradas:** podem resultar de ação física (ex.: diáclases em rochas) ou de ações químicas (ex.: dissolução de carbonato de cálcio das formações calcárias) e podem ter fissuras (menor dimensão) ou fraturas (maior dimensão). As rochas fissuradas são normalmente menos porosas que as rochas porosas



Permeabilidade: maior ou menor facilidade com que uma rocha se deixa atravessar pela água. Os poros (espaços vazios) podem estar conectados ou semi-fechados condicionando a passagem da água.

- **Permeabilidade alta:** se os poros estão em contacto direto uns com os outros e se as fissuras estão abertas, permitindo que a água circule com facilidade
- **Permeabilidade baixa:** poros não estão em contacto e as fissuras estão fechadas



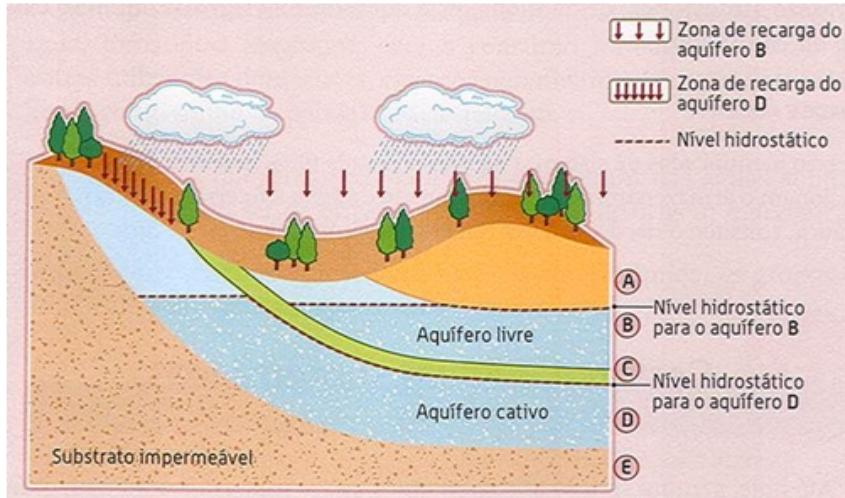
| | |
|-----------------------|---|
| Bons aquíferos | <ul style="list-style-type: none"> Aquíferos <u>em formações arenosas</u> (areias, arenitos) têm melhores condições de armazenamento de água dado que as areias são rochas porosas e têm boa permeabilidade Um <u>granito ou gabro</u> poderão ser bons aquíferos se se apresentarem <u>alterados</u> e com fraturas e/ou fissuras <u>Ambientes cársicos (calcários)</u> onde a água circula em condutas que resultaram do alargamento de diaclases por dissolução do calcário |
| Maus aquíferos | <ul style="list-style-type: none"> Aquíferos em <u>formações argilosas</u> dado que a granulometria é baixa, os poros são diminutos e sem comunicação entre si <u>Rochas magmáticas e metamórficas</u> são também maus aquíferos pois têm baixa porosidade e permeabilidade |

Zonas de um aquífero

| | |
|---------------------------------------|--|
| Zona de aeração | <ul style="list-style-type: none"> Zona mais superficial do terreno e estende-se até atingir zonas com água Poros não estão totalmente preenchidos por água, tendo ar também na sua constituição Limitado inferiormente pelo nível freático ou hidrostático Zona de infiltração e capilaridade, ie, de intensa circulação vertical de água |
| Zona de saturação | <ul style="list-style-type: none"> Zona mais profunda onde todos os poros e fissuras estão preenchidos por água, constituindo o aquífero Limitado inferiormente por uma camada impermeável e de porosidade muito reduzida ou nula Limite superior é o nível freático |
| Nível freático ou hidrostático | <ul style="list-style-type: none"> Corresponde à profundidade a que a água se encontra numa dada região Nível superior da zona de saturação e nível inferior da zona de aeração Varia ao longo das estações do ano, encontrando-se mais perto da superfície nas épocas de chuva (Inverno) e a maior profundidade no verão |

Tipos de aquíferos

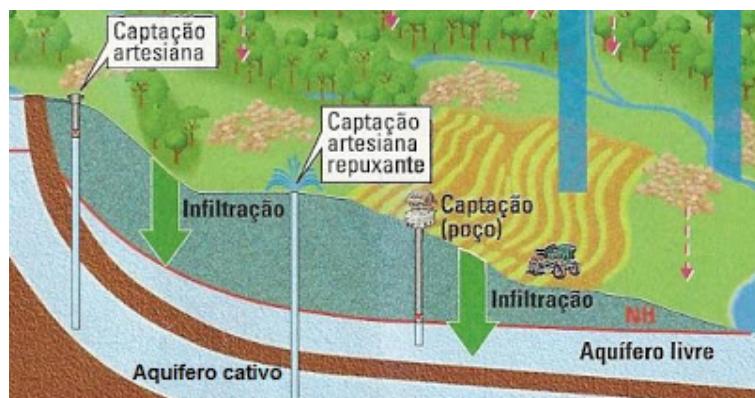
| | |
|--|--|
| Aquífero livre ou não confinado | <ul style="list-style-type: none"> Delimitado por uma camada permeável acima do nível freático por onde é feita a recarga e por uma camada inferior impermeável (ex.: argilito/granito) A pressão da água, à profundidade do nível freático, é igual à pressão atmosférica A recarga é rápida e faz-se ao longo de toda a extensão do terreno pela precipitação Sofre variações acentuadas com a estação do ano Pode sofrer contaminação das suas águas mais facilmente que o confinado |
| Aquífero catio ou confinado | <ul style="list-style-type: none"> Delimitado por duas camadas impermeáveis (ex.: argilito/granito) A pressão da água, na sua parte mais superficial, é superior à pressão atmosférica A recarga é lenta e feita lateralmente numa zona limitada exposta à superfície Varia pouco com as estações do ano |



- A- zona de aeração;**
- B- zona saturada (aquífero livre);**
- C- camada impermeável;**
- D-zona saturada (aquífero confinado ou cativo, alimentado lateralmente às camadas impermeáveis) e**
- E- rocha impermeável.**

Captações nos aquíferos

- Num aquífero livre a água é captada através de captações/**poços**
- Num aquífero cativo, dado que água se encontra a uma pressão superior, a água subirá até ao nível hidrostático, designando-se **captação artesiana**. Se a captação for feita num local onde o nível hidrostático ultrapassa o nível topográfico, a água extravasa naturalmente a boca da captação (faz um repuxo), sendo assim designada **captação artesiana repuxante**



Variação do nível de água nos aquíferos com:

- Precipitação ocorrida
- Extração de água subterrânea
- Efeitos de maré nos aquíferos costeiros
- Variação súbita da pressão atmosférica
- Alterações do regime de escoamento de rios influentes (que recarregam os aquíferos)
- A evapotranspiração, etc

Poluição das águas dos aquíferos

- O solo e a zona não saturada apresentam mecanismos de filtragem podendo reter partículas e bactérias patogénicas, mas por vezes a água pode ficar contaminada. As causas fundamentais de poluição são:
 - poluição urbana e doméstica
 - poluição agrícola (lixiviação de fertilizantes, pesticidas)
 - poluição industrial
 - contaminação induzida por bombeamento (ex.: intrusões salinas em aquíferos costeiros que estão em contacto com a água salgada (mais densa que a doce))

Composição química das águas subterrâneas

- Podem ser classificadas como **águas minerais naturais** e **águas de nascente**
- Podem também ser classificadas quanto à sua **dureza** que reflete o teor em iões cálcio e magnésio
- Nos aquíferos podem surgir águas mais mineralizadas ou menos mineralizadas. A explicação envolve muitas vezes a seguinte cascata de eventos:

