Geologia

12.º ano

12



Ministério da Educação

Recursos digitais acessíveis por QR Code no manual. Versão digital em www.escolavirtual.cv

escola virtual

um serviço Porto Editora

Explora o manual digital do teu livro



Exercícios Interativos

Para resolução com *feedback* imediato.

Vídeos e interatividades

Explicam a matéria de forma motivadora.

Jogos

Exploram os conceitos curriculares de forma lúdica.

Áudios

Dão vida aos textos e ajudam a reforçar as competências linguísticas.

QuizEV

Desafiam-te a mostrares o que sabes. Podes, também, jogar com os teus amigos.

www.escolavirtual.cv

Geologia

12.º ano



Manual Revisto

O presente manual foi revisto e validado pela Universidade de Cabo Verde.

Explora o teu manual digital

https://escolavirtual.cv

Acesso e condições de utilização em
www.escolavirtual.cv

Ministério da Educação

Conhece o teu manual

O manual de Geologia está organizado de modo a que consigas ter sucesso e aprender de forma autónoma. Organiza-se em três grandes temas. Cada tema contribuirá para desenvolveres saberes, capacidades, atitudes e valores que te permitirão atingir os objetivos da disciplina de Geologia do 12.º ano.

O manual inicia com…

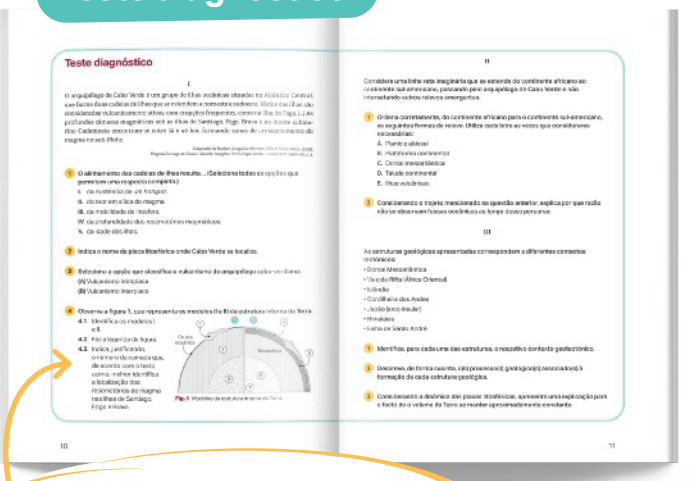
Separador de Geologia



Imagem real do símbolo da Geologia e das Geociências

Texto sobre a importância da Geologia e do trabalho do geólogo.

Teste diagnóstico



Questões sobre as aprendizagens dos anos anteriores

Cada tema é composto por subtemas

Separador do tema



Subtemas

Objetivos do tema

Conteúdos do subtema

Separador do subtema

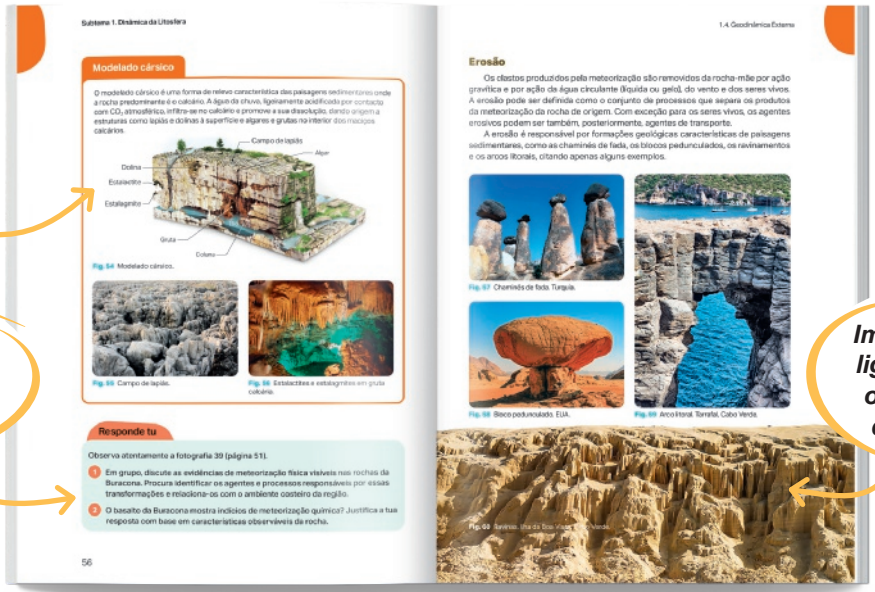


Desenvolvimento de conteúdos

Imagens infográficas

Responde tu com questões de verificação das aprendizagens

Imagens reais uma ligação ao planeta objeto de estudo desta disciplina



Ao longo do teu manual…

Atividade laboratorial

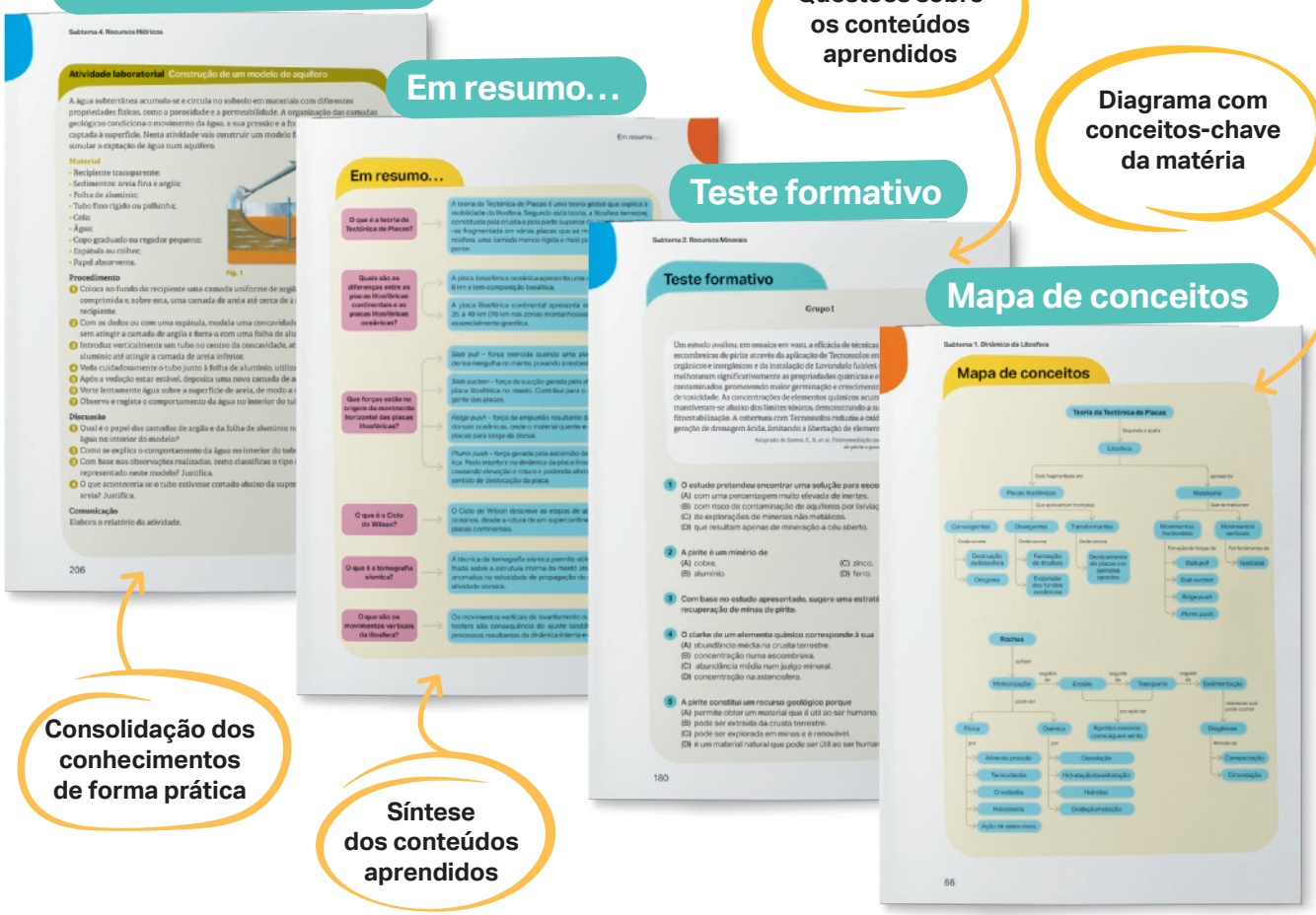
Questões sobre os conteúdos aprendidos

Em resumo…

Diagrama com conceitos-chave da matéria

Teste formativo

Mapa de conceitos



Consolidação dos conhecimentos de forma prática

Síntese dos conteúdos aprendidos

Índice

Teste diagnóstico 10

TEMA I: Geodinâmica terrestre 12

1

Dinâmica da Litosfera 14

1.1. Teoria da Tectónica de Placas e Dinâmica da Litosfera 16
1.2. Movimentação Vertical da Litosfera 37
1.3. Deformação das Rochas: Falhas e Dobras 39
1.3.1. Deformação das Rochas em Regime Frágil 40
1.3.2. Deformação das Rochas em Regime Dúctil 43
1.4. Geodinâmica Externa 48
Atividades 61
Mapa de conceitos 66
Em resumo... 67
Teste formativo 69

2

Grandes Estruturas Geológicas 72

2.1. Estruturas Geológicas Resultado da Geodinâmica 74
Atividades 81
Mapa de conceitos 84
Em resumo... 85
Teste formativo 86

Ilha de Santo Antão. As ilhas do arquipélago de Cabo Verde resultam da ação vulcânica e são continuamente modeladas pelos agentes de dinamismo externo.

Índice

TEMA II: Geohistória 88

1 **A Medida do Tempo Geológico** 90

1.1. Métodos de Datação 92
Atividades 104
Mapa de conceitos 106
Em resumo… 107
Teste formativo 109

2 **Tabela Cronoestratigráfica** 112

2.1. Unidades Cronoestratigráficas e Geocronológicas 114
Atividades 118
Mapa de conceitos 119
Em resumo… 119
Teste formativo 120

3 **Grandes Etapas da História da Terra** 122

3.1. Evolução da Vida na Terra 124
3.2. Grandes Extinções 132
3.3. Reconstituições Paleogeográficas 136
Atividades 138
Mapa de conceitos 140
Em resumo… 140
Teste formativo 141

4 **Cartografia Geológica** 144

4.1. Cartas Topográficas e Geológicas 146
4.2. Técnicas de Cartografia Geológica 152
4.3. Aplicações da Cartografia Geológica em Atividades Humanas 154
Atividades 155
Mapa de conceitos 158
Em resumo… 158
Teste formativo 159

Índice

TEMA III: Georrecursos 160

1 **Recursos Geológicos** 162

1.1. Recursos 164
Atividades 165
Mapa de conceitos 166
Em resumo... 166
Teste formativo 167

2 **Recursos Minerais** 168

2.1. Recursos Metálicos 170
2.1.1. Génese dos Recursos Metálicos 172
2.2. Recursos Não Metálicos 174
2.3. Exploração Sustentada dos Recursos Minerais 176
Atividades 177
Mapa de conceitos 179
Em resumo... 179
Teste formativo 180

3 **Recursos Edáficos** 182

3.1. Formação do Solo 184
3.2. Exploração Sustentada dos Solos 187
Atividades 188
Mapa de conceitos 191
Em resumo... 191
Teste formativo 192

Salinas de Pedra de Lume. Ilha do Sal. Cratera vulcânica extinta, cuja base se encontra abaixo do nível médio do mar. A infiltração de água do mar através de fraturas permitiu a formação de um lago salgado natural que é explorado desde o final do século XVIII.

Índice

4 **Recursos Hídricos** 194

4.1. Ciclo Hidrológico 196
4.2. Águas Subterrâneas 198
4.3. Exploração Sustentada dos Recursos Hídricos 202
Atividades 204
Mapa de conceitos 208
Em resumo… 208
Teste formativo 209

5 **Recursos Energéticos** 212

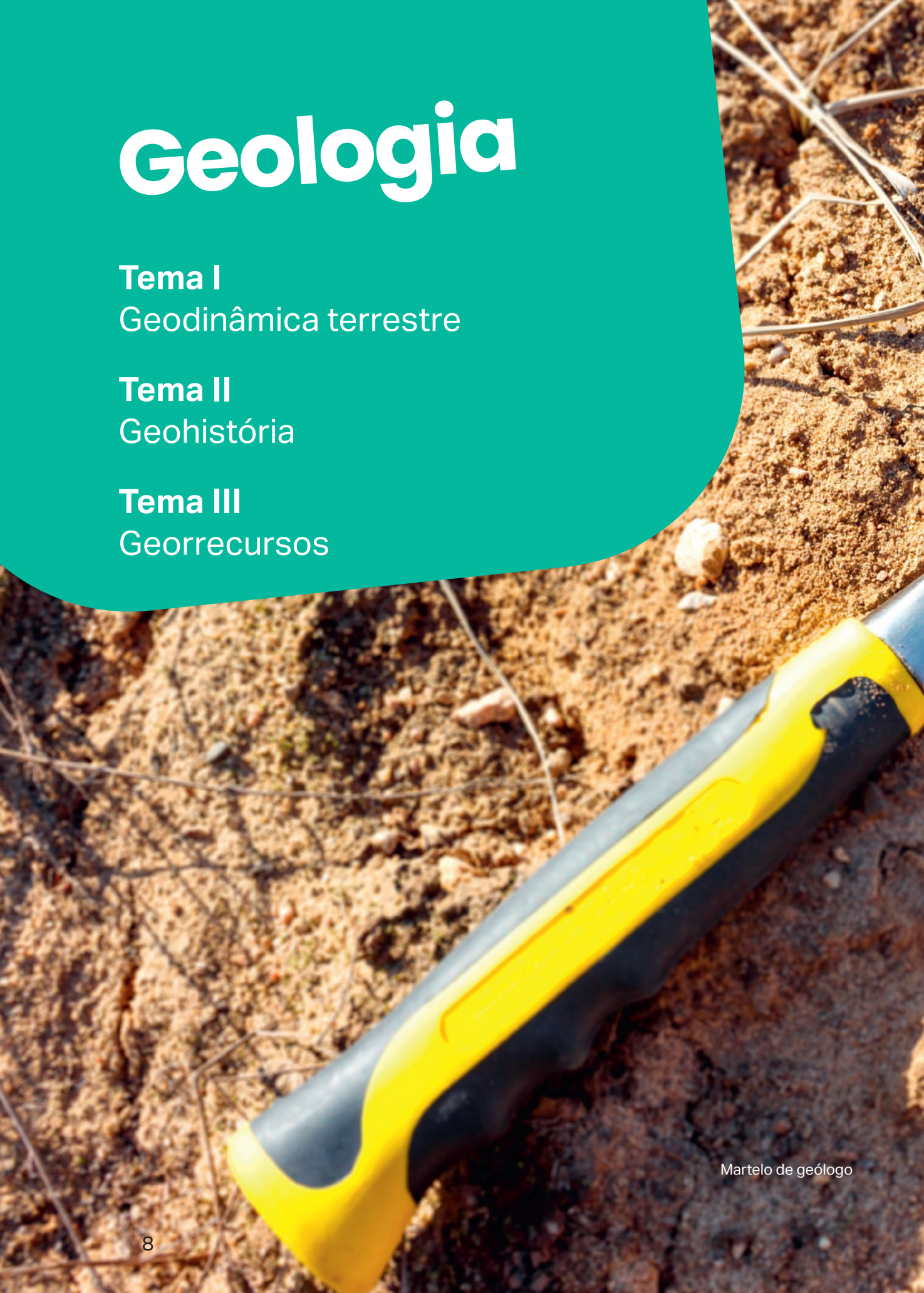
5.1. Combustíveis Fósseis 214
5.2. Energia Nuclear 218
5.3. Energia Geotérmica 218
5.4. Outras Fontes Energéticas 219
5.5. Exploração Sustentada dos Recursos Energéticos 222
Atividades 223
Mapa de conceitos 224
Em resumo… 224
Teste formativo 225
Atividades 227
Riscos Naturais 228
Atividades 230
Ser geólogo 231

Geologia

Tema I
Geodinâmica terrestre

Tema II
Geohistória

Tema III
Georrecursos



Martelo de geólogo



O martelo de geólogo, símbolo da Geologia e das Geociências, espelha a natureza investigativa e exploratória do trabalho de campo, sempre presente na vida dos geólogos. Contudo, o trabalho de um geólogo vai muito para além da recolha de amostras da Terra. A Geologia abrange uma ampla diversidade de domínios – da prospeção e gestão de recursos naturais à avaliação de riscos geológicos, à proteção e recuperação ambientais e ao estudo da evolução da Terra e das alterações climáticas. É uma ciência de inquestionável importância para o desenvolvimento sustentável e para o bem-estar das populações. Sem pensar e estudar a Terra e o Universo, os seus objetos e os seus processos, não se faz ciência. A Geologia convida a esse exercício de questionamento e reflexão sobre o Universo e as suas dinâmicas.

Teste diagnóstico

I

O arquipélago de Cabo Verde é um grupo de ilhas oceânicas situadas no Atlântico Central, que forma duas cadeias de ilhas que se estendem a noroeste e sudoeste. Várias das ilhas são consideradas vulcanicamente ativas, com erupções frequentes, como na ilha do Fogo. [...] As profundas câmaras magmáticas sob as ilhas de Santiago, Fogo, Brava e no monte submarino Cadamosto encontram-se entre 12 e 40 km, formando zonas de armazenamento do magma no sub-Moho.

Adaptado de Barker, Abigail & Morton, Elin & Silva, Sónia. (2021).
Magma Storage at Ocean Islands: Insights From Cape Verde. 10.1002/9781119564485.ch3.

1 **O alinhamento das cadeias de ilhas resulta... (Seleciona todas as opções que permitem uma resposta completa.)**

I. da existência de um *hotspot*.

II. do teor em sílica do magma.

III. da mobilidade da litosfera.

IV. da profundidade dos reservatórios magmáticos.

V. da idade das ilhas.

2 **Indica o nome da placa litosférica onde Cabo Verde se localiza.**

3 **Seleciona a opção que classifica o vulcanismo do arquipélago cabo-verdiano:**

(A) Vulcanismo intraplaca

(B) Vulcanismo interplaca

4 **Observa a figura 1, que representa os modelos (I e II) da estrutura interna da Terra.**

4.1. Identifica os modelos I e II.

4.2. Faz a legenda da figura.

4.3. Indica, justificando, o número da camada que, de acordo com o texto acima, melhor identifica a localização dos reservatórios de magma nas ilhas de Santiago, Fogo e Brava.

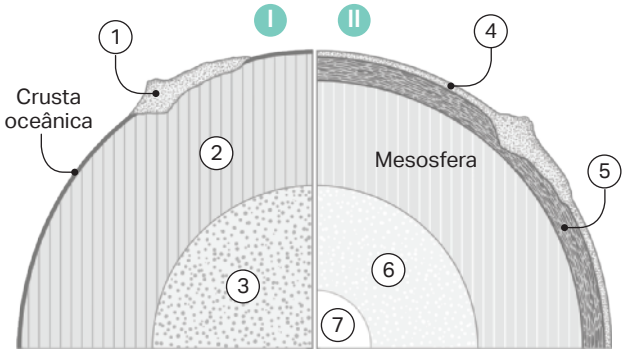


Fig. 1 Modelos da estrutura interna da Terra.

II

Considera uma linha reta imaginária que se estende do continente africano ao continente sul-americano, passando pelo arquipélago de Cabo Verde e não intersetando outros relevos emergentes.

1 Ordena corretamente, do continente africano para o continente sul-americano, as seguintes formas de relevo. Utiliza cada letra as vezes que considerares necessárias:

A. Planície abissal
B. Plataforma continental
C. Dorsal mesoatlântica
D. Talude continental
E. Ilhas vulcânicas

2 Considerando o trajeto mencionado na questão anterior, explica por que razão não se observam fossas oceânicas ao longo desse percurso.

III

As estruturas geológicas apresentadas correspondem a diferentes contextos tectónicos:

- Dorsal Mesoatlântica
- Vale do Rifte (África Oriental)
- Islândia
- Cordilheira dos Andes
- Japão (arco insular)
- Himalaias
- Falha de Santo André

1 Identifica, para cada uma das estruturas, o respetivo contexto geotectónico.

2 Descreve, de forma sucinta, o(s) processo(s) geológico(s) associado(s) à formação de cada estrutura geológica.

3 Considerando a dinâmica das placas litosféricas, apresenta uma explicação para o facto de o volume da Terra se manter aproximadamente constante.

Tema I
Geodinâmica terrestre

Subtema 1
Dinâmica da Litosfera

Subtema 2
Grandes Estruturas Geológicas



Imagem de satélite do arquipélago de Cabo Verde.



No final do Tema I, serás capaz de:

- Reconhecer que o conhecimento científico está em constante construção; compreender as causas e consequências da dinâmica da litosfera e identificar os processos de geodinâmica externa; relacionar a geodinâmica com a formação de grandes estruturas geológicas.

1



Sinclinal de Cobbler's Hole, País de Gales.



Dinâmica da Litosfera

1.1. Teoria da Tectónica de Placas e Dinâmica da Litosfera

1.2. Movimentação Vertical da Litosfera

1.3. Deformação das Rochas: Falhas e Dobras

1.3.1. Deformação das Rochas em Regime Frágil

1.3.2. Deformação das Rochas em Regime Dúctil

1.4. Geodinâmica Externa

A dinâmica interna da Terra manifesta-se através de fenómenos sísmicos, vulcânicos e tectónicos, cujas evidências podem ser interpretadas em diversos locais do planeta. A observação de afloramentos rochosos permite identificar deformações que nos ajudam a compreender o passado geológico da região e, consequentemente, a desvendar a história da Terra. A dinâmica externa da Terra modela as formas resultantes do dinamismo interno através de processos como a meteorização, a erosão, o transporte e a sedimentação.

O arquipélago de Cabo Verde, um verdadeiro laboratório de Geociências, constitui, tanto na sua origem como na sua evolução, uma dessas evidências.

1.1. Teoria da Tectónica de Placas e Dinâmica da Litosfera

Tectónica é um ramo da Geologia que estuda os movimentos e a deformação dos domínios externos dos planetas rochosos, resultantes da ação de processos geodinâmicos internos.

A palavra tectónica remete-nos, muitas vezes, para a imagem da hipótese da Deriva Continental, proposta por Alfred Wegener (1880–1930). Essa imagem conduz-nos numa viagem pela história da Terra: um planeta que, no final do Paleozoico, albergava um supercontinente que se teria fraturado, durante o Mesozoico, tendo os continentes resultantes dessa fraturação migrado até às posições atuais – encontrando-se ainda hoje em movimento.

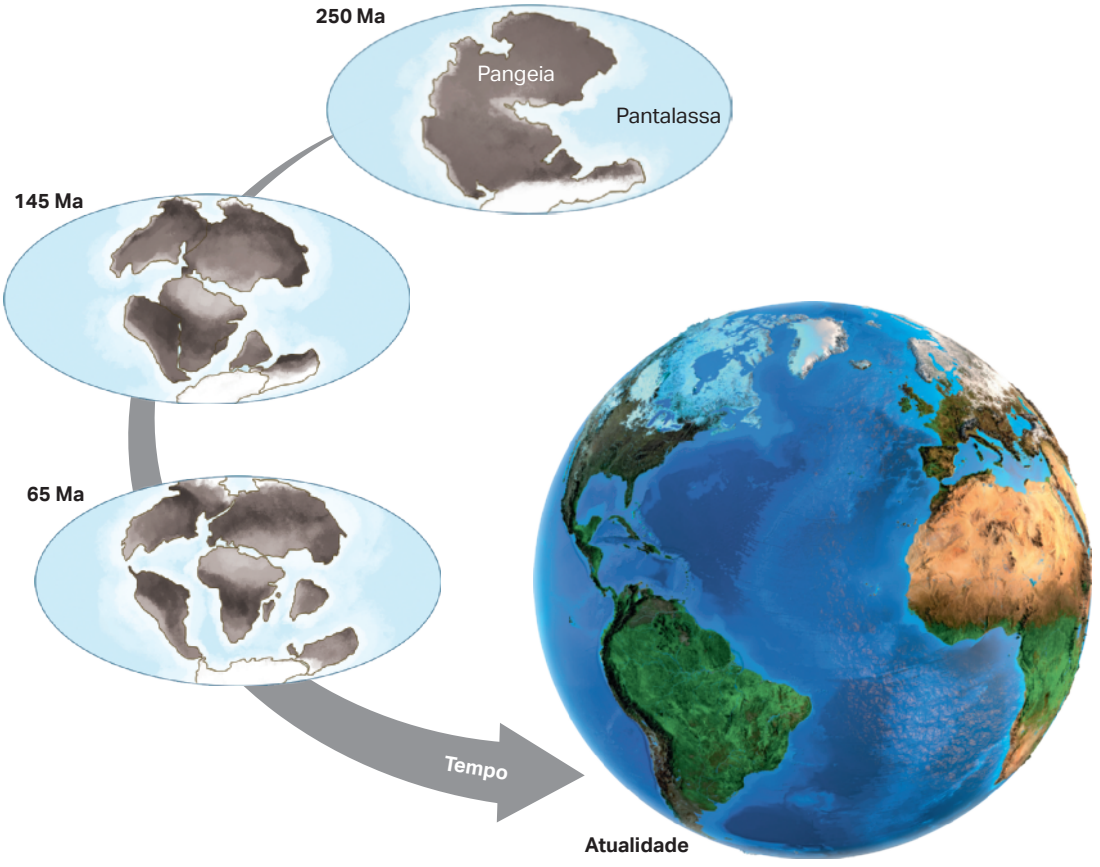


Fig. 1 Posição dos continentes nos últimos 250 Ma, de acordo com a hipótese da Deriva Continental de Wegener.

Wegener não conseguiu reunir evidências sobre processos geodinâmicos internos de forma a identificar a origem da energia necessária à fragmentação da Pangeia ou o mecanismo responsável pela deslocação dos continentes dela resultantes. No entanto, a publicação da sua obra – *A Origem dos Continentes e Oceanos* (1915) – marcou, na história da Ciência, o início de um importante debate sobre a mobilidade continental.

O desenvolvimento tecnológico nas décadas seguintes foi determinante para os avanços científicos em diversas áreas das Geociências.

Os trabalhos de cientistas como Andrija Mohorovičić, Beno Gutenberg e Inge Lehmann acerca da estrutura interna da Terra, de Marie Tharp, Harry Hess e Robert S. Dietz sobre a morfologia dos fundos oceânicos, de Frederick Vine e Drummond Matthews no paleomagnetismo e de Arthur Holmes na geotermia permitiram desenhar uma teoria assente no mobilismo das placas litosféricas – deslizando, convergindo ou afastando-se umas em relação às outras – a teoria da Tectónica de Placas.

Uma teoria unificadora

A teoria da Tectónica de Placas, publicada na década de 60 do século XX, integra o conhecimento dos processos geológicos, permitindo explicar a diversidade de rochas (Fig. 2a) no contexto do ciclo litológico, a formação de cadeias montanhosas (Fig. 2b), a abertura de bacias sedimentares (Fig. 2c), a ocorrência de vulcanismo (Fig. 2d), a distribuição de sismos ao longo de margens ativas (Fig. 2e) e a formação e evolução de continentes (Fig. 2f).

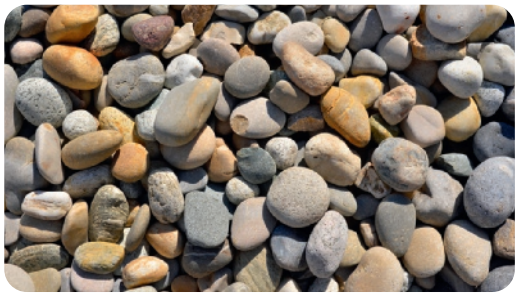


Fig. 2a Seixos de diferentes rochas.



Fig. 2b Toubkal, Marrocos.



Fig. 2c Vale do Rifte Este-Africano.



Fig. 2d Cumbre Vieja, La Palma, Canárias.

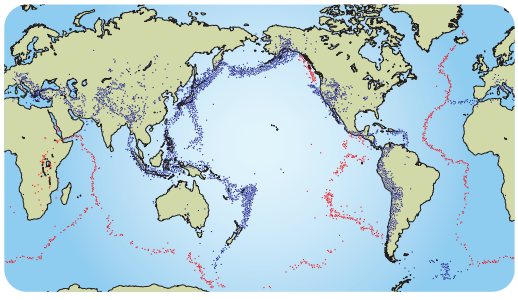


Fig. 2e Distribuição geográfica de sismos.



Fig. 2f Parque Nacional Port Campbell, Austrália.

Topografia dos fundos oceânicos

Após a Segunda Guerra Mundial, o desenvolvimento do sonar permitiu avanços significativos nos estudos batimétricos, conduzindo à identificação e caracterização das principais unidades estruturais dos fundos oceânicos. Completou-se uma vasta lacuna no mapa do relevo terrestre e evidenciou-se a sua relação com a dinâmica da litosfera.

Para além dos **cratões** – áreas tectonicamente estáveis constituídas por rochas magmáticas e metamórficas do Pré-Câmbrico (escudos), por vezes cobertas por sedimentos paleozoicos ou mais recentes (plataformas) – e das **cadeias orogénicas** associadas a limites convergentes, caracterizadas por deformação da crusta e intensa atividade metamórfica e, por vezes, ígnea, o mapa ficaria completo com o estudo das margens continentais (plataforma e talude continental), bem como **planícies abissais**, **fossas oceânicas**, **dorsais** e **riftes**.

A **plataforma continental** (Fig. 3A) ocupa uma largura média de 70 km em torno dos continentes e apresenta um declive inferior a 2°, não ultrapassando os 200 m de profundidade.

O **talude continental** (Fig. 3B) apresenta um declive médio de 5° e uma profundidade que varia entre os 200 e os 4000 m, marcando a transição entre a área continental e a oceânica.

As **planícies abissais** (Fig. 3C) são superfícies horizontais, a cerca de 4000 m de profundidade média, podendo apresentar cones vulcânicos que podem ou não formar ilhas ou arquipélagos como Cabo Verde. São revestidas por uma fina camada de sedimentos (argila, pequenas conchas e fitoplâncton morto), cuja espessura aumenta com o afastamento em relação à dorsal, evidenciando a expansão dos fundos oceânicos.

As **fossas oceânicas** (Fig. 3D) são as zonas mais profundas do planeta, associadas à subducção da litosfera, podendo ocorrer junto a margens continentais ou paralelamente a alguns arquipélagos.

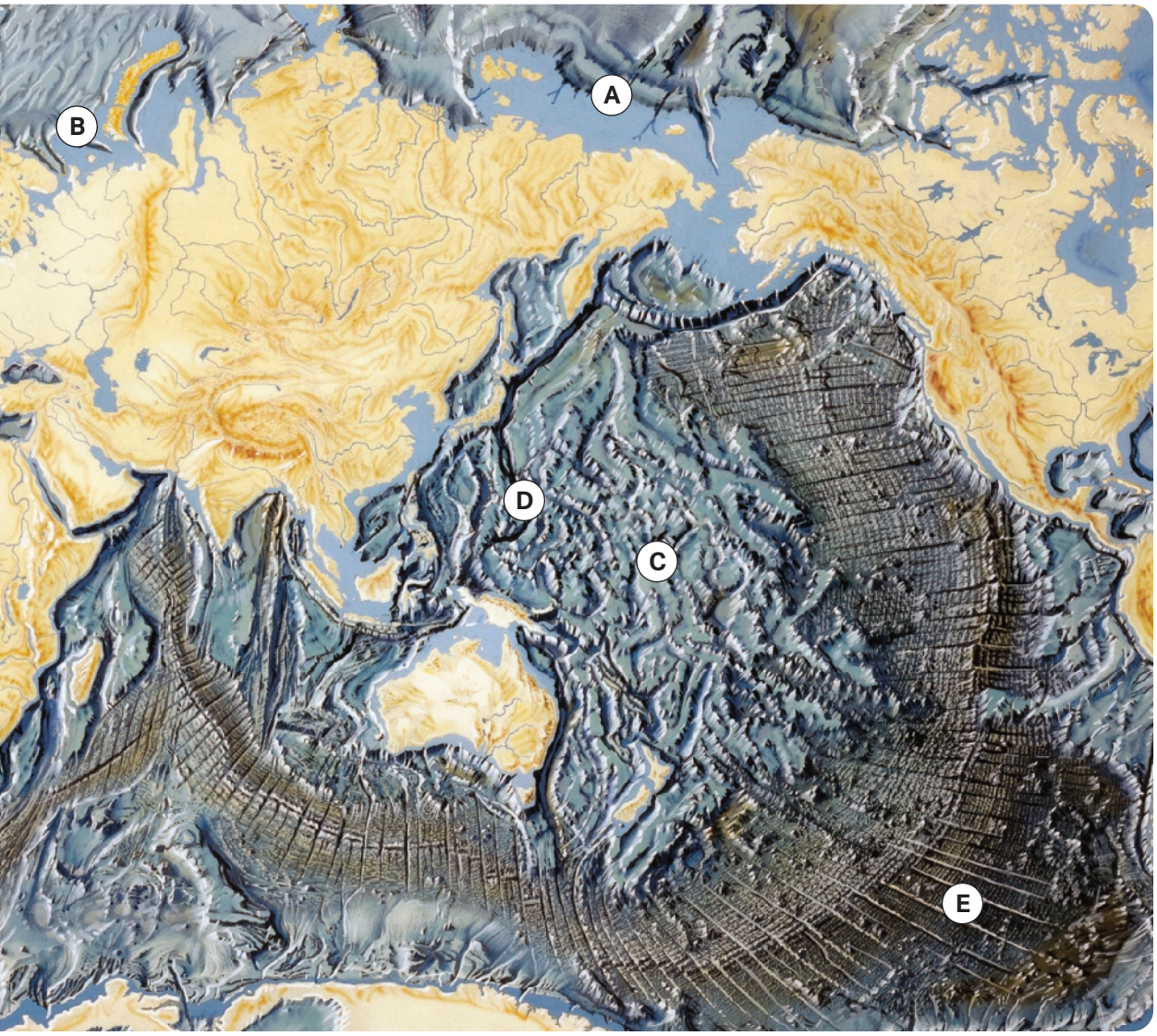
As **dorsais oceânicas** (Fig. 3E) são cordilheiras montanhosas no centro das quais se encontra uma depressão estreita e alongada – o rifte – por onde ascende magma, formando-se nova litosfera oceânica. Apresentam múltiplas fraturas longas, paralelas entre si e perpendiculares ao rifte.



Fig. 3 Morfologia dos fundos oceânicos e dos continentes.

Responde tu

1. Localiza Cabo Verde fazendo referência a duas unidades estruturais dos fundos oceânicos.
2. Explica o contributo do estudo dos sedimentos de cobertura das planícies abissais na discussão sobre a hipotética idade da crusta oceânica.
3. Justifica o aumento da espessura dos sedimentos das planícies abissais com o afastamento em relação à dorsal oceânica.
4. Indica a unidade estrutural onde será possível encontrar as rochas mais antigas do planeta.



Fonte: Alamy/Fotobanco.pt

Evidências paleomagnéticas

A cartografia mais detalhada dos fundos oceânicos não se limitou à observação e registo do relevo. Estudos paleomagnéticos permitiram observar a evolução do campo magnético terrestre em épocas geológicas passadas, permitindo concluir que ao longo do tempo, em intervalos irregulares, ocorreram inversões na sua orientação.

A circulação da liga de ferro em estado líquido que compõe o núcleo externo da Terra é responsável pela geração do campo magnético terrestre, fazendo com que este funcione como um íman gigante.

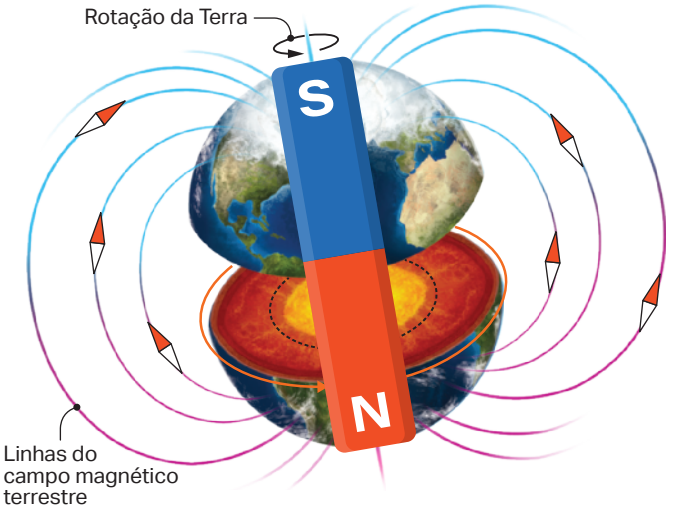


Fig. 4 Linhas de força do campo magnético terrestre na atualidade e a sua influência nas agulhas das bússolas.

A explicação para o funcionamento das bússolas reside neste facto. Estes instrumentos possuem agulhas que rodam livremente num eixo e se orientam segundo o campo magnético da Terra, indicando aproximadamente a direção do polo norte, uma vez que se paralelizam com as linhas de força do campo magnético gerado. Na atualidade, o polo norte da agulha das bússolas aponta para o norte geográfico, que coincide aproximadamente com o polo sul do campo magnético terrestre (Fig. 4).

Estes estudos são possíveis porque, durante a formação dos basaltos que constituem os fundos oceânicos, alguns minerais, ao cristalizar, comportam-se como pequenas agulhas de bússola, gravando a orientação do campo magnético existente nesse momento.



Fig. 5 Magnetite. Tal como outros minerais que contêm ferro na sua composição, preserva, durante a sua formação, o registo natural do campo magnético da Terra ao longo do tempo. Permite assim o estudo do paleomagnetismo e dos movimentos das placas litosféricas.

A cartografia das polaridades magnéticas de minerais dos basaltos dos fundos oceânicos permitiu observar uma disposição em bandas paralelamente aos riftes e de forma simétrica relativamente a esta estrutura.

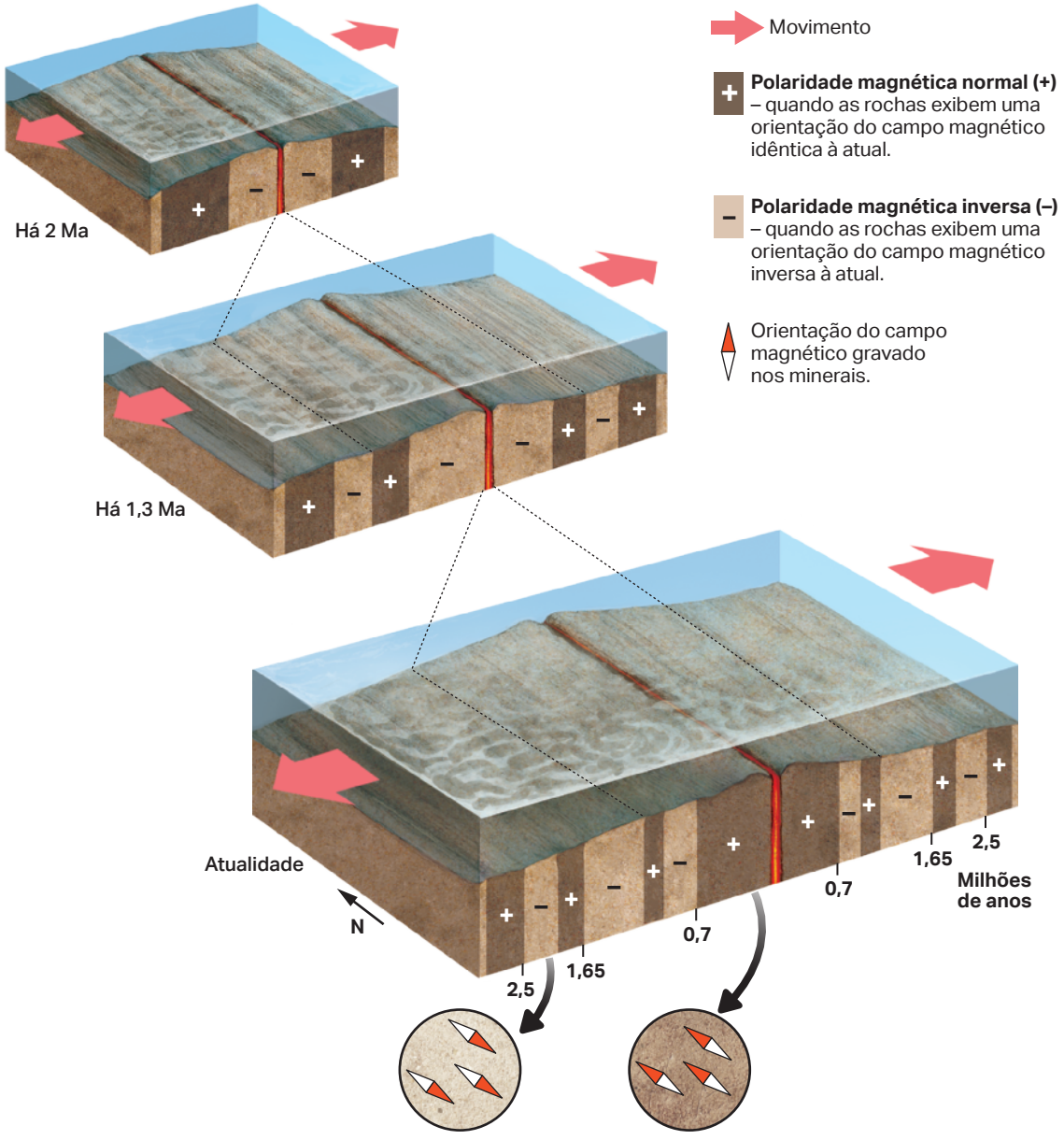


Fig. 6 Idade e registo paleomagnético das rochas do fundo oceânico.

Responde tu

1 Indica quantas inversões do campo magnético terrestre estão registadas no esquema da figura 6, que representa o intervalo de tempo entre 2,4 Ma e a atualidade.

Expansão dos fundos oceânicos

Manual Digital

Vídeo
Hipótese da expansão dos fundos oceânicos

Os dados da exploração dos oceanos, o paleomagnetismo e a idade das rochas revelaram padrões de simetria de um e de outro lado da dorsal:

- bandas de polaridade magnética normal (anomalia positiva) intercaladas por bandas de polaridade magnética inversa (anomalia negativa), produzindo um padrão de anomalias magnéticas marinhas;
- o aumento progressivo da idade das rochas dos fundos oceânicos do eixo da dorsal até às margens continentais.

No início da década de 60 do século XX, Harry Hess (1906–1969) apresentou uma proposta sobre a formação e destruição da crusta oceânica. A ideia é aqui reinterpretada (Fig. 7) à luz do conhecimento atual, que reconhece a litosfera – e não apenas a crusta – como a camada envolvida nos processos de expansão e subducção.

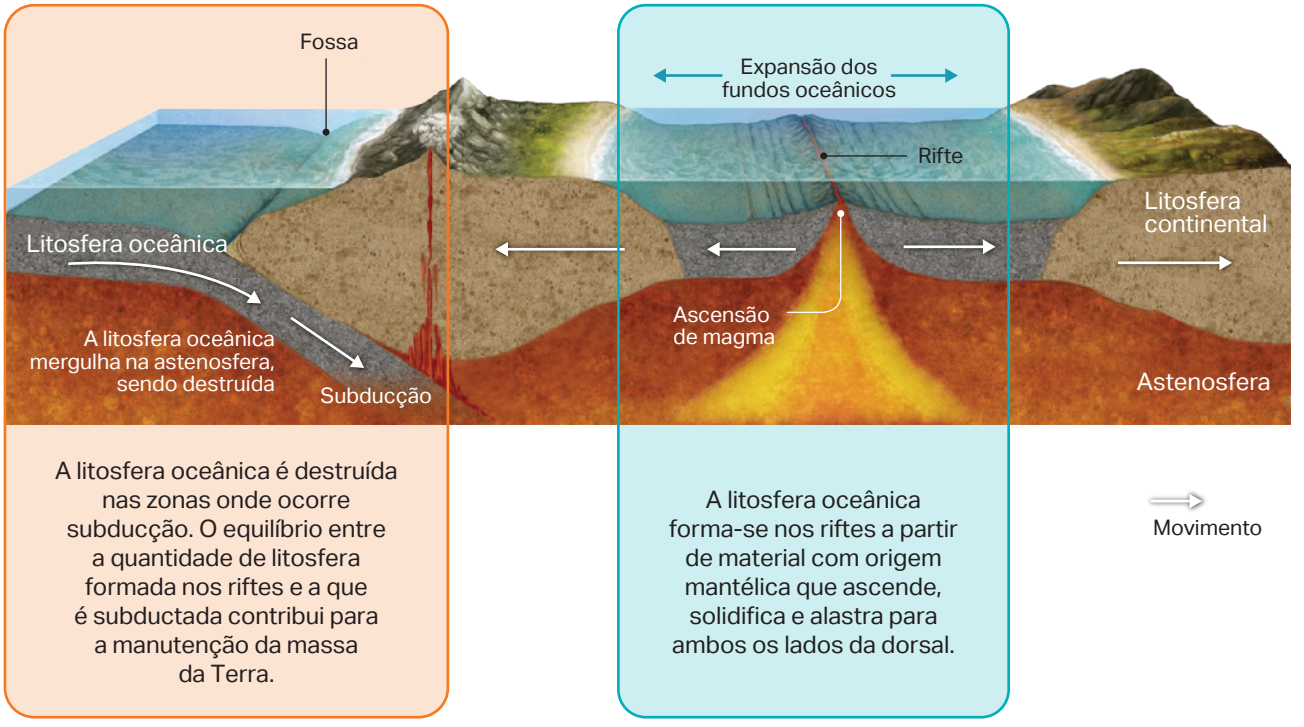


Fig. 7 Idade e registo paleomagnético das rochas do fundo oceânico.

Embora a hipótese da expansão dos fundos oceânicos, proposta por Hess, sugerisse que apenas a crusta se deslocava, esta veio, de certa forma, responder às questões levantadas pela hipótese da Deriva Continental de Wegener.

A constatação da produção de crusta oceânica (litosfera à luz dos atuais conhecimentos) no vale de rifte, do seu afastamento progressivo e da sua posterior destruição nas zonas de fossa oceânica abriu caminho para a formulação da teoria da Tectónica de Placas.

Estrutura interna da Terra

O conhecimento sobre a estrutura interna da Terra e os seus modelos geoquímico e geofísico, bem como as principais diferenças entre litosfera oceânica e litosfera continental, constituem pré-requisitos incontornáveis para a compreensão dos processos envolvidos no movimento das placas litosféricas.

Manual Digital
Atividade
Modelos da estrutura interna da Terra

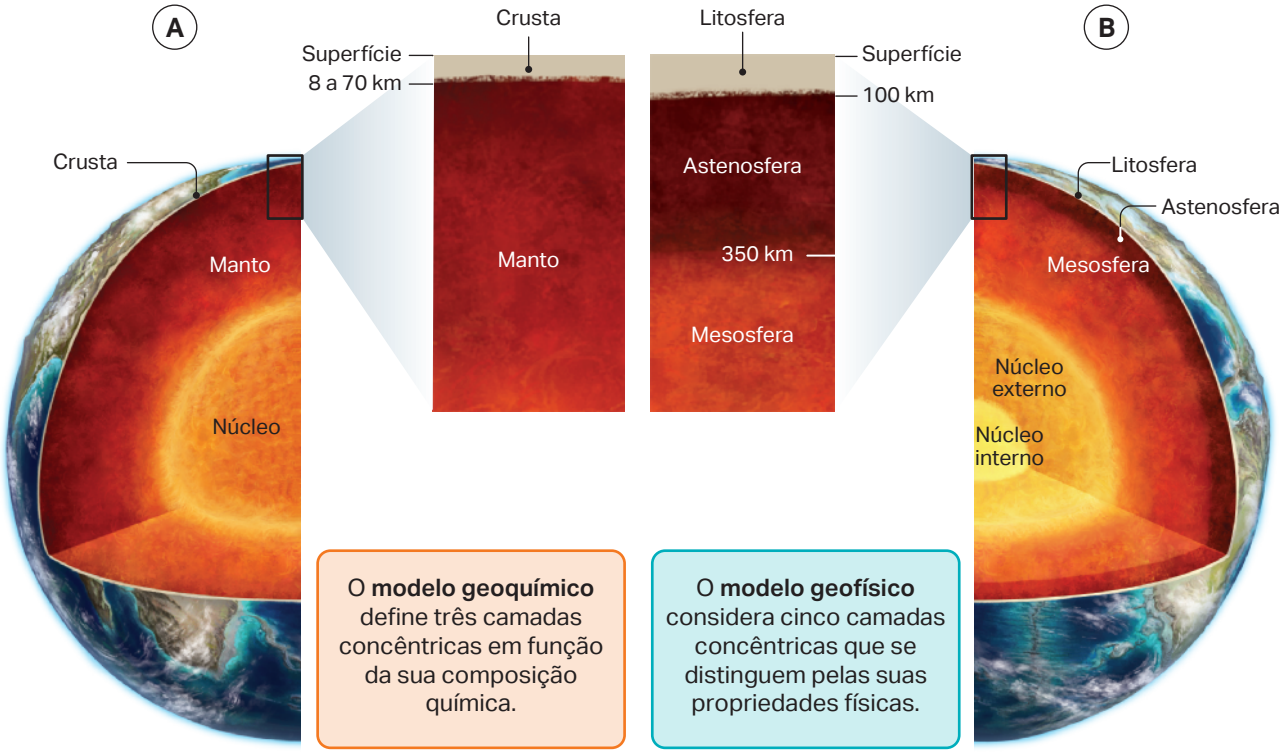


Fig. 8 Modelos geoquímico (A) e geofísico (B) da estrutura interna da Terra.

Modelo Geoquímico

A crusta terrestre – a camada mais externa e fina da Terra – é a fonte dos nossos recursos geológicos. A **crusta continental** apresenta uma espessura média de 35 a 40 km, podendo atingir os 70 km nas zonas montanhosas. É litologicamente heterogénea com predomínio de rochas com composição granítica, rica em sílica e alumínio (SiAl). A **crusta oceânica** é mais fina e mais homogénea do que a crusta continental – apresenta uma espessura média de 8 km e é constituída por rochas de composição basáltica, mais pobre em sílica e com magnésio (SiMg). Da base para o topo, é constituída por uma camada de gabro, basalto e uma cobertura de sedimentos com espessura inferior a 1 km.

O **manto** apresenta uma espessura de cerca de 2885 km, sendo a camada mais volumosa da Terra. É constituído por peridotito e dunito, ricos em ferro e magnésio (FeMg) e mais pobre em sílica do que as rochas da crusta.

O **núcleo** – a camada mais interna da Terra – é formado por uma liga de ferro e níquel (cerca de 80% de Fe). A região mais externa possui ainda pequenas quantidades de sulfuretos e oxigénio.

Modelo Geofísico

A **lifosfera** corresponde à crusta e à parte superior do manto, mais fria e mais rígida do que a restante, frequentemente designada de manto litosférico. Encontra-se no estado sólido, dividida em placas que apresentam mobilidade. Tem uma espessura média de 100 km, sendo mais fina nas regiões oceânicas e podendo atingir os 250 km na parte continental.

A **astenosfera** situa-se sob a litosfera, entre os 100 e os 350 km de profundidade. Embora se encontre no estado sólido, comporta-se, à escala dos milhões de anos, como um líquido muito viscoso. Na transição entre a litosfera e a astenosfera, os peridotitos mantélicos tornam-se mais dúcteis, permitindo o deslocamento das placas litosféricas sobrejacentes e desempenhando um papel importante na mobilidade da litosfera.

A **mesosfera** situa-se entre os 350 e os 2890 km de profundidade. Encontra-se no estado sólido apesar das elevadas temperaturas registadas a estas profundidades, pelo facto de as elevadas pressões aí registadas fazerem aumentar o ponto de fusão das rochas. Apresenta uma viscosidade superior à da astenosfera, comportando-se como um líquido de elevada viscosidade.

O **núcleo externo** localiza-se entre os 2890 e os 5510 km. As elevadas temperaturas que se fazem sentir a essa profundidade fundem os materiais, pelo que esta camada se encontra no estado líquido.

O **núcleo interno** localiza-se entre os 5150 e os 6371 km de profundidade. Nesta zona mais interior do planeta, o aumento da temperatura não é suficiente para fundir os materiais que constituem o núcleo interno, uma vez que as elevadas pressões aumentam o ponto de fusão, mantendo esta camada no estado sólido.

Aprende mais

Os continentes são parte integrante das placas litosféricas, pelo que se deslocam uns em relação aos outros, arrastados por estas, e não de forma independente como Wegener considerou na hipótese da Deriva Continental. Estando as camadas da Terra no estado sólido – à exceção do núcleo externo – esta mobilidade é possível apenas porque os movimentos ocorrem à escala do tempo geológico.
O comportamento das rochas depende, portanto, da escala de tempo considerada. Um exemplo comum desta característica pode ser observado em placas de mármore utilizadas em bancos ou mesas de jardim – sendo um material sólido, na escala temporal de um século, estas placas podem deformar-se tornando-se abauladas.



Fonte: Christopher Busta-Peck em https://www.hmdb.org/

Existem placas litosféricas constituídas apenas por litosfera oceânica – como a placa do Pacífico – e outras constituídas por litosfera oceânica e continental – como a placa Núbia. As placas que contêm litosfera continental tendem a mover-se a uma velocidade inferior, ao contrário das placas com maior extensão de litosfera oceânica, cuja maior velocidade está relacionada com a ação de forças associadas à subducção. As diferenças entre a litosfera oceânica e a litosfera continental, nomeadamente na espessura, composição e densidade, bem como o tipo de forças que atuam em cada fronteira, determinam o comportamento das placas litosféricas, sendo a litosfera oceânica, mais fina e mais densa, sujeita a subducção em fronteiras convergentes, ao contrário da continental. A compreensão destas diferenças pode ser feita através da análise comparativa das duas litosferas de acordo com os modelos geoquímico e geofísico.

Manual Digital
Atividade
Teoria da Tectónica de Placas

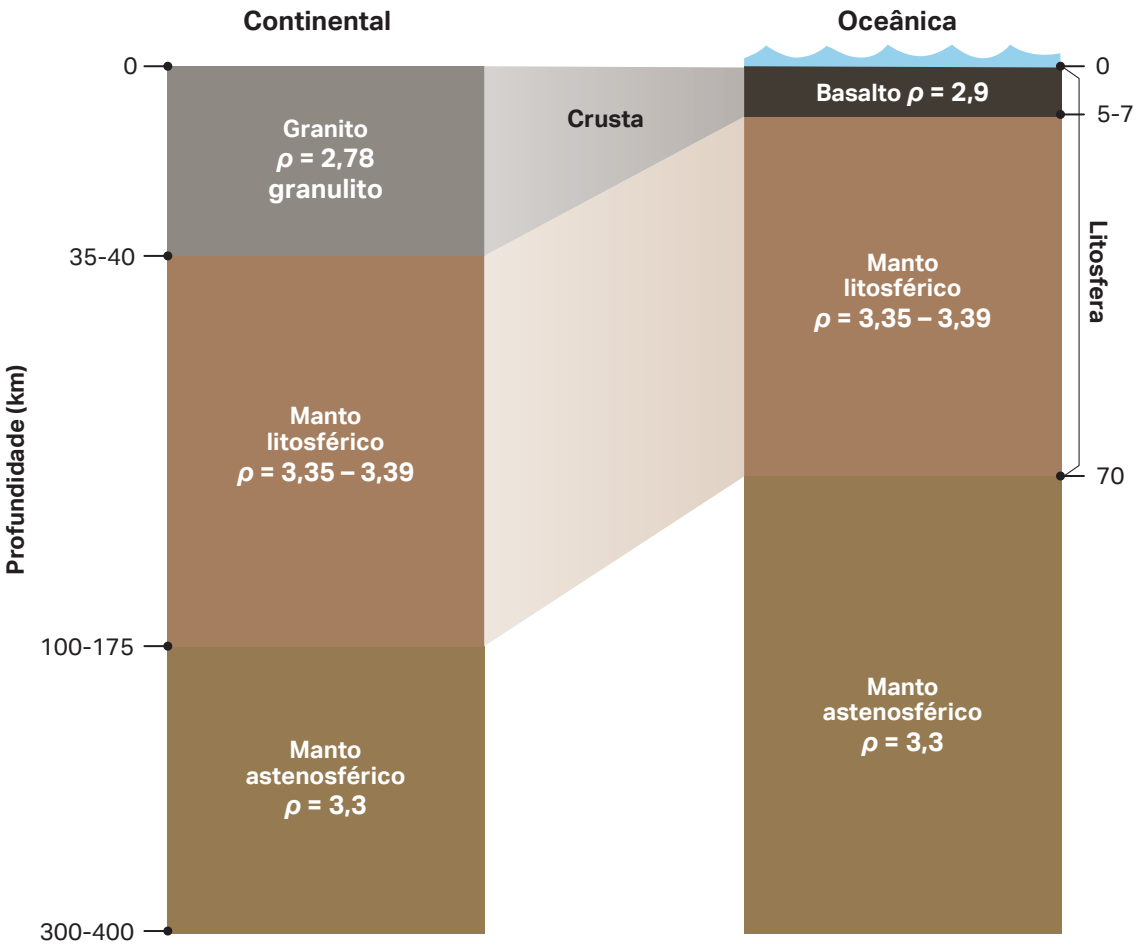


Fig. 9 Relação entre os zonamentos composicional e físico das áreas continentais e oceânicas das camadas mais superficiais da Terra, destacam-se as diferenças entre a litosfera continental e a litosfera oceânica ao nível da composição, espessura e densidade.

Fonte: Dias, R, (2023). Dos Mapas Estáticos a uma Geologia de Portugal Dinâmica, Centro Ciência Viva de Estremoz, 540p.

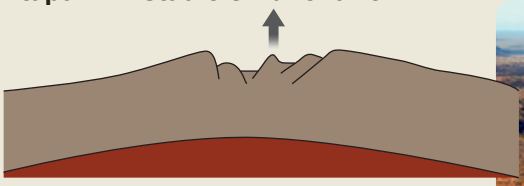
Ciclo de Wilson

Manual Digital

Vídeo
Os supercontinentes e o Ciclo de Wilson

O mobilismo das placas litosféricas traduz-se numa contínua transformação da superfície terrestre, numa ciclicidade reconhecida por Tuzo Wilson (1908-1983) na década de 60 do século XX. O Ciclo de Wilson apresenta a sucessão de processos responsáveis pela abertura e fecho dos oceanos. Embora o tempo geológico não seja compatível com a observação direta dessa sequência, a Terra oferece-nos, no presente, exemplos que ilustram as principais etapas da formação e expansão dos oceanos. É o caso do Vale de Rifte Este-Africano (etapa A), do mar Vermelho (etapa B) e do oceano Atlântico (etapa C).

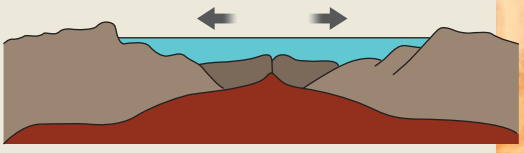
Etapa A – Estádio embrionário





- Estiramento crustal horizontal;
- Sistema de fraturas e falhas;
- Instalação de um rifte intracontinental.

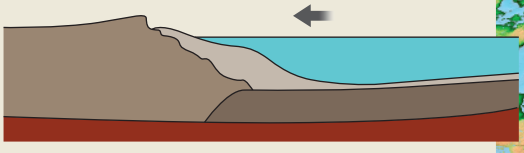
Etapa B – Estádio juvenil





- Crusta oceânica separa dois blocos de crusta continental;
- Mares pouco profundos;
- Rifte oceânico.

Etapa C – Estádio maduro

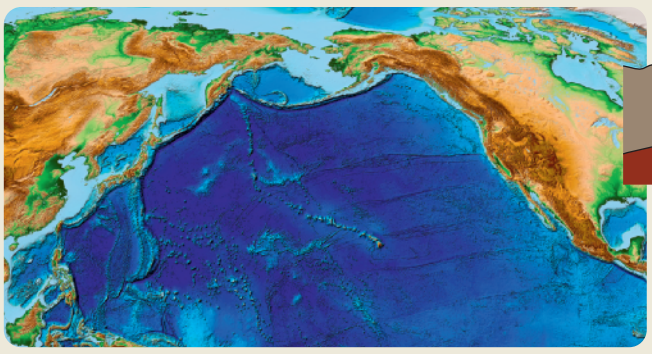




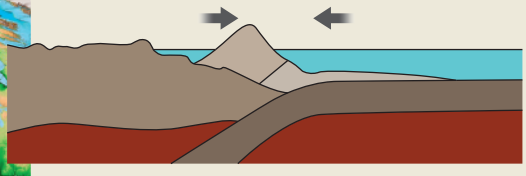
- Expansão dos fundos oceânicos;
- Bacia oceânica com margens continentais passivas.

A expansão ocorre até ao início da fase de encurtamento, definida pela convergência de placas com destruição de crusta oceânica e consequente fecho do oceano.

No contexto da atual distribuição das placas tectónicas, o oceano Pacífico (etapa D), o mar Mediterrâneo (etapa E) e os Himalaias (etapa F) ilustram os principais acontecimentos associados ao fecho dos oceanos, que culminam com a formação de montanhas.



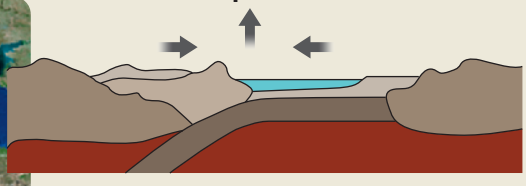
Etapa D – Estádio regressivo



- Transição de margens passivas para margens ativas;
- Desenvolvimento de zonas de subducção;
- Vulcanismo e arcos insulares.



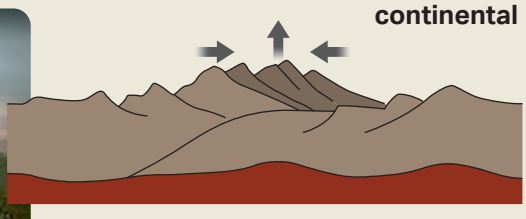
Etapa E – Estádio terminal



- O processo de subducção sobrepõe-se ao de *rifting*;
- Estreitamento da bacia oceânica;
- Formação de cadeias montanhosas jovens.



Etapa F – Estádio de orogenia continental



- Colisão continental;
- Orogenia.

Fig. 10 Etapas (A a F) do Ciclo de Wilson.

Evidências da expansão do oceano Atlântico

Uma viagem pelo Atlântico e pelas suas margens permite observar evidências da fase extensional do Ciclo de Wilson. Encontrando-se o Atlântico em expansão, ainda não é possível encontrar evidências de estruturas resultantes da fase de convergência, contudo, a região a SW de Portugal continental tem merecido alguma atenção.

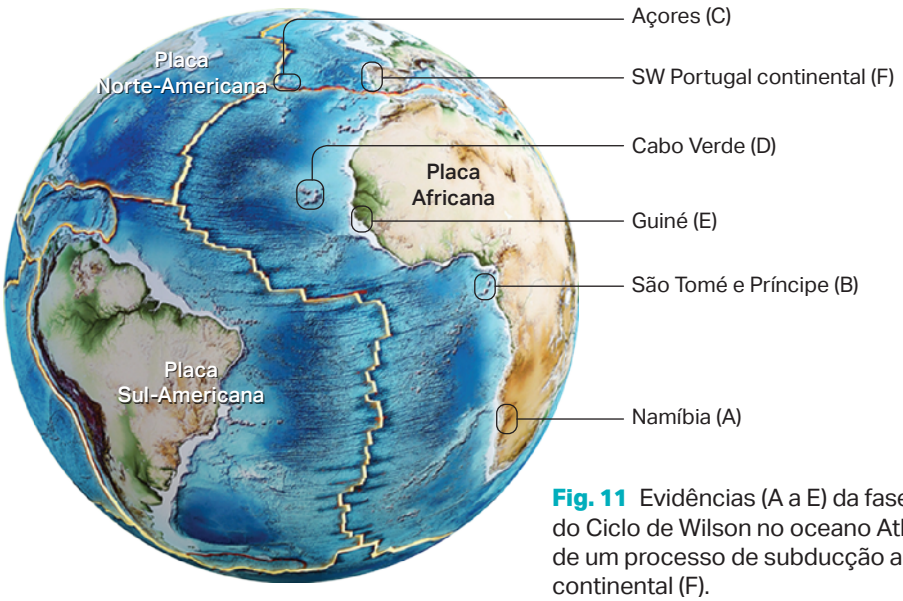


Fig. 11 Evidências (A a E) da fase extensional do Ciclo de Wilson no oceano Atlântico e do início de um processo de subducção a SW de Portugal continental (F).

(A) A Grande Província Ígnea do Paraná-Etendeka compreende uma sequência de basaltos e rochas silicatadas do Cretácico Inferior, associados a plumas mantélicas que antecederam a rotura e separação entre a África e a América do Sul.



(B) As ilhas de São Tomé e Príncipe formaram-se por vulcanismo intraplaca, alimentado por magma cuja ascensão se relaciona com a existência de uma crusta mais fina associada a uma tentativa abortada de rifting (aulacógeno) durante a abertura do Atlântico Sul.





(C) O arquipélago dos Açores localiza-se na fronteira entre a placa Norte-Americana e as placas Eurasiática e Núbia. A junção tripla dos Açores resulta numa complexidade e variedade de processos geológicos de grande interesse. O vulcão do Pico, na ilha com o mesmo nome, constitui o ponto de maior altitude da Dorsal Mesoatlântica (2351 m).



(D) O arquipélago de Cabo Verde formou-se entre o rifte da Dorsal Mesoatlântica e as margens continentais passivas do oceano Atlântico. A acumulação de material eruptivo ocorreu durante a fase expansional do Ciclo de Wilson, em resultado de fenómenos de magmatismo associados a um mecanismo do tipo *hotspot* oceânico.



(E) A costa guineense constitui um dos múltiplos exemplos das margens passivas do Atlântico. Formada durante a abertura do Atlântico Sul, constitui uma área tectonicamente estável.

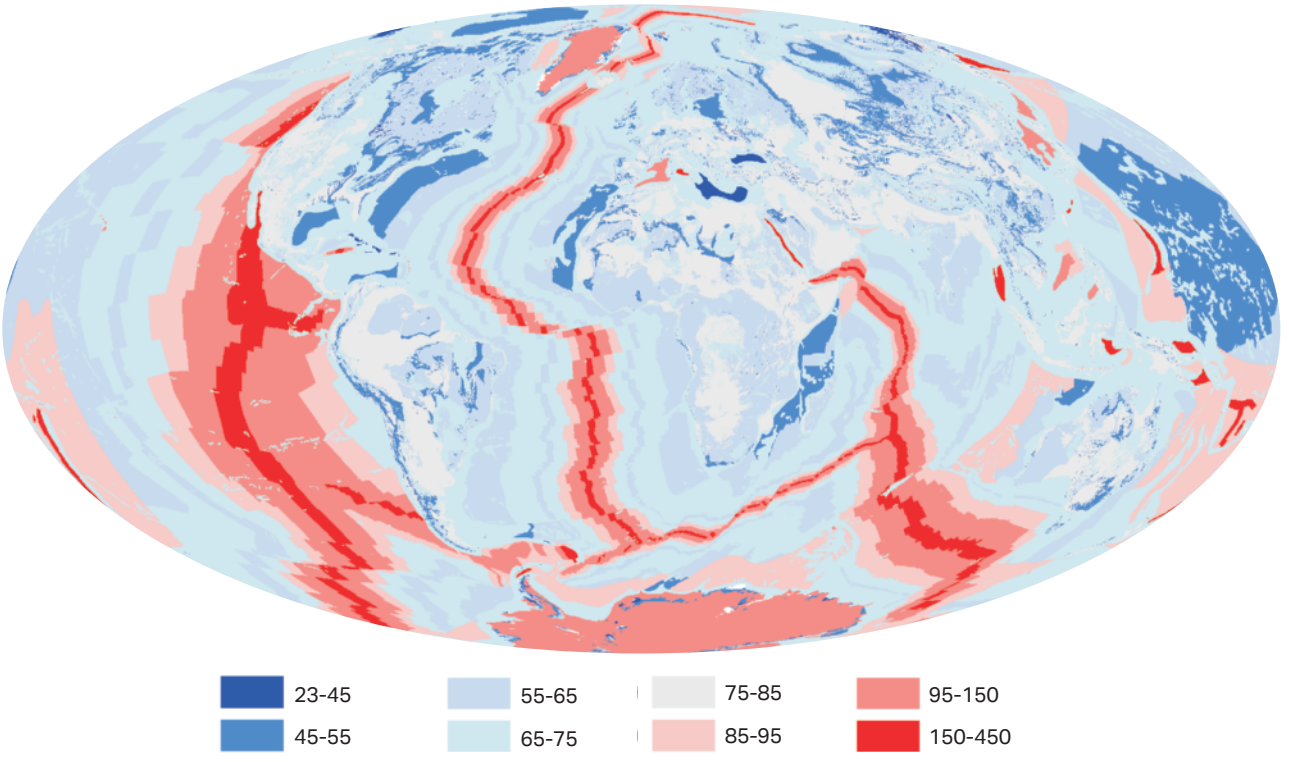


© 2026 NASA, dados do mapa: © 2026 Google, Inst. Geogr. Nacional

(F) O sudoeste de Portugal continental, uma zona aparentemente estável, tem sido palco de focos sísmicos de grande magnitude. Estudos permitiram detetar a presença dos primórdios da formação de uma margem ativa – o início do processo de subducção.

Geotermia

A energia térmica da Terra provém, essencialmente, dos processos relacionados com a formação do planeta e do decaimento de elementos radioativos. A transferência de calor das zonas mais quentes do interior da Terra para zonas mais frias ocorre por processos de condução e de convecção. A convecção implica, também, movimentação relativa de massa entre os locais mais quentes e os mais frios. Embora a temperatura dos materiais terrestres aumente em profundidade até cerca de 6500 °C, o **gradiente geotérmico** (expresso em °C/km) é mais elevado nas zonas mais superficiais do que nas zonas mais profundas do planeta. O **fluxo térmico** – quantidade de energia calorífica libertada por unidade de superfície e por unidade de tempo – também não apresenta uma distribuição homogénea (ver figura 12). O número de metros que é necessário percorrer em profundidade para que a temperatura aumente 1 °C – **grau geotérmico** – é, assim, diferente de região para região, sendo menor nas zonas em que o fluxo térmico é maior.



Davies *et al.* (2010), DOI: 10.5194/se-1-5-2010

Fig. 12 Valores de fluxo térmico na Terra ($mW.m^{-2}$).

Responde tu

1. Relaciona a distribuição do fluxo térmico global com a organização da litosfera em placas.

Os movimentos convectivos de circulação lenta de materiais no sentido ascendente – de materiais quentes e menos densos para regiões mais frias, em consequência da redução da densidade devido ao calor – são compensados pelo movimento no sentido descendente de materiais mais frios e, por isso, mais densos. Este movimento descendente de litosfera oceânica mais antiga, mais fria e mais densa será o principal motor da mobilidade litosférica e das correntes de convecção, sendo que as placas litosféricas corresponderão à componente mais fria das correntes convectivas (ver figura 13).

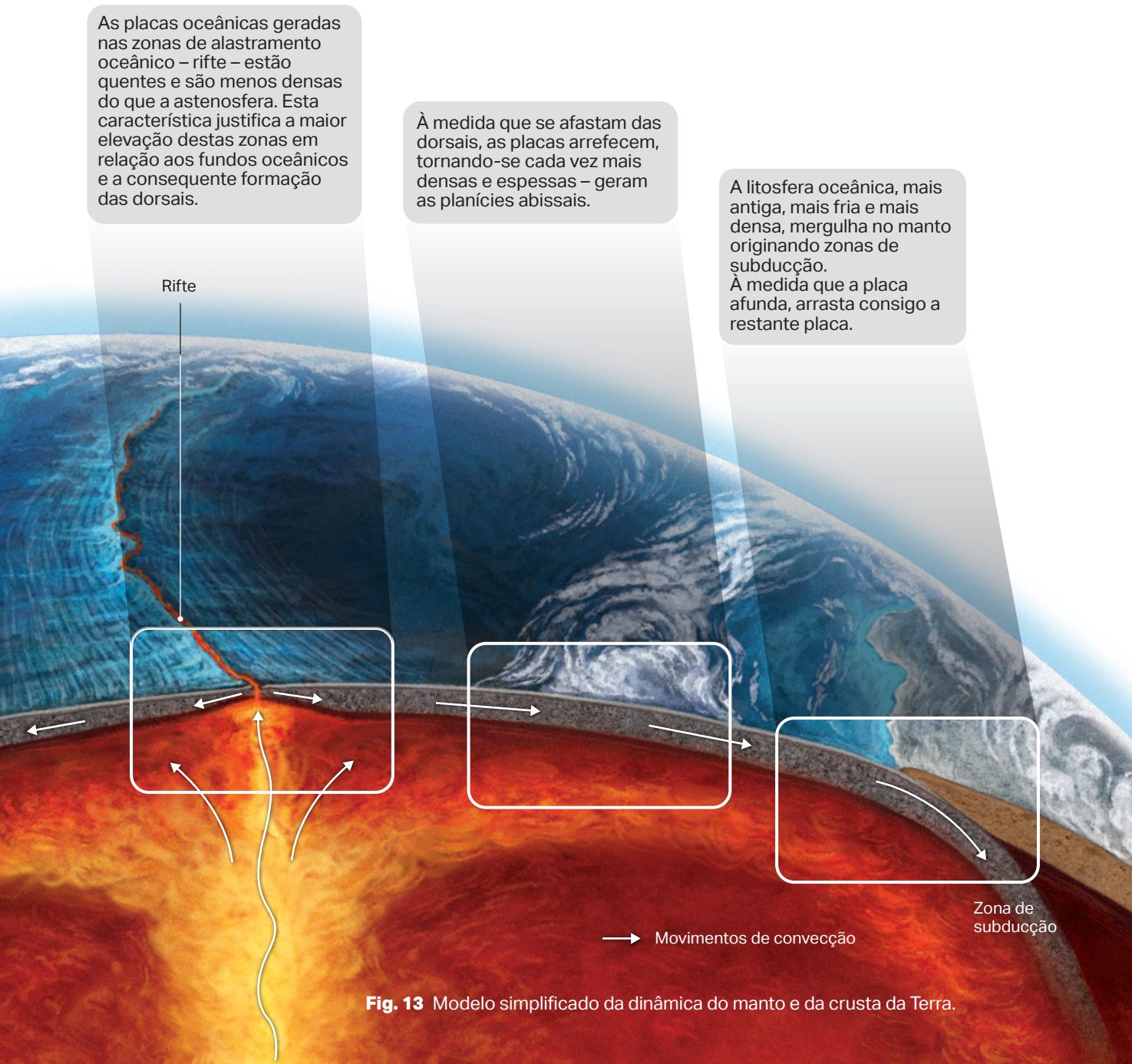
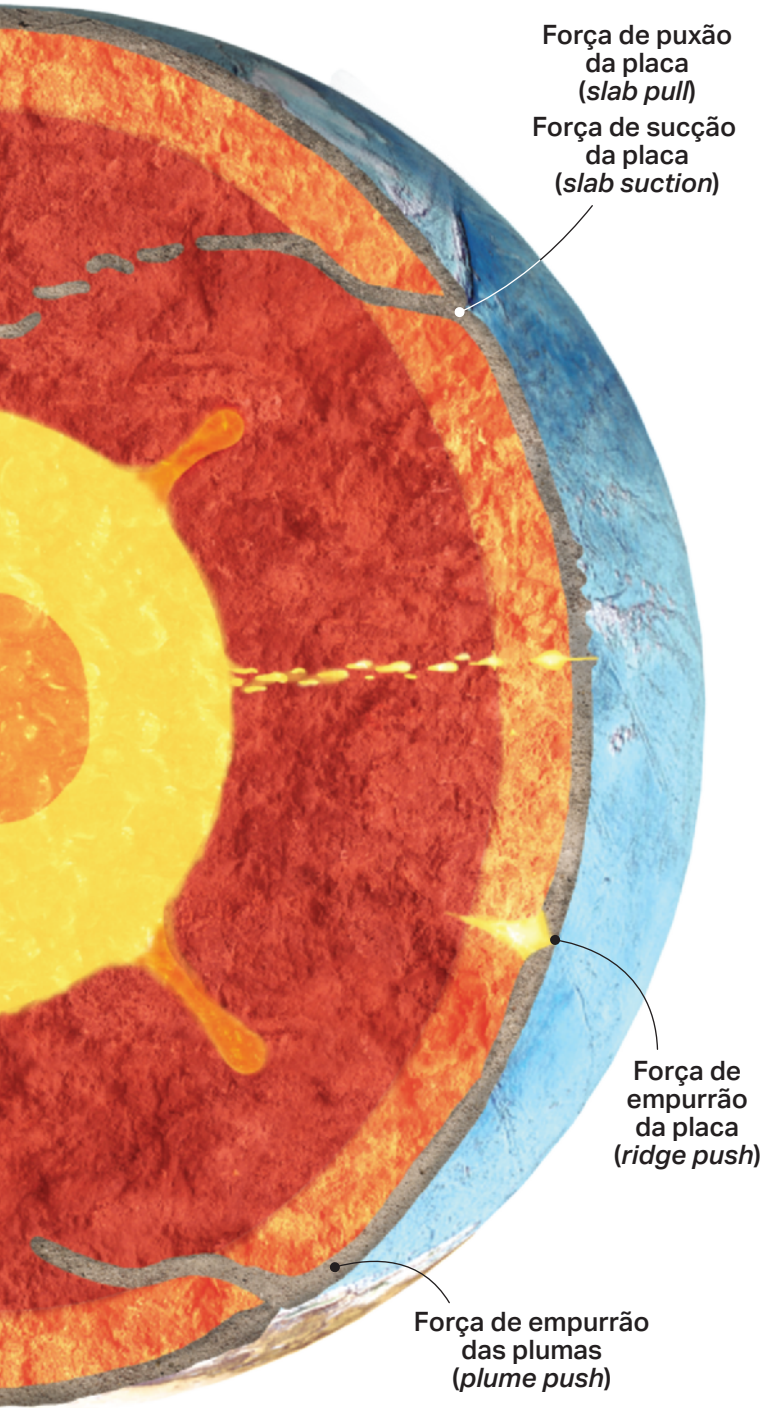


Fig. 13 Modelo simplificado da dinâmica do manto e da crusta da Terra.

Forças envolvidas na mobilidade da litosfera

As placas litosféricas têm um papel ativo na sua movimentação, sendo as forças que nelas atuam o principal motor desta mobilidade: força de empurrão da placa (*ridge push*), força de puxão da placa (*slab pull*), força de sucção da placa (*slab suction*) e força de empurrão das plumas (*plume push*) (ver figura 14).



A força de puxão de placa - ***slab pull*** - ocorre quando uma placa litosférica fria e densa mergulha no manto, arrastando o restante da placa. Representa cerca de 90% da força que impulsiona a tectónica de placas.
Durante a subducção, o afundamento da placa pode deslocar a fossa em direção à placa que subducta, gerando uma força de sucção - ***slab suction*** - que atua também sobre a placa cavalgante.

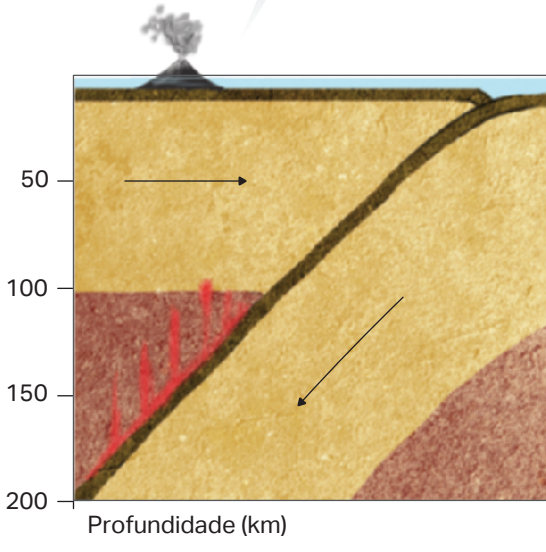


Fig. 14 Esquema representativo dos processos e forças do manto.



O vulcão Pico do Fogo é alimentado por magma associado ao *hotspot* de Cabo Verde.

Uma pluma mantélica forte pode alterar a topografia do fundo oceânico e gerar forças - ***plume push*** - que condicionam as placas a deslocarem-se com maior ou menor velocidade.

A força de puxão de placas gera tensão com consequente estiramento na litosfera, reduzindo a pressão no manto e promovendo a sua ascensão, fusão parcial e formação de magma. A nova litosfera, quente e menos densa, eleva-se isostaticamente formando dorsais oceânicas, de onde as placas se deslocam por ação gravítica. Esta força - ***ridge push*** - representa cerca de 10% da energia que impulsiona a tectónica de placas.

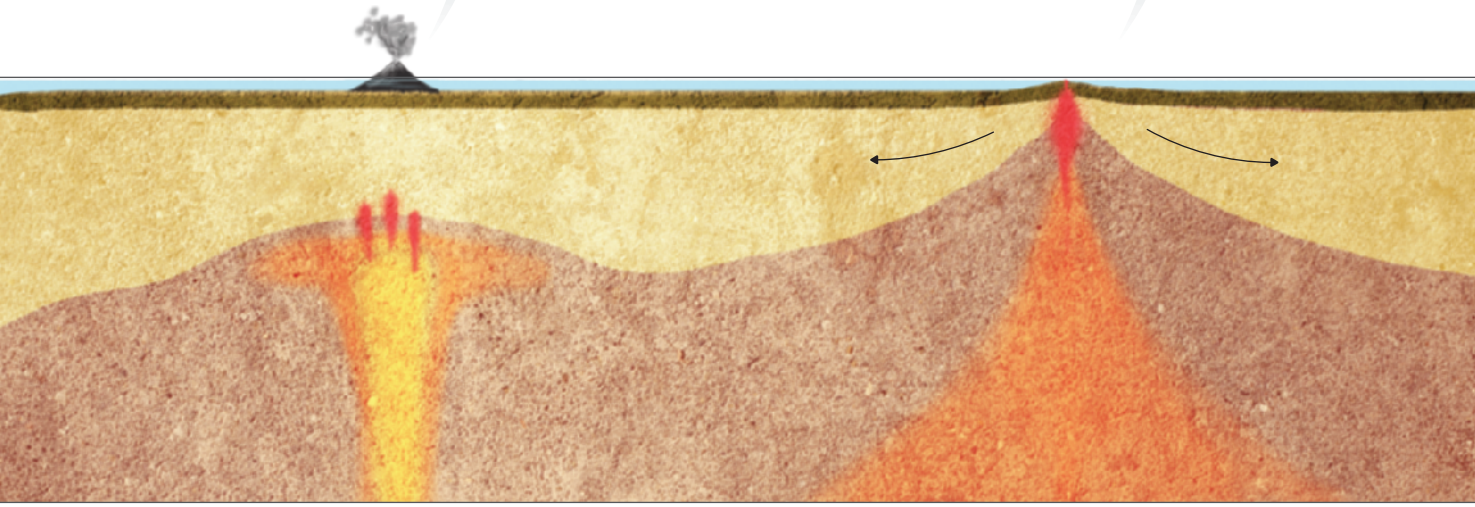


Fig. 15 Diferentes contextos tectónicos e geodinâmicos do manto e da crusta terrestres.

Cabo Verde e outros arquipélagos intraplaca

A maioria dos episódios vulcânicos ocorre em zonas tectonicamente instáveis da litosfera. Cabo Verde, contudo, é um arquipélago de origem vulcânica que não se formou numa fronteira entre placas. Os seus vulcões – tal como os do Havai, Galápagos, Canárias e Reunião, entre outros – tiveram origem em um *hotspot*. Estes pontos quentes constituem zonas do planeta onde ocorre vulcanismo independentemente da tectónica de placas. Resultam da ascensão de material mais quente e menos denso do manto, por vezes proveniente da fronteira manto-núcleo, sob a forma de colunas – plumas mantélicas –, que ao sofrerem fusão parcial originam atividade vulcânica. As novas ilhas formam-se num ponto quente, que se mantém fixo, e vão-se afastando deste, lentamente, no sentido de deslocação da placa onde se instalaram.

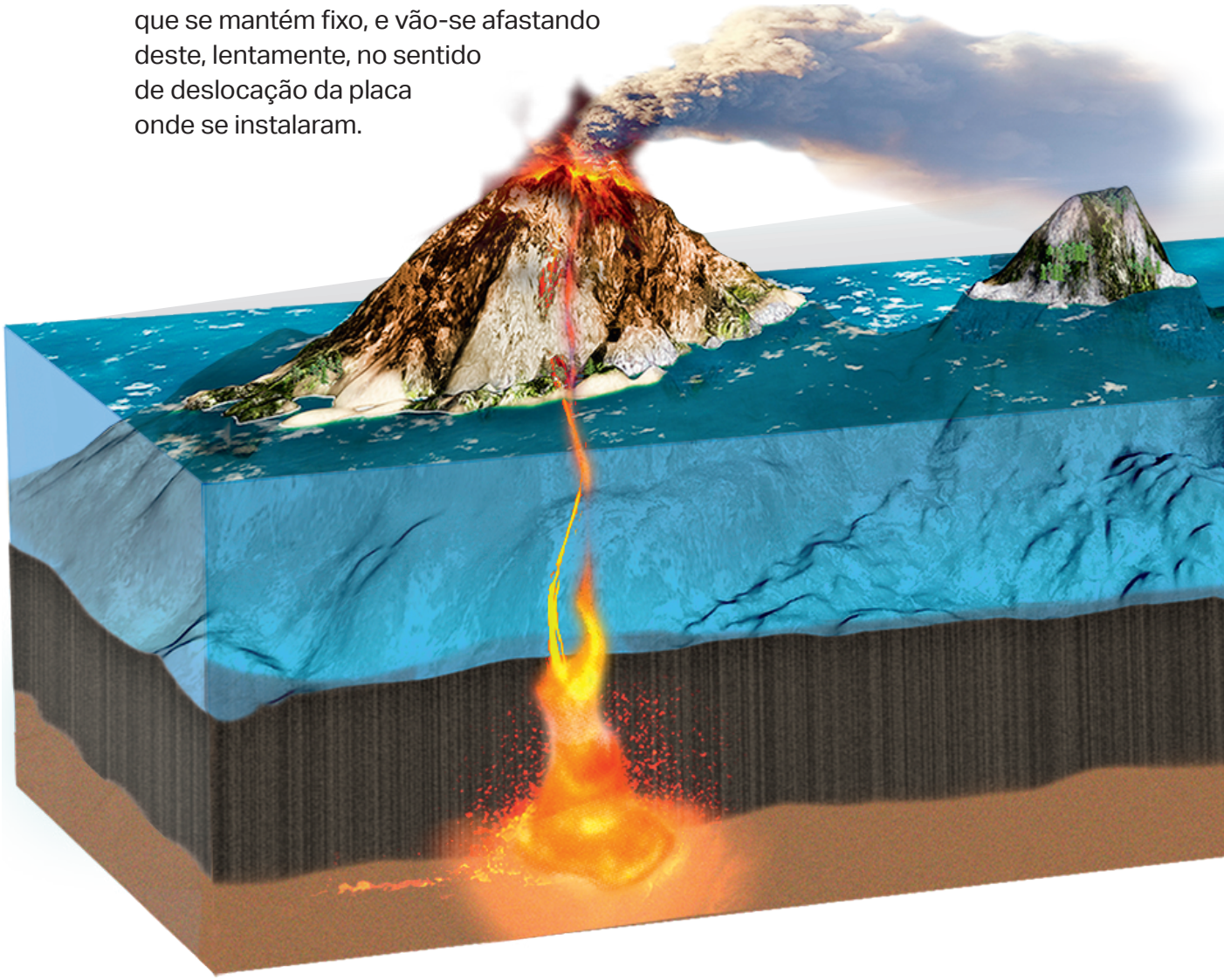
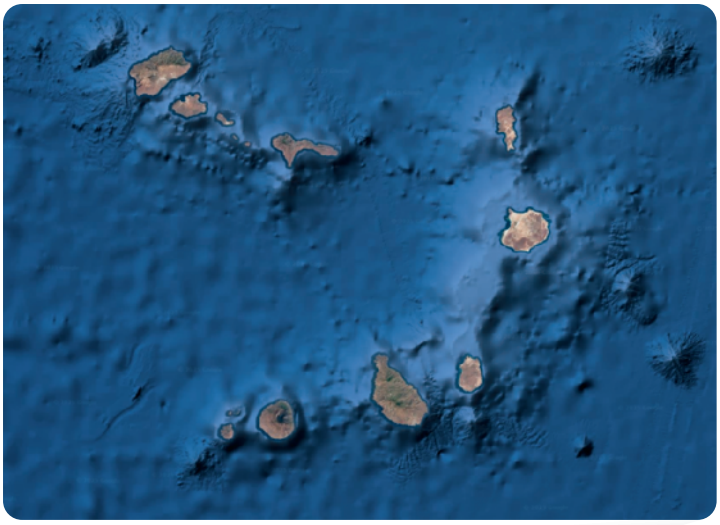
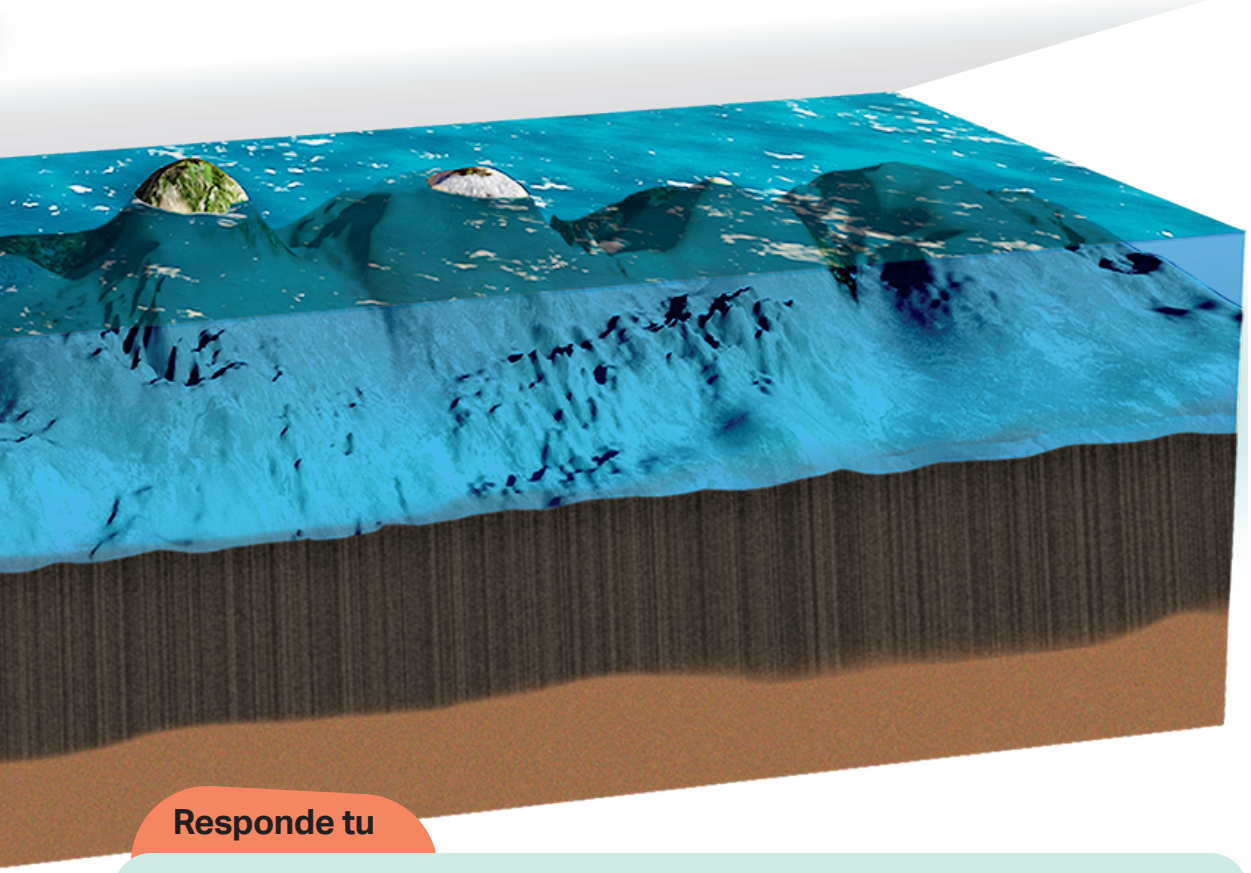


Fig. 16 Esquema representativo da formação de um arquipélago por vulcanismo intraplaca.

Aprende mais

Os montes submarinos de Cabo Verde são estruturas vulcânicas com importante dimensão ecológica e socioeconómica, cuja gestão sustentável exige o conhecimento integrado da geodinâmica, da oceanografia e das comunidades biológicas.



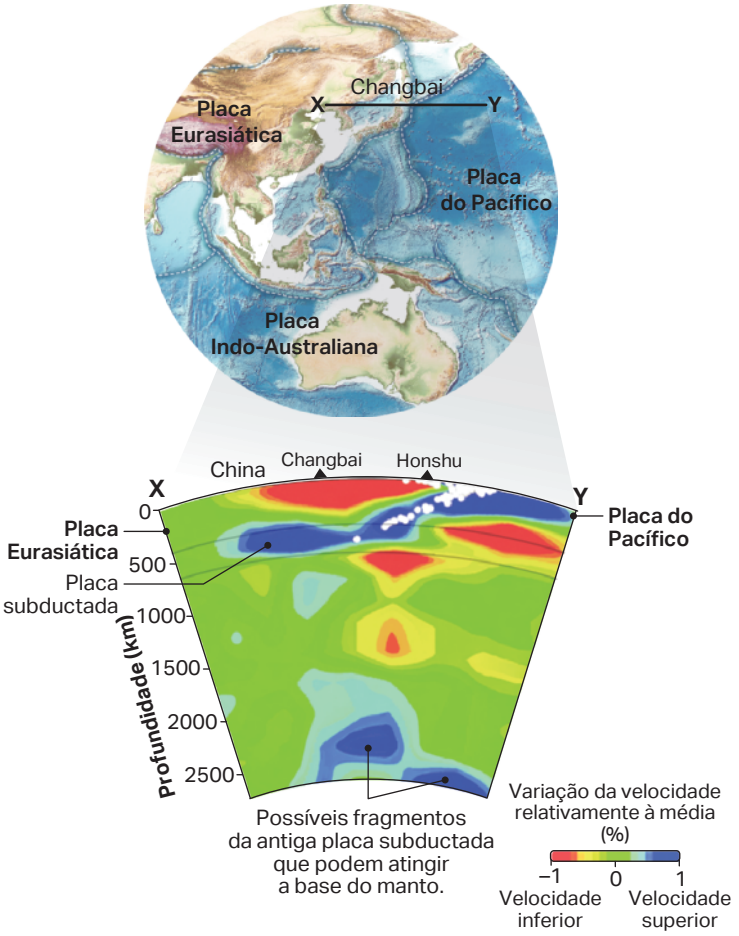


Responde tu

1. Indica, justificando, se uma seta que represente o movimento da litosfera, no esquema da figura 16, deve ser desenhada da esquerda para a direita ou da direita para a esquerda.
2. Faz uma pesquisa sobre a idade das ilhas do arquipélago de Cabo Verde e estabelece uma relação de causa-efeito entre a idade das ilhas, a origem das ilhas e a tectónica de placas.

Desenvolvimento tecnológico: evidências da tectónica de placas

A tomografia sísmica usa a deteção de anomalias na velocidade de propagação das ondas sísmicas para criar imagens de alta resolução do interior do planeta. Esta tecnologia baseia-se no conhecimento das diferenças comportamentais das ondas sísmicas em resposta ao tipo de materiais rochosos e temperatura dos mesmos.



Baseado em Zhao, D. *et al.* (2004), DOI: 10.1360/04wd0125

Fig. 17 Tomografia sísmica da subducção da placa do Pacífico na Ásia Oriental.

As ondas sísmicas tendem a percorrer mais lentamente materiais menos rígidos e mais quentes, deslocando-se a maior velocidade ao atravessar materiais rochosos mais rígidos e mais frios.

A observação da tomografia sísmica da região da Ásia Oriental onde ocorre subducção da placa do Pacífico permite verificar regiões onde a velocidade de propagação das ondas sísmicas é inferior ao esperado – áreas sombreadas a vermelho – e outras onde a velocidade das ondas sísmicas é superior ao esperado – áreas sombreadas a azul.

Responde tu

1. Explica como os dados da tomografia sísmica representada na figura 17 permitem concluir que houve a subducção da placa do Pacífico.
2. Alguns geofísicos defendem que as placas subductadas podem atingir a base do manto, enquanto outros argumentam que estas permanecem numa região do manto até aos 700 km de profundidade. Discute as duas hipóteses com base nos dados recolhidos através da tomografia sísmica.

1.2. Movimentação Vertical da Litosfera

Manual Digital

Atividade
Dinâmica da litosfera (movimentos verticais e horizontais)

Na litosfera existe um equilíbrio dinâmico entre a formação de relevo pelos processos tectónicos e a sua destruição pelos agentes de geodinâmica externa e os consequentes processos de meteorização, erosão e transporte. Este equilíbrio, designado equilíbrio isostático, resulta da isostasia, isto é, da relação entre densidade e espessura dos materiais da crusta e do manto superior, e traduz-se em movimentos litosféricos verticais de levantamento e afundamento ou subsidência numa astenosfera com ductibilidade.

O espessamento crustal em limites convergentes, bem como a acumulação de sedimentos nas bacias oceânicas, provocam movimentos de afundamento da litosfera na astenosfera. Por outro lado, a perda de massa resultante do processo erosivo de montanhas é compensada pelo levantamento vertical da litosfera.

O afloramento de rochas formadas em profundidade é, neste contexto, o resultado combinado da erosão das camadas sobrejacentes e do consequente movimento vertical ascendente. Nestes locais, é possível encontrar as rochas mais antigas do planeta.

Recentemente, um grupo de cientistas recalculou a taxa de crescimento do Evereste e concluiu que esta é superior à estimada anteriormente, devido a modificações na rede hidrográfica local, que aumentaram a erosão e desencadearam um reajuste isostático.

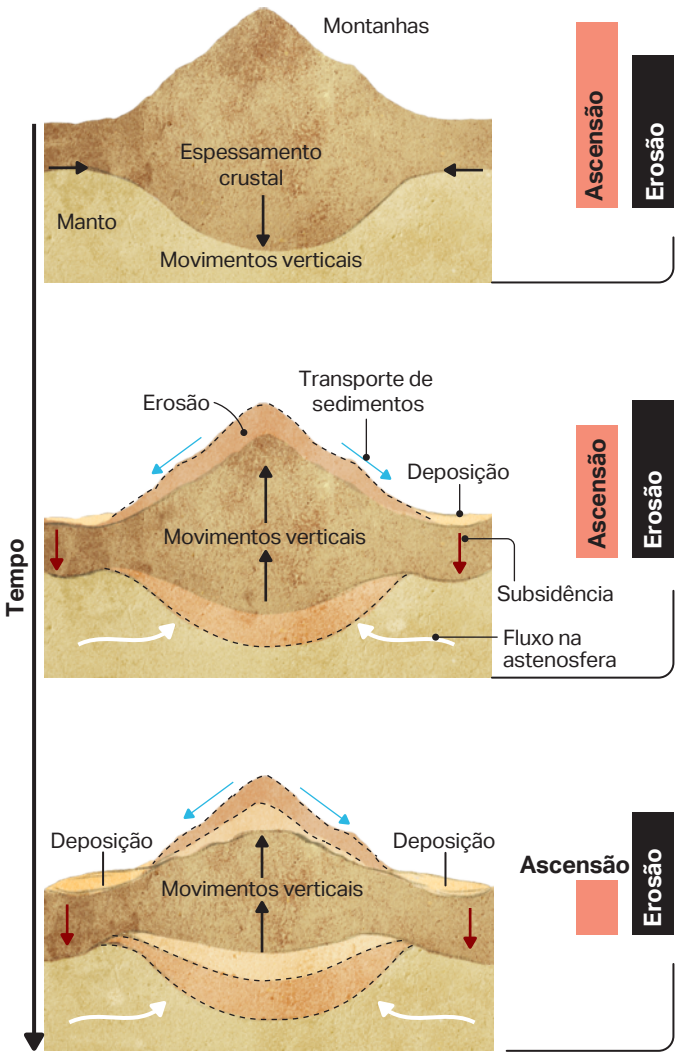


Fig. 18 Movimentos verticais da litosfera e consequências no relevo.

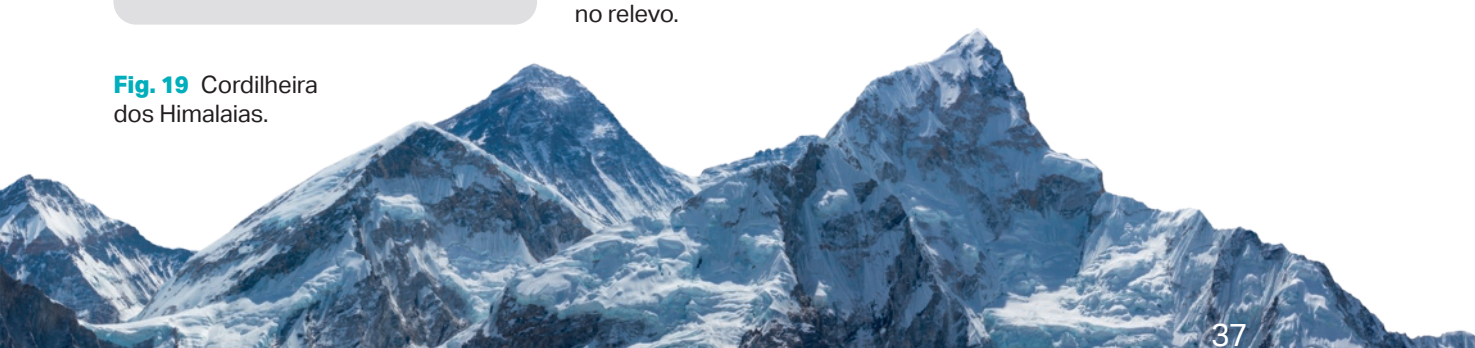


Fig. 19 Cordilheira dos Himalaias.

As glaciações e degelos associados às alterações climáticas resultam em variações da carga que é aplicada num local.

Durante os períodos glaciares, a acumulação de gelo em regiões continentais formou calotas espessas que originaram movimentos verticais descendentes, em resposta à maior densidade do gelo relativamente à atmosfera que ocupava o lugar entretanto ocupado pelas calotas.

Com o término do período glaciar, o desaparecimento das calotas devido à fusão do gelo tem como resultado a ocorrência de movimentos verticais ascendentes.

O ajustamento isostático devolve a região à posição anterior à glaciação.



Por Chris Lindesay, CC BY-SA 2.0

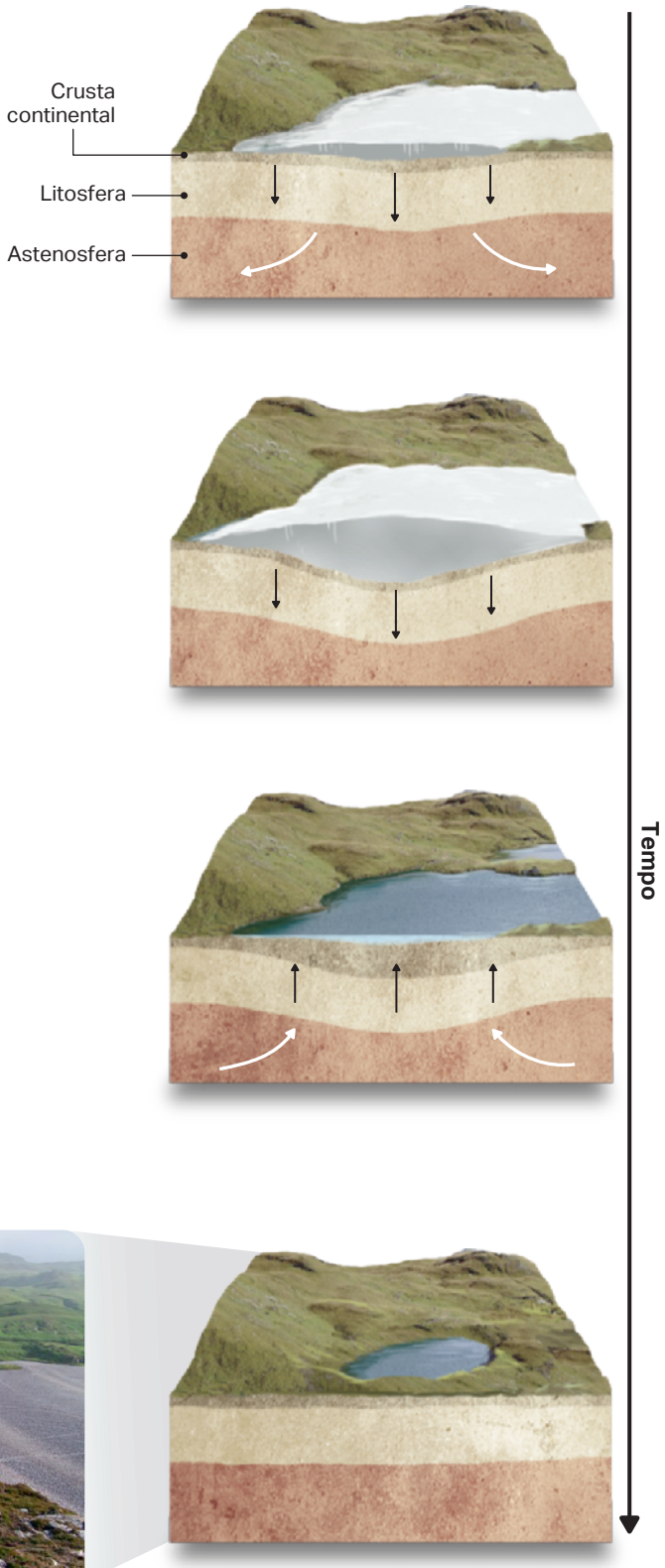


Fig. 20 Esquema representativo dos movimentos verticais da litosfera em resultado de períodos de glaciação e degelo e fotografia de praia elevada no lago *Tarbert*, na Escócia, em resultado de ajustes isostáticos decorrentes da Idade do Gelo do Quaternário.

1.3. Deformação das Rochas: Falhas e Dobras

Manual Digital
Atividade
Mecanismos de deformação das rochas

O movimento das placas litosféricas gera forças capazes de deformar as rochas, com fraturação (em regime frágil) ou sem ocorrência de fraturas (em regime dúctil) (ver figura 21). A maior ou menor plasticidade das rochas quando sujeitas a tensões não depende apenas da sua composição, sendo fortemente condicionada por fatores como a temperatura, a pressão e o tempo de exposição à força aplicada (ver figura 22).

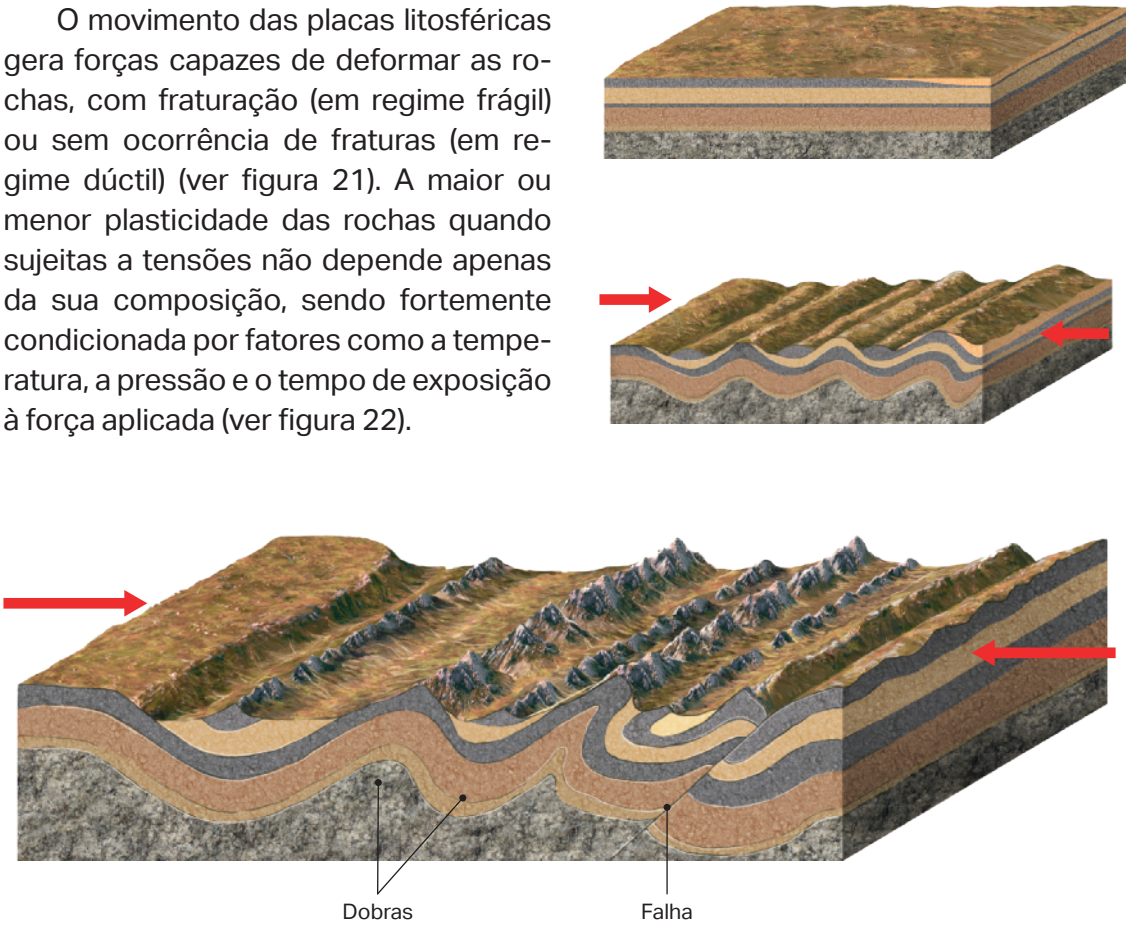


Fig. 21 Deformação dúctil e deformação frágil das rochas.

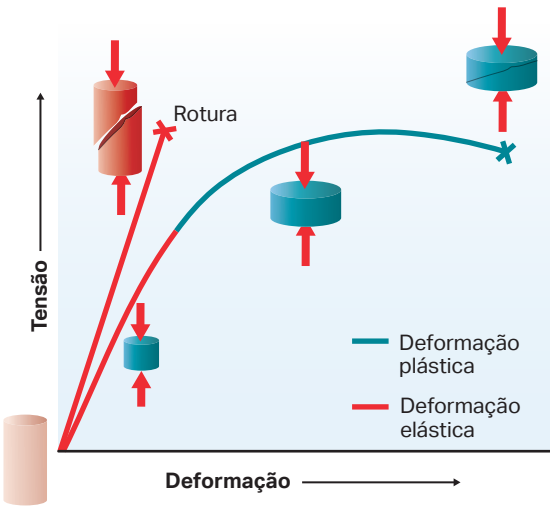


Fig. 22 Relação entre tensão e deformação em situações de comportamento frágil (linha vermelha) e dúctil (linha azul).

Rochas mais próximas da superfície, onde a temperatura é inferior, apresentam maior rigidez, sofrendo deformação elástica. Quando o limite de elasticidade é atingido e ultrapassado, estas rochas deformam-se permanentemente, ocorrendo rotura dos materiais.

Rochas que se encontram a maior profundidade, onde a temperatura e a pressão são superiores, apresentam menor rigidez, sofrendo deformação plástica. Estas rochas apresentam um comportamento dúctil em resposta à atuação de forças.

1.3.1. Deformação das Rochas em Regime Frágil

Manual Digital

Atividade
Tipos e elementos de falha

Em regime frágil, em condições relativamente superficiais (baixas temperaturas e pressões), quando as rochas são submetidas a tensões superiores à sua resistência física, fraturam, podendo originar falhas se ocorrer movimento de dois blocos rochosos ao longo das fraturas (ver figura 23).



Fig. 23 Falhas em rochas sedimentares.

Na caracterização de uma falha, consideram-se elementos como a direção e inclinação do plano de falha, o valor do deslocamento relativo dos dois blocos, medido ao longo do plano de falha (o rejeito), e o movimento relativo dos blocos a teto e a muro do plano de falha (ver figura 24).

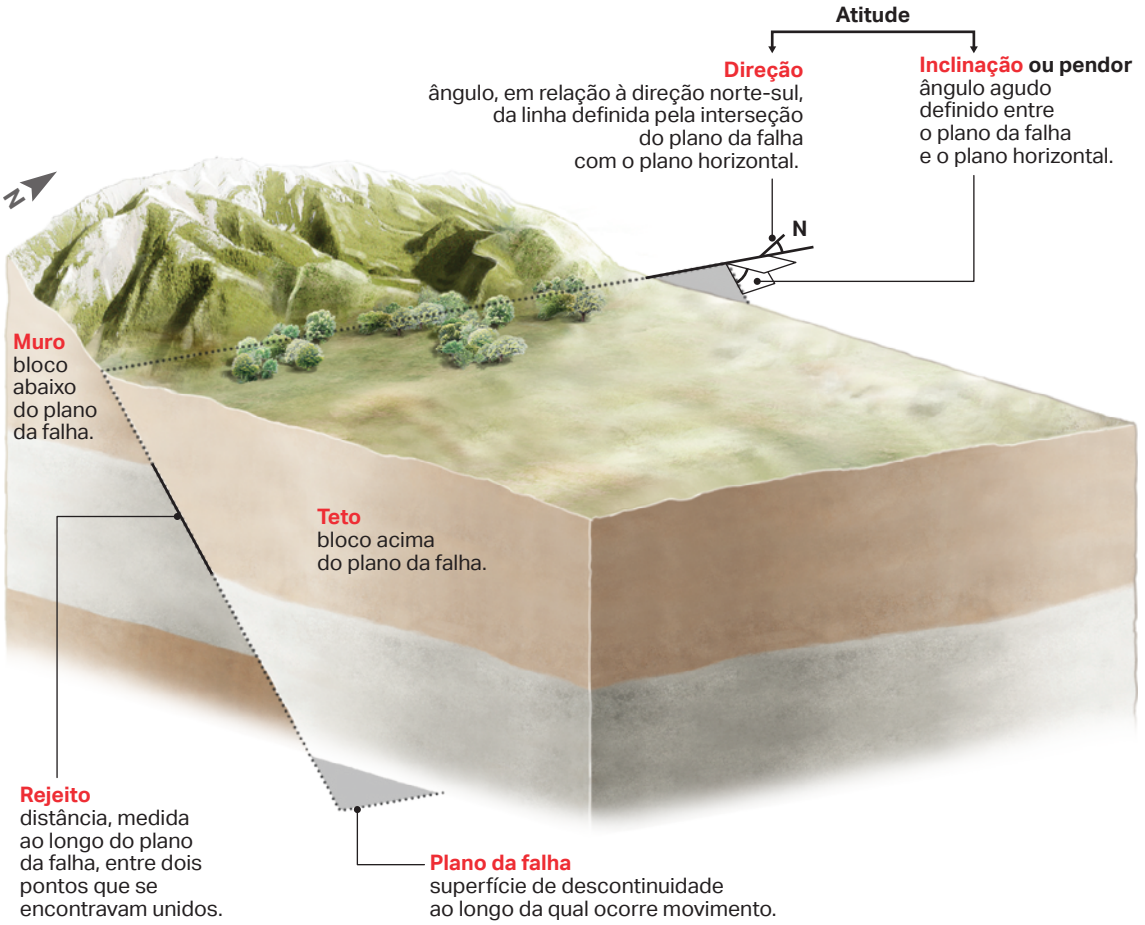


Fig. 24 Elementos utilizados na caracterização geométrica de uma falha.

A caracterização em função do movimento relativo dos blocos ao longo do plano de falha permite identificar três tipos principais de falhas – normais, inversas e de desligamento (por vezes transformantes).

Numa **falha normal** – associada à ação de forças distensivas em fronteiras divergentes de placas litosféricas – o teto desce em relação ao muro (ver figura 25).

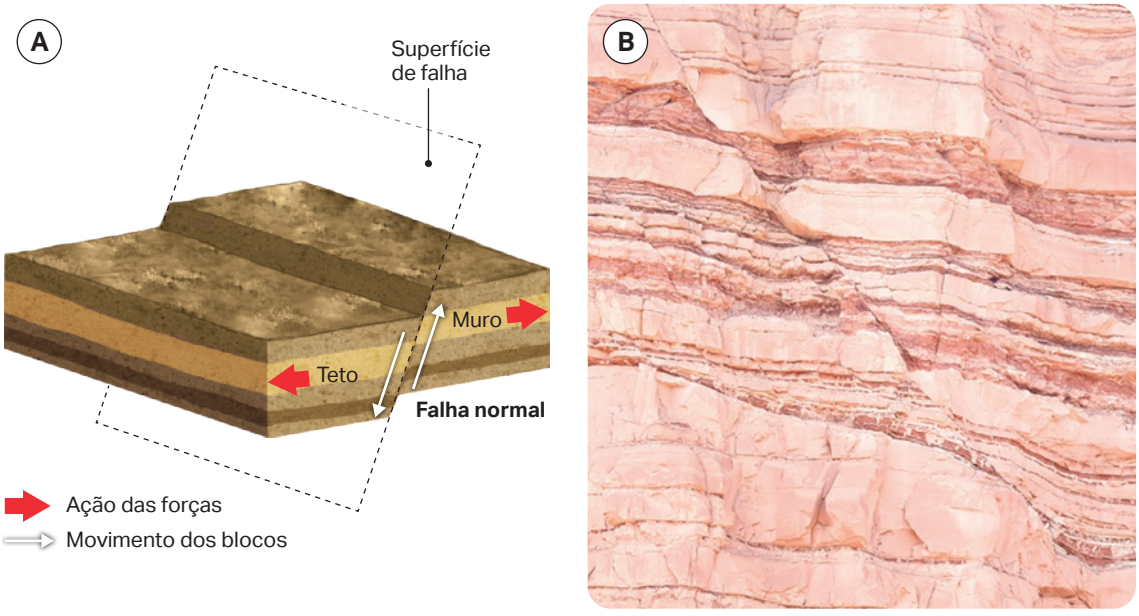


Fig. 25 Esquema (A) e fotografia (B) de uma falha normal.

Numa **falha inversa** – associada à ação de forças compressivas em fronteiras convergentes de placas litosféricas – o teto sobe em relação ao muro (ver figura 26).

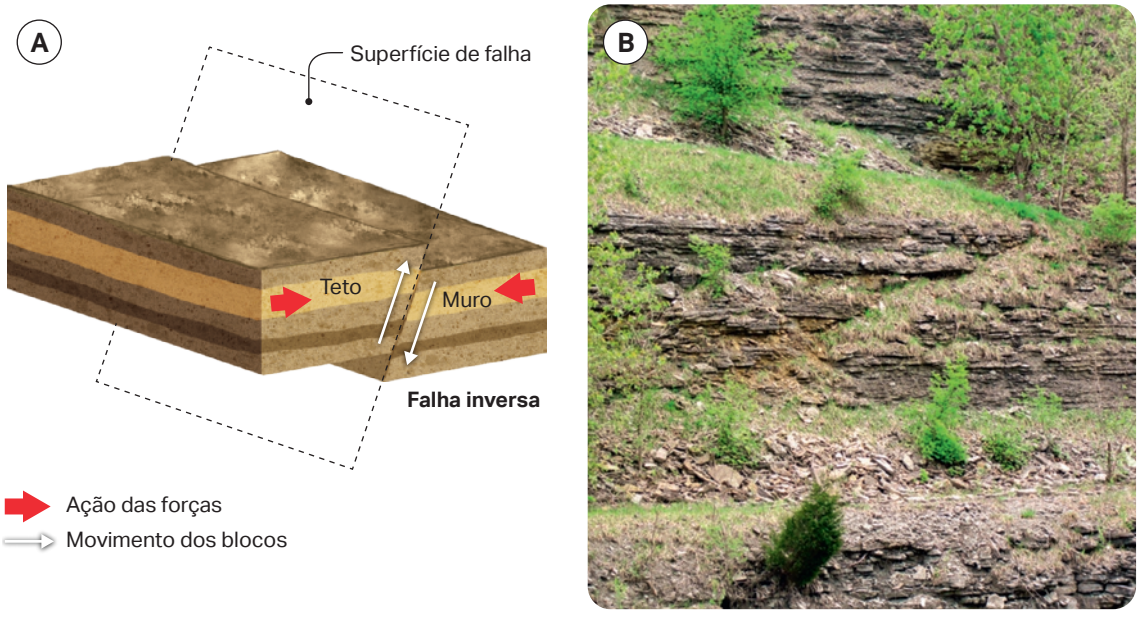


Fig. 26 Esquema (A) e fotografia (B) de uma falha inversa.

Por James St. John – CC BY 2.0

Numa **falha transformante** – associada à ação de forças de cisalhamento em fronteiras transformantes de placas litosféricas – os blocos deslizam horizontalmente, em sentidos opostos, ao longo da superfície de falha.

Nas falhas transformantes que segmentam as dorsais oceânicas, o movimento de desligamento está presente nos setores entre as cristas (assinalado através das setas brancas representadas na figura 27 – B).

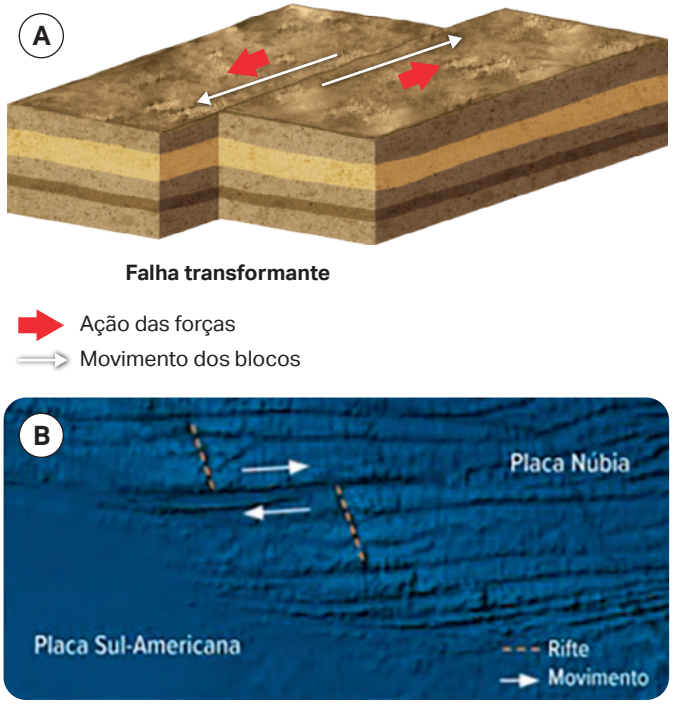


Fig. 27 Esquema (A) e fotografia (B) de falhas transformantes ao longo da Dorsal Mesoatlântica.

A identificação de falhas no terreno requer o reconhecimento do movimento relativo dos blocos ao longo da superfície de fratura. Quando existem camadas marcadamente distintas, o movimento entre os blocos torna-se evidente.

As falhas também podem deixar evidências da sua existência no relevo, como o deslocamento de vales, cursos de água ou construções e a formação de uma escarpa de falha quando há movimento vertical. Mesmo falhas inativas podem ser reconhecidas pelas suas estruturas características no terreno.

Responde tu

1. **Refere as informações fornecidas pela presença de uma falha geológica, relativamente às condições de pressão e temperatura e ao regime de deformação a que as rochas por ela intersetadas foram sujeitas.**
2. **Justifica a afirmação "As falhas inversas colocam rochas mais antigas sobre rochas mais jovens".**

1.3.2. Deformação das Rochas em Regime Dúctil

Em regime dúctil, em níveis mais profundos da litosfera (elevadas pressões e temperaturas), quando as rochas são submetidas a forças compressivas, formam-se deformações que se caracterizam pelo encurvamento de superfícies inicialmente planas – as **dobras**.



Fig. 28 Dobra.

Manual Digital

Atividade
Elementos caracterizadores das dobras

A caracterização de uma dobra implica a definição de quatro elementos: eixo, charneira, plano axial e flancos.

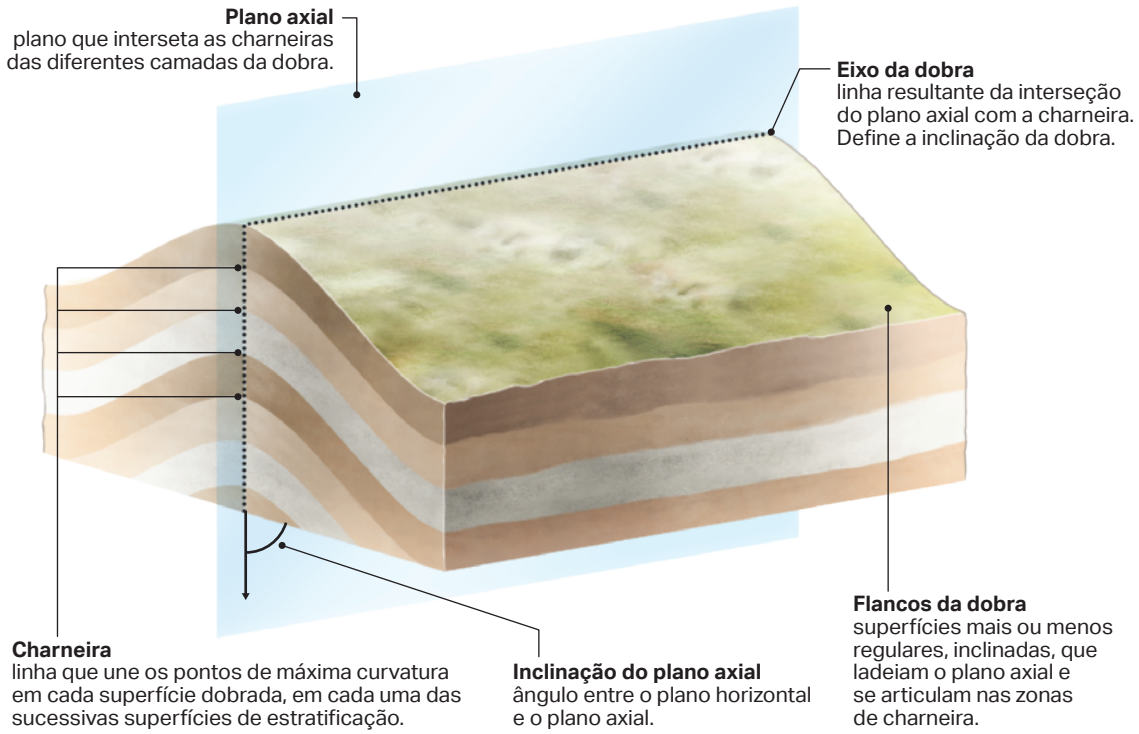


Fig. 29 Elementos utilizados na caracterização geométrica de uma dobra.

A disposição espacial das dobras permite a sua classificação em antiforma, sinforma e dobra neutra. Quando os flancos da dobra convergem para cima, ficando a dobra com uma aparente forma em arco ou em "A", estamos perante uma antiforma. Numa sinforma, os flancos da dobra convergem para baixo, ficando a dobra com uma aparente forma em "U". Quando os flancos convergem lateralmente, em resultado do aumento da complexidade da deformação, estamos perante uma dobra neutra.

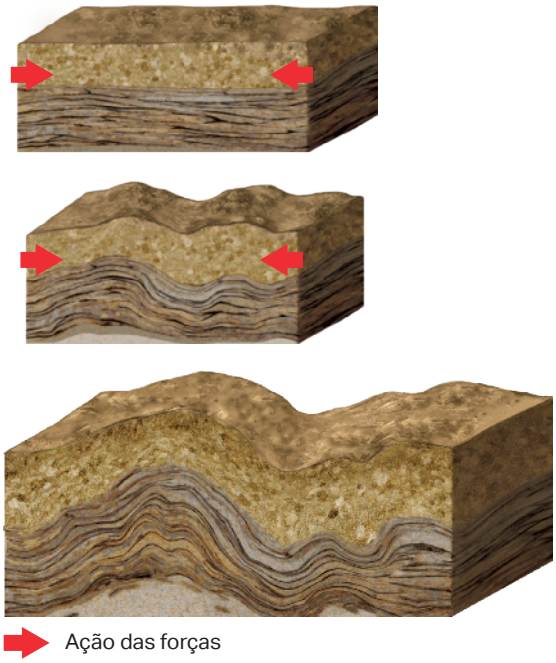


Fig. 30 Formação de uma dobra por compressão paralela aos estratos (A).

Para além da classificação feita com base na geometria das dobras, estas também podem ser classificadas de acordo com a idade dos diferentes estratos. Esta classificação em anticlinal ou sinclinal só é possível quando se conhece a idade relativa entre as camadas.

Quando as rochas mais antigas se encontram no núcleo de uma dobra, esta é classificada como **anticlinal**. Numa dobra **sinclinal**, o núcleo da dobra, contém as rochas mais recentes.

Numa sequência de camadas não deformadas, de acordo com o princípio da sobreposição dos estratos, as camadas que se encontram por cima são sucessivamente mais recentes. Quando esta sequência é dobrada em "A", forma uma antiforma cujo núcleo contém as rochas mais antigas. É uma antiforma anticlinal. Em zonas de deformação simples, as antiformas são normalmente anticlinais e as sinformas são sinclinais (ver figura 30).

Em zonas de deformação mais complexas, com mais do que uma fase de dobramento, podemos encontrar antiformas sinclinais e sinformas anticlinais.

Numa região afetada por duas fases de deformação (D1 e D2) – ver figura 31 – a primeira fase de deformação originou uma dobra deitada. Embora a geometria da dobra não permita a sua classificação em antiforma ou sinforma, trata-se de um anticlinal, uma vez que o seu núcleo é constituído pelas camadas mais antigas.

A segunda fase de deformação alterou a geometria da dobra (D1) transformando a dobra neutra numa sinforma e produzindo uma antiforma (D2). Esta antiforma, tendo em consideração a idade das camadas, é classificada diferentemente para cada um dos lados do plano axial.

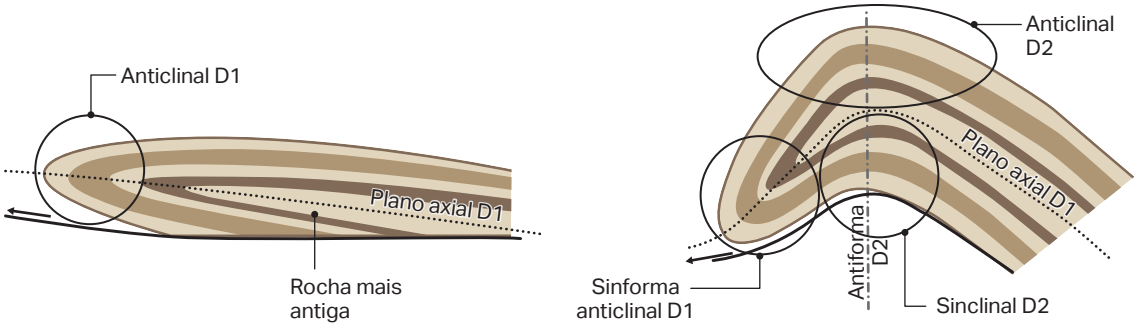
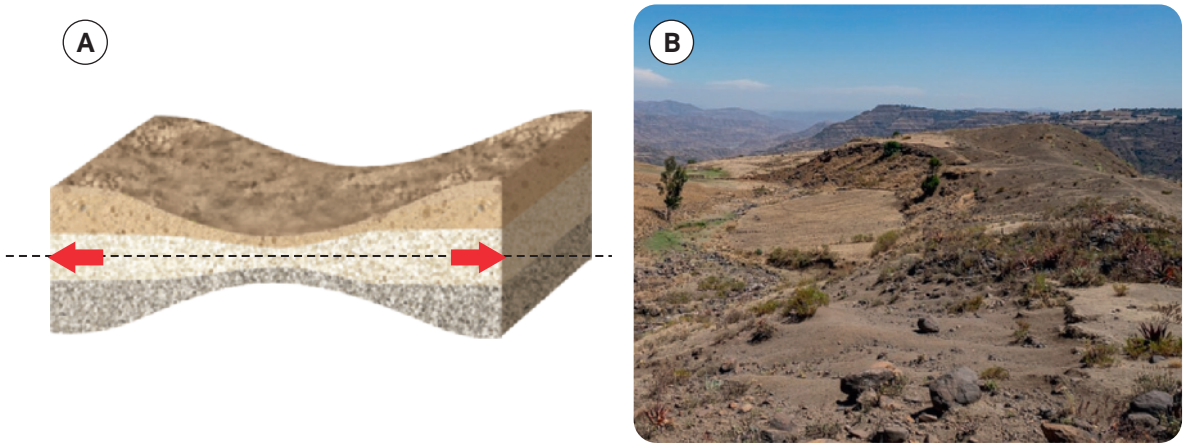


Fig. 31 Redobramentos resultantes da ação de duas fases de deformação (D1 e D2).

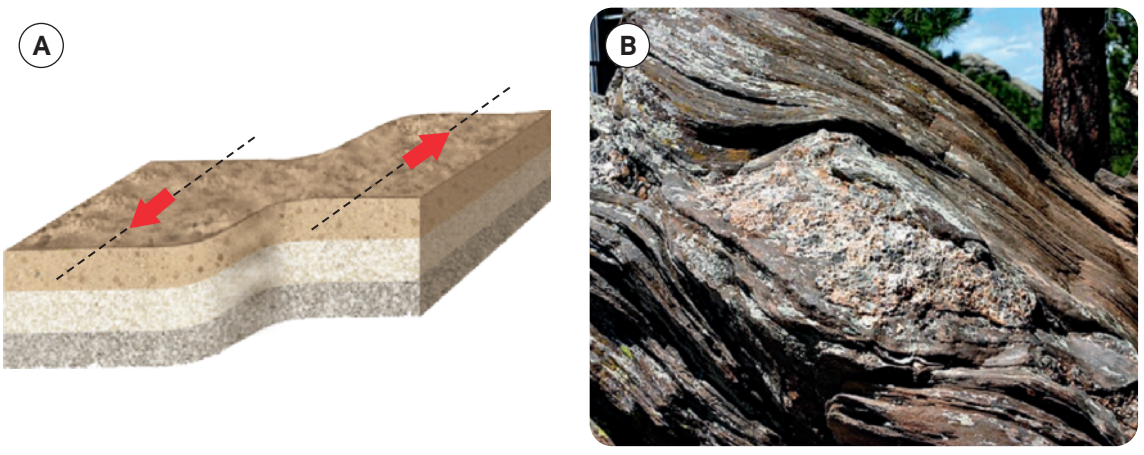
Num **estiramento** – associado à ação de forças distensivas em regime dúctil – as rochas alongam-se e tornam-se mais finas, gerando estruturas lineares paralelas à direção do esforço.



Por Nina R, CC BY 2.0

Fig. 32 Esquema (A) e fotografia (B) de um estiramento.

Num **cisalhamento** – associado à ação de forças de sentido oposto aplicadas paralelamente em regime dúctil – as rochas deformam-se por torção, originando estruturas alongadas e foliações inclinadas na direção do movimento.



Por Kevin Walsh, CC BY 2.0

Fig. 33 Esquema (A) e fotografia (B) de um cisalhamento.

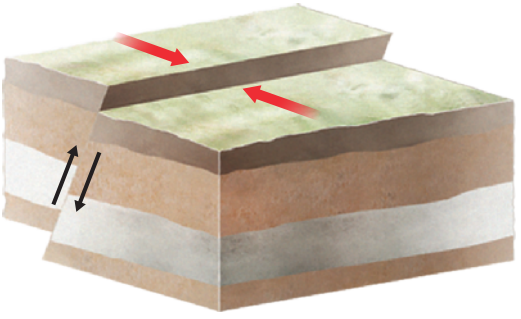
Responde tu

1. Refere as informações fornecidas pela presença de uma dobra geológica, relativamente às condições de pressão e temperatura e ao regime de deformação a que as rochas por ela intersetadas foram sujeitas.
2. Justifica a dupla classificação atribuída à estrutura resultante da segunda fase de deformação na figura 31.

Deformação em regime frágil

Em zonas próximas da superfície da crusta, as forças características dos três tipos de fronteiras de placas têm como consequência diferentes tipos de estruturas de deformação.

Compressiva (limites convergentes)

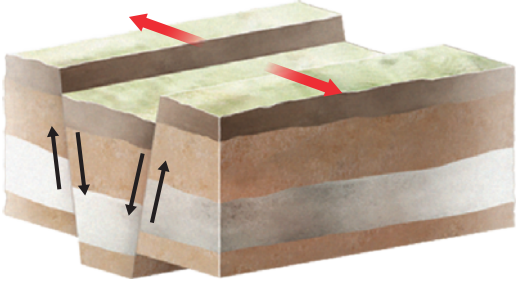




Por Kevin Walsh, CC BY 2.0

Falhas inversas

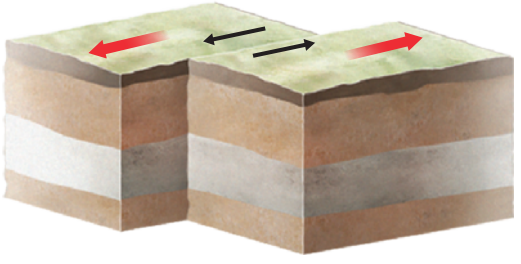
Distensiva (limites divergentes)

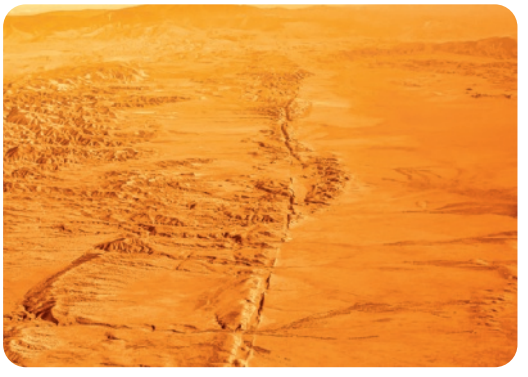




Falhas normais

Cisalhante (limites transformantes)



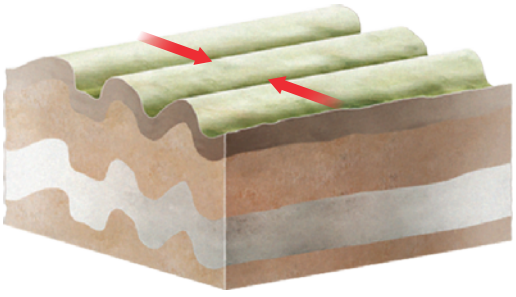


Falhas de desligamento

Deformação em regime dúctil

Em zonas profundas da crusta, as forças características dos três tipos de fronteiras de placas têm como consequência diferentes tipos de estruturas de deformação.

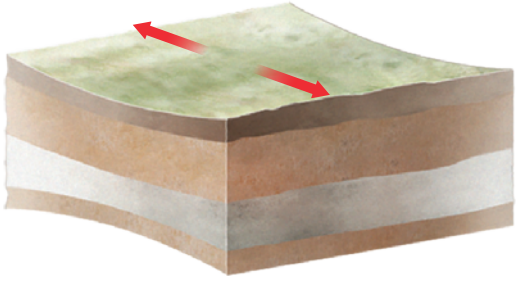
Compressiva (limites convergentes)





Dobras

Distensiva (limites divergentes)

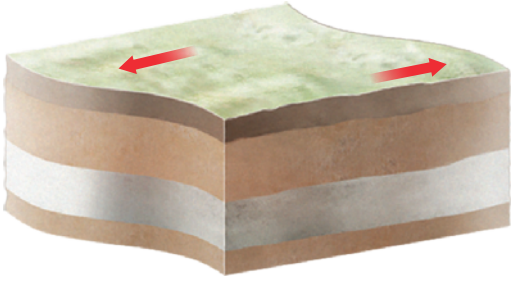




Por Rudolf Pohl – Obra do próprio, CC BY-SA 4.0

Estiramento

Cisalhante (limites transformantes)

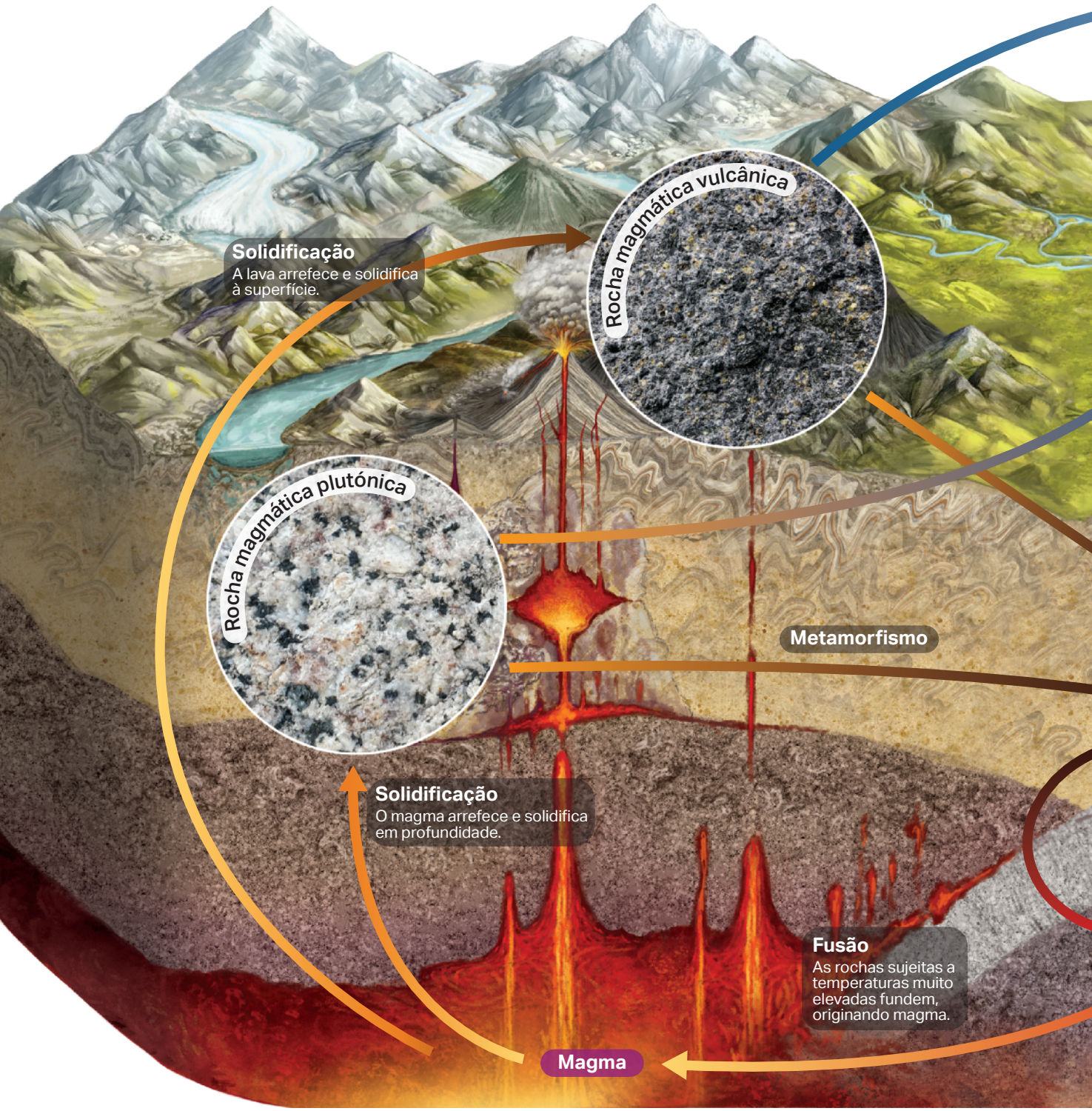




Cisalhamento

1.4. Geodinâmica Externa

Na superfície do planeta, o Sol fornece a energia necessária à atuação dos agentes de geodinâmica externa. As rochas resultam, assim, da transformação de rochas pré-existentes, devido a um conjunto de processos cíclicos associados ao ciclo hidrológico e agentes climáticos, assim como à atuação do ciclo tectónico.



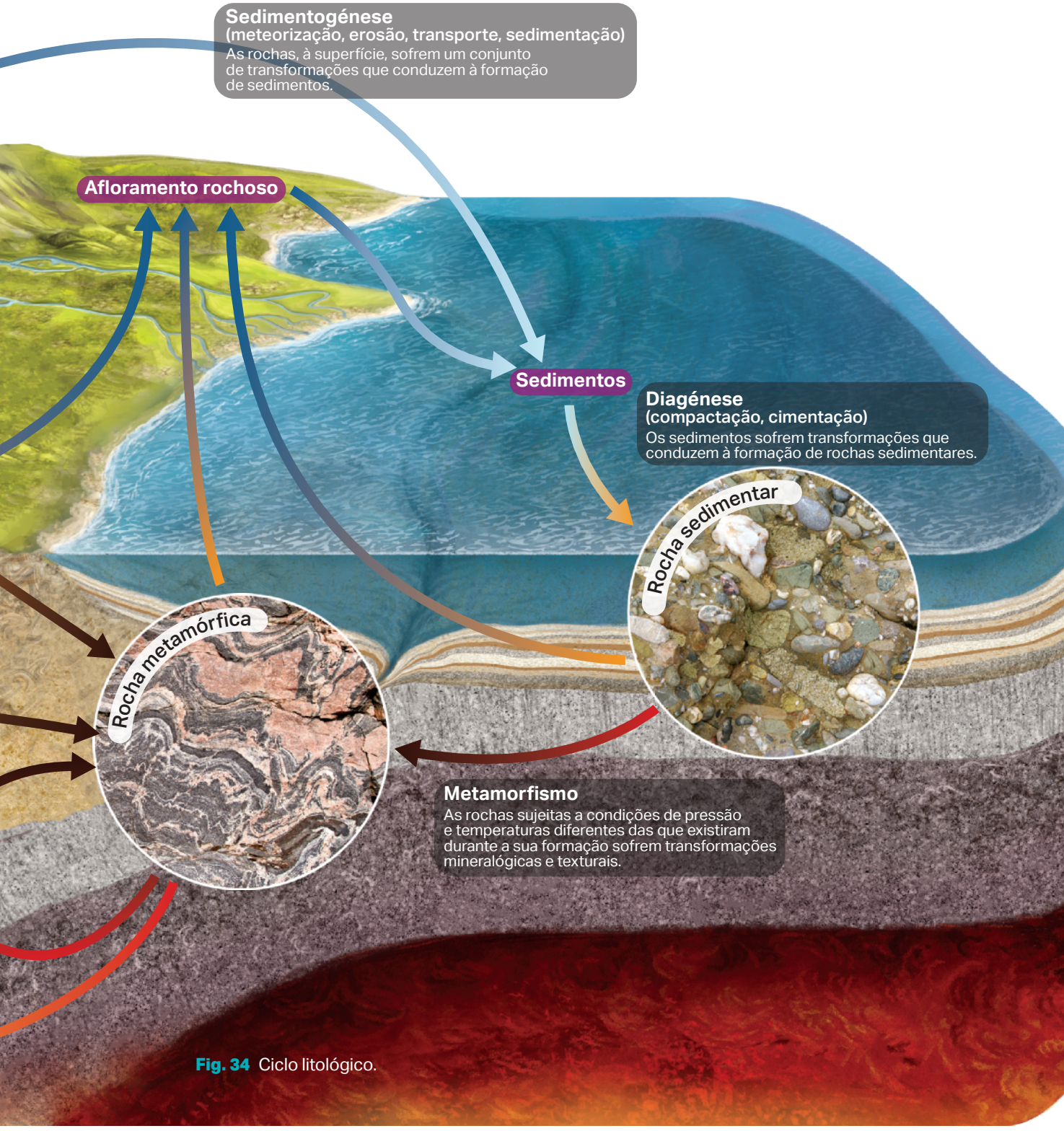


Fig. 34 Ciclo litológico.

De forma simplificada, é possível dividir o ciclo litológico em três grandes conjuntos de processos responsáveis pela formação dos três tipos principais de rochas: sedimentares, metamórficas e magmáticas. A transição entre os ambientes associados a estes processos é gradual, mas permite identificar campos de estabilidade definidos por diferentes condições de pressão e temperatura. Na determinação destes campos inclui-se ainda um outro grupo de rochas, os migmatitos, formadas na transição entre o metamorfismo e o magmatismo, como resultado da consolidação de magmas que contêm materiais rochosos não fundidos.

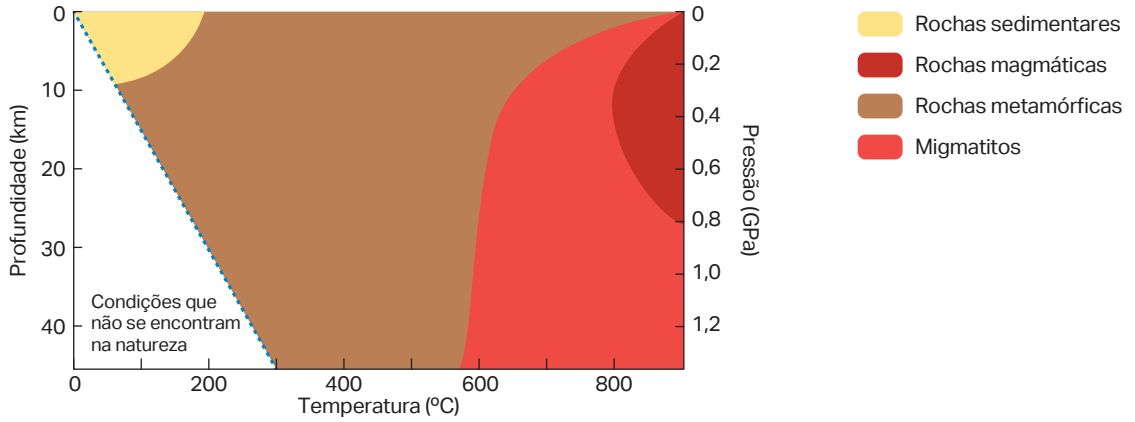


Fig. 35 Campos de estabilidade associados aos principais tipos de rochas. Baseado em: Dias, R, (2019). *Da Dinâmica Global aos Processos Geológicos*, Centro Ciência Viva de Estremoz, p. 439

As rochas sedimentares, embora representem uma pequena porção do volume total da crusta, cobrem a maior parte da superfície terrestre (figura 36), uma vez que se formam em condições de pressão e temperatura que existem na superfície da Terra ou próximo desta.

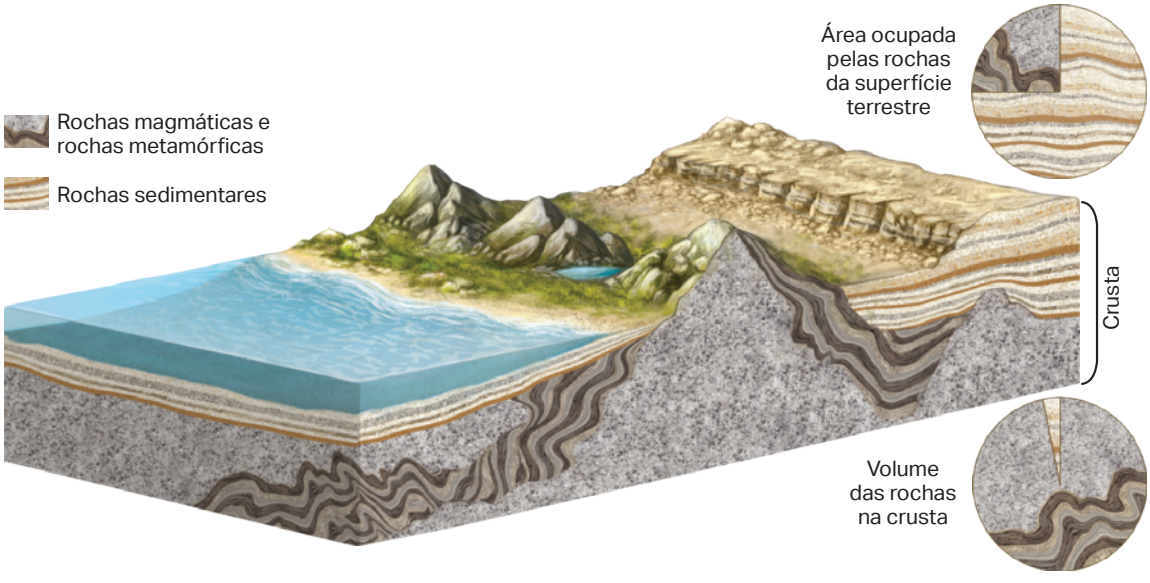


Fig. 36 Esquema simplificado da distribuição das rochas na crusta terrestre.

Meteorização

Manual Digital
Atividade
Meteorização

As rochas, e os minerais que as constituem, são estáveis nas condições de pressão e temperatura que permitiram a sua formação. Quando saem do seu campo de estabilidade, tornam-se progressivamente mais instáveis, desagregando-se em fragmentos menores e modificando a sua composição química e mineralógica. O conjunto de processos físicos e químicos que alteram as rochas – meteorização – resulta da atuação dos agentes de geodinâmica externa.

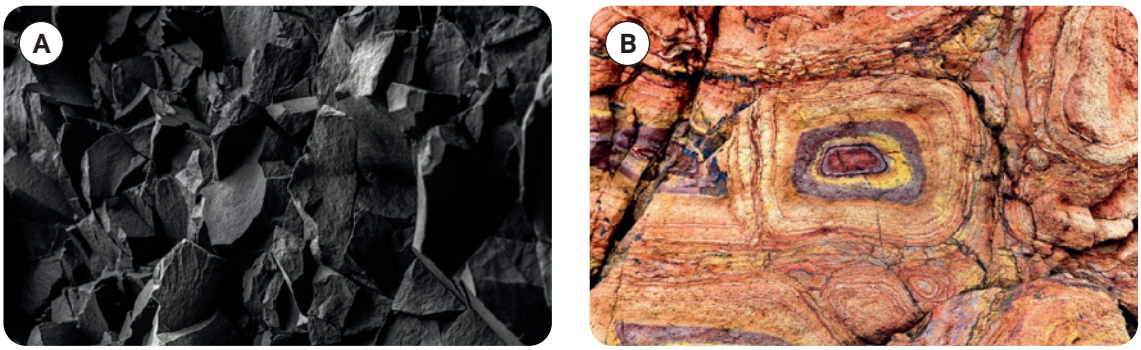


Fig. 37 Afloramentos basálticos antes (A) e após a ocorrência de processos de meteorização (B).

Meteorização física

A meteorização física está na origem do desgaste, fraturação e desagregação da rocha em fragmentos menores, com consequente aumento da área da rocha exposta à ação dos agentes de geodinâmica externa (figura 38).

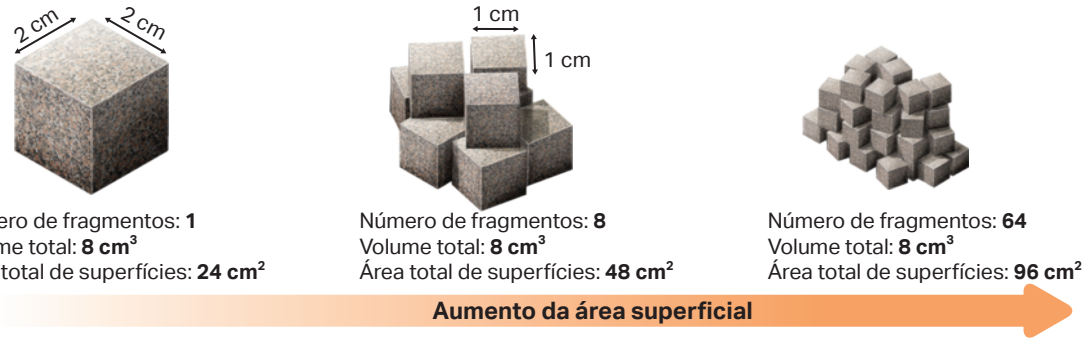


Fig. 38 Relação entre a fraturação de uma rocha e o aumento da sua área de superfície.



Fig. 39 Na Buracona, ilha do Sal, Cabo Verde, observam-se sinais de meteorização.

A meteorização física pode resultar da ação de fatores como a temperatura, água, sais minerais, seres vivos (ver figuras 45 a 48) e alívio de pressão.

A exposição superficial de maciços rochosos formados em profundidade, em resultado do levantamento causado por movimentos tectónicos e da remoção das rochas sobrejacentes pela ação dos agentes de geodinâmica externa, expõe as rochas a um **alívio de pressão** que pode causar a sua expansão e posterior fraturação (figura 40).

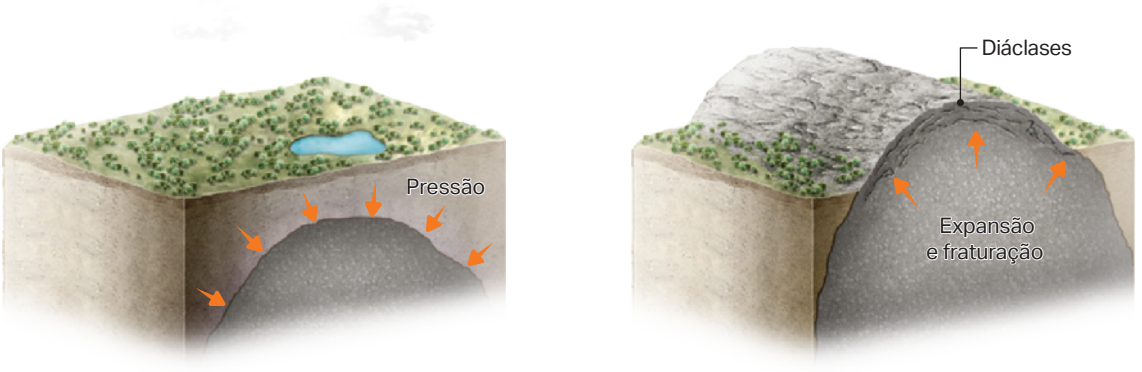


Fig. 40 Representação esquemática do processo de meteorização por alívio de pressão.

Desenvolvem-se, assim, formas geológicas características, como diáclases, lajes de esfoliação com consequente disjunção esferoidal ou pseudoestratificação (figuras 41 a 44).



Fig. 41 Diáclases em granito.



Fig. 42 Esfoliação em granodiorito.



Fig. 43 Pseudoestratificação em granito.



Fig. 44 Disjunção esferoidal em basalto.

Por James St. John – CC BY 2.0



Por Thomas Farley – Obra do próprio, CC0

Fig. 45 As grandes amplitudes térmicas a que algumas rochas estão expostas têm como consequência ciclos de dilatação e contração que estão na origem da sua fraturação – **termoclastia**.

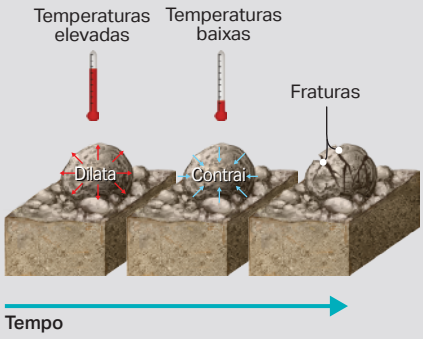




Fig. 46 Quando a água congela e expande dentro das fraturas das rochas gera tensões que podem causar o alargamento da fratura e a formação de novas fraturas – **crioclastia**.

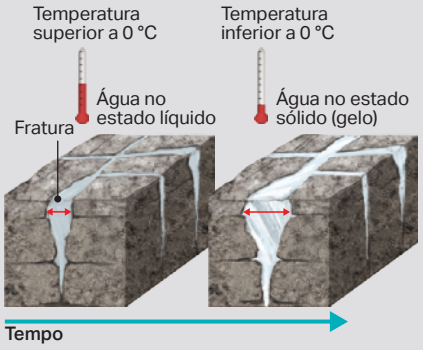




Fig. 47 Sais dissolvidos em água podem precipitar e desenvolver cristais no interior de fraturas e poros das rochas. As tensões geradas pelo crescimento dos sais contribuem para a desagregação das rochas – **haloclastia**.

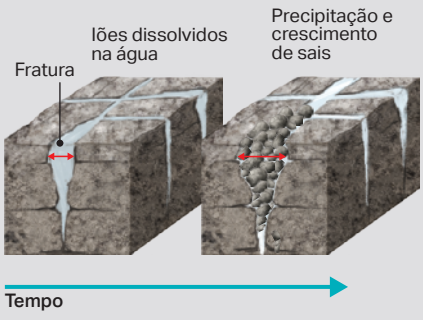
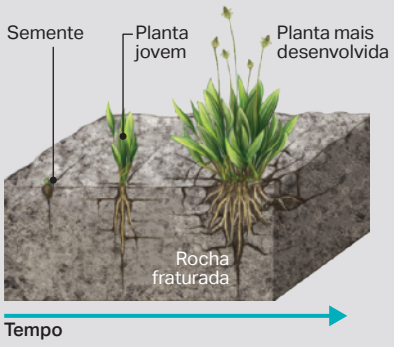




Fig. 48 A atividade de seres vivos pode alterar fisicamente as rochas. São disso exemplo o crescimento de raízes em fraturas e a ação de animais, como alguns moluscos bivalves que vivem em cavidades por si escavadas nas rochas.



Meteorização química

A meteorização química, facilitada pela meteorização física, consiste na alteração da composição química e mineralógica das rochas em resultado de reações químicas – dissolução, hidratação/desidratação, hidrólise e oxidação – que ocorrem quando a rocha e os seus minerais contactam com soluções aquosas ou com o ar.

Deste conjunto de processos resulta a transformação de minerais noutros mais estáveis nas condições de temperatura e pressão que caracterizam a superfície terrestre – **minerais de neoformação**.



Fig. 49 Halite.

Alguns minerais, como a halite (NaCl), quando em contacto com água sofrem **dissolução**. Neste processo, a ligação entre os diferentes iões é quebrada, ficando os iões livres dissolvidos na água.

$$NaCl + H_2O \rightarrow Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

A calcite ($CaCO_3$) sofre dissolução em contacto com água acidificada, isto é, com excesso do ião hidrogénio (H^+), resultante da reação da água com dióxido de carbono, que origina ácido carbónico (H_2CO_3), que se dissocia.



Fig. 50 Calcite.

$$\underset{\text{Água}}{H_2O} + \underset{\substack{\text{Dióxido}\\\text{de carbono}}}{CO_2} \longleftrightarrow \underset{\substack{\text{Ácido}\\\text{carbónico}}}{H_2CO_3} \longleftrightarrow \underset{\substack{\text{ião}\\\text{hidrogénio}}}{H^+} + \underset{\substack{\text{ião}\\\text{bicarbonato}}}{HCO_3^-}$$

A reação de dissolução da calcite com esta água designa-se **carbonatação**.

$$\underset{\substack{\text{Carbonato de}\\\text{Cálcio (calcite)}}}{CaCO_3} + \underset{\substack{\text{Ácido}\\\text{carbónico}}}{(H^+ + HCO_3^-)} \rightarrow \underset{\substack{\text{ião}\\\text{cálcio}}}{Ca^{2+}} + \underset{\substack{\text{ião}\\\text{bicarbonato}}}{2HCO_3^-}$$

Esta forma de meteorização é relevante em regiões calcárias, onde origina uma forma de relevo característica – o modelado cársico.

A incorporação de moléculas de água na estrutura cristalina de alguns minerais provoca um aumento de volume que facilita a desagregação das rochas que os contêm – **hidratação**. É o caso da hidratação da hematite, com formação de limonite.

$$\underset{\text{(hematite)}}{Fe_2O_3} + 3H_2O \rightarrow \underset{\text{(limonite)}}{2Fe(OH)_3}$$

Alguns minerais podem perder água (desidratação), sendo exemplo a transformação do gesso em anidrite.

$$\underset{\text{(gesso)}}{CaSO_4 \cdot 2H_2O} \rightarrow \underset{\text{(anidrite)}}{CaSO_4} + 2H_2O$$



Fig. 51 Gesso.

A substituição de catiões na estrutura de um mineral por iões hidrogénio – **hidrólise** – pode originar um mineral novo ou a desintegração completa do mineral original. Minerais félsicos, como o feldspato, sofrem hidrólise.



Fig. 52 Feldspato.



Fig. 53 Hematite.

$$\underset{\text{(feldspato)}}{2KAlSi_3O_8} + H_2CO_3 + H_2O \rightarrow K_2CO_3 + \underset{\text{(argila)}}{Al_2Si_2O_5(OH)_4} + 4SiO_2$$

A **oxidação** – perda de eletrões por um átomo ou ião – ocorre quando minerais máficos, ricos em ferro, como a biotite, a pirite ou a piroxena estão expostos ao ar e o ferro cede eletrões ao oxigénio. Por oxidação, a pirite origina o mineral hematite.

$$\underset{\text{(pirite)}}{4FeS_2} + 3O_2 \rightarrow \underset{\text{(hematite)}}{2Fe_2O_3} + 8S$$

Aprende mais

Halite	Calcite	Olivina	Plagioclase cálcica	Piroxena	Anfíbola	Plagioclase sódica	Biotite	Ortoclase	Moscovite	Minerais de argila	Quartzo	Hematite
Menos estável **Meteorização rápida**												**Mais estável** **Meteorização lenta**

Minerais que se formam mais cedo na série reacional de Bowen encontram-se entre os menos estáveis na superfície terrestre. Por outro lado, minerais que são produto de fenómenos de meteorização química encontram-se entre os mais estáveis.

Modelado cársico

O modelado cársico é uma forma de relevo característica das paisagens sedimentares onde a rocha predominante é o calcário. A água da chuva, ligeiramente acidificada por contacto com CO_2 atmosférico, infiltra-se no calcário e promove a sua dissolução, dando origem a estruturas como lapiás e dolinas à superfície e algares e grutas no interior dos maciços calcários.

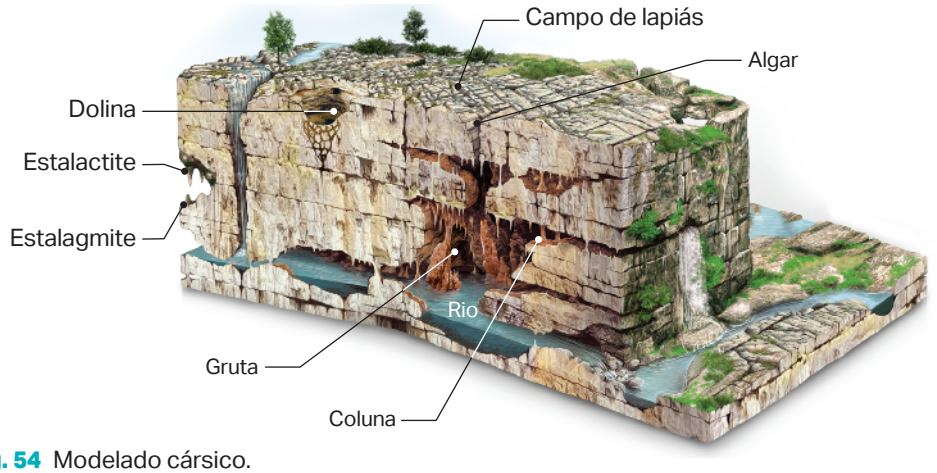


Fig. 54 Modelado cársico.



Fig. 55 Campo de lapiás.



Fig. 56 Estalactites e estalagmites em gruta calcária.

Responde tu

Observa atentamente a fotografia 39 (página 51).

1. Em grupo, discute as evidências de meteorização física visíveis nas rochas da Buracona. Procura identificar os agentes e processos responsáveis por essas transformações e relaciona-os com o ambiente costeiro da região.
2. O basalto da Buracona mostra indícios de meteorização química? Justifica a tua resposta com base em características observáveis da rocha.

Erosão

Os clastos produzidos pela meteorização são removidos da rocha-mãe por ação gravítica e por ação da água circulante (líquida ou gelo), do vento e dos seres vivos. A erosão pode ser definida como o conjunto de processos que separa os produtos da meteorização da rocha de origem. Com exceção para os seres vivos, os agentes erosivos podem ser também, posteriormente, agentes de transporte.

A erosão é responsável por formações geológicas características de paisagens sedimentares, como as chaminés de fada, os blocos pedunculados, os ravinamentos e os arcos litorais, citando apenas alguns exemplos.



Fig. 57 Chaminés de fada. Turquia.



Fig. 58 Bloco pedunculado. EUA.



Fig. 59 Arco litoral. Tarrafal, Cabo Verde.



Fig. 60 Ravinas. Ilha da Boa Vista, Cabo Verde.

Transporte

Manual Digital

Atividade
Erosão e transporte

Os clastos e iões dissolvidos, produzidos durante a meteorização e removidos por erosão, podem ser transportados para outros locais através de agentes transportadores, como o vento e a água (nos estados líquido e sólido) e por ação gravítica. A duração do transporte depende da dimensão, forma e densidade do clasto, da energia do agente transportador e do relevo.

Durante o transporte, os clastos continuam a sofrer meteorização, tornando-se progressivamente mais arredondados, pequenos e bem calibrados.

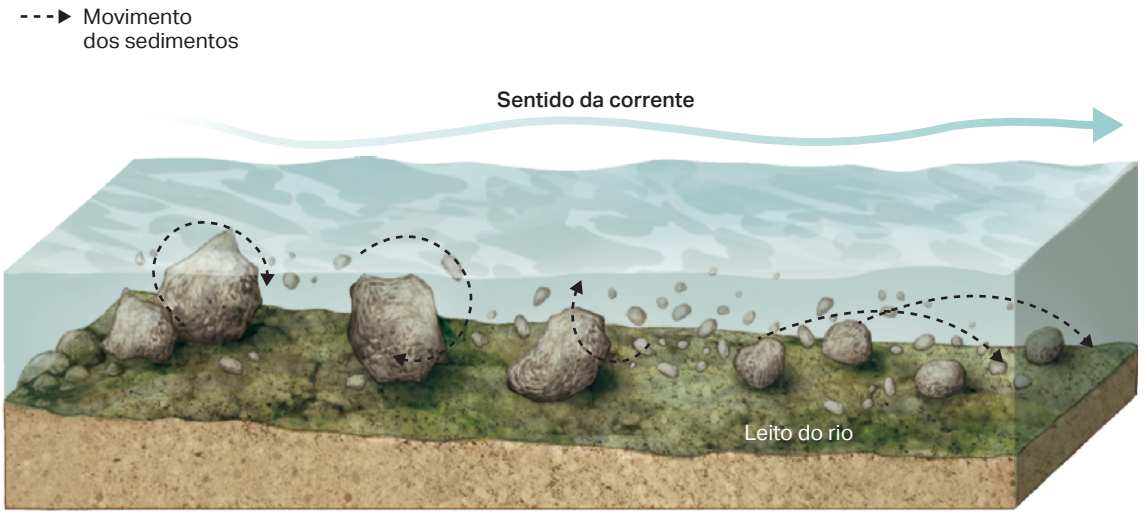
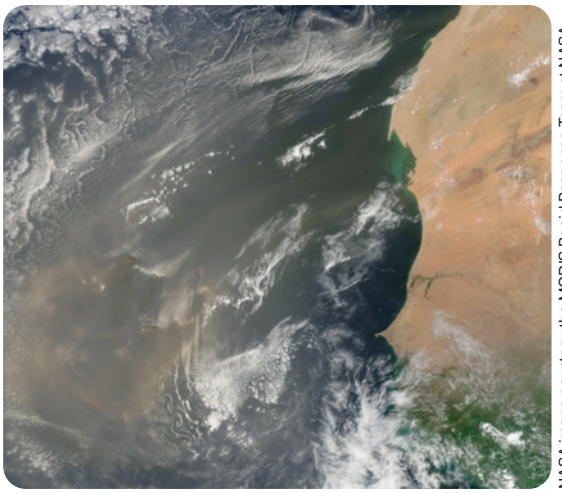


Fig. 61 Transformação dos clastos durante o transporte.

A água é o principal agente transportador, deslocando materiais em solução, em suspensão, por rolamento e saltação. Quando no estado sólido (gelo), torna-se o agente transportador menos seletivo, deslocando desde partículas muito pequenas até blocos de grandes dimensões.

O vento é o agente transportador mais seletivo, transportando grãos de reduzidas dimensões, como areia fina, silte e argila. Em regiões áridas e com poucos obstáculos naturais, o vento pode transportar sedimentos a longas distâncias. Disso exemplo são as nuvens de poeiras do continente africano que atingem regularmente Cabo Verde. As "brumas secas" são argilas e siltes provenientes do deserto do Saara, no norte de África, transportadas pelo vento a grande altitude, por milhares de quilómetros.



NASA image courtesy the MODIS Rapid Response Team at NASA GSFC.

Fig. 62 Poeiras do Saara sobre as ilhas do arquipélago de Cabo Verde. Fonte: NASA.

Sedimentação

Ao perder energia, o agente transportador perde capacidade de transporte e os clastos depositam-se (em ambiente terrestre ou aquático) por ação da gravidade, formando uma sucessão de camadas horizontais e paralelas – os estratos. Quando o agente transportador é o gelo, os clastos por ele arrastados depositam-se quando ocorre fusão.

Manual Digital
Atividade
Ambientes de sedimentação

Estudar depósitos sedimentares numa determinada região permite concluir sobre a energia do agente transportador. O diagrama de Hjulstrom, muito utilizado nestes estudos, delimita áreas de erosão, transporte e sedimentação em função da velocidade de uma corrente de água (cm/s) e do diâmetro dos clastos por ela transportados (mm).

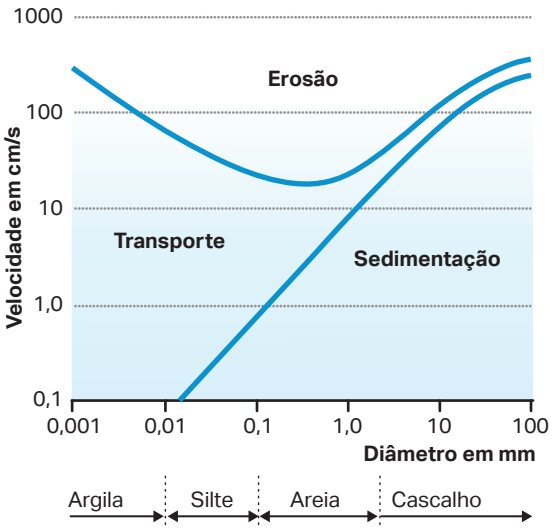


Fig. 63 Diagrama de Hjulstrom.

Responde tu

1. Explica a razão pela qual a zona que corresponde à sedimentação se encontra maioritariamente na parte inferior direita do diagrama de Hjulstrom.
2. Justifica se o diagrama de Hjulstrom pode ser útil no estudo dos sedimentos que constituem as dunas do deserto de Viana, na ilha da Boa Vista.

Fig. 64 Areias finas transportadas pelo vento depositam-se quando encontram obstáculos, formando dunas, como as do deserto de Viana, na ilha da Boa Vista, Cabo Verde.

Diagénese

Manual Digital

Atividade
Sedimentação e diagénese

A diagénese, ou litificação, é o conjunto de transformações físicas e químicas que transformam os depósitos sedimentares em rochas sedimentares. A litificação de sedimentos envolve duas etapas principais – **compactação** e **cimentação**.

Durante a **compactação**, como consequência da pressão exercida pelos estratos superiores, ocorre a diminuição do espaço intersticial entre os sedimentos, com expulsão da água ou do ar lá existente. A diminuição da porosidade tem como consequências a diminuição do volume do estrato, a desidratação e o aumento da densidade.

A **cimentação** resulta da precipitação de substâncias em solução, favorecida pela compactação. Neste processo, substâncias como a sílica, o carbonato de cálcio e os óxidos de ferro agregam os sedimentos, atuando como um cimento natural.

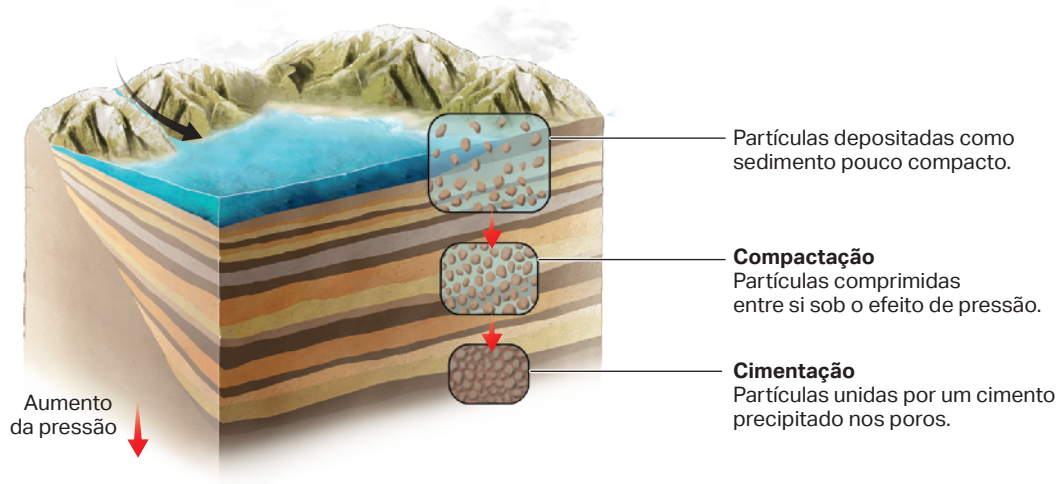


Fig. 65 Esquema representativo das alterações sofridas pelos sedimentos durante a diagénese.

Durante a diagénese, a alteração das condições de pressão e temperatura e a circulação de fluidos com iões dissolvidos induzem a transformação de alguns minerais noutros mais estáveis nas novas condições ambientais.



Fig. 66 Depósitos carbonatados do Miocénico, intercalados com materiais vulcânicos, em Carbeirinho, na ilha de São Nicolau, Cabo Verde.

Atividade prática



A campanha oceanográfica M162 – GLORIA FLOW foi realizada no oceano Atlântico ao longo da Falha Glória, estrutura que integra a Zona de Fratura Açores-Gibraltar, uma importante fronteira tectónica do Atlântico Nordeste. As novas observações vão permitir um novo entendimento da atividade geológica. A investigação abordou também um segmento-chave do rifte da Terceira. Esta é uma estrutura tectónica a nordeste do planalto dos Açores e constitui um dos segmentos do ponto triplo que separa as placas litosféricas Americana, Eurasiática e Núbia. No decorrer da campanha foi usado um conjunto de técnicas de amostragem direta e indireta da crusta oceânica profunda, incluindo sistemas acústicos de prospeção, medição e propriedades térmicas da crusta, captação de imagens de vídeo e amostragem de sedimentos e fluidos. A campanha recolheu 45 sondagens ao longo de cerca de 1000 km na fratura Açores-Gibraltar. A motivação científica por detrás desta campanha era tentar compreender o papel que os fluidos, como a água, têm na atividade e evolução deste tipo de falhas. Os fluidos podem atuar como um lubrificante da crusta terrestre e das suas falhas, facilitando a sua deformação e movimento.

Baseado em: Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2020). Investigação da Falha GLORIA, Nordeste Atlântico. https://www.ipma.pt/pt/media/noticias/news.detail.jsp?y=2020&f=campanhagloria.html e em Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. (2020, abril 7). Falha Glória. https://arquivo.ciencias.ulisboa.pt/pt/noticia/07-04-2020/falha-gl%C3%B3ria.

1. **Indica o objetivo da campanha oceanográfica M162 – GLORIA FLOW.**
2. **De acordo com o texto, refere qual é a influência exercida pelos fluidos na dinâmica das falhas.**
3. **Refere em que consiste um ponto triplo no contexto da tectónica de placas.**
4. **Pesquisa sobre outros pontos triplos do planeta, registando, para cada um, a localização aproximada, as placas envolvidas e o tipo de fronteira entre placas.**

Atividade laboratorial Convecção

Os movimentos convectivos que ocorrem no interior do planeta são um fenómeno que demora milhões de anos a acontecer. Para que possas observar movimentos convectivos no decorrer de uma aula, será necessário utilizar um líquido – água – onde o surgimento destas correntes ocorre de forma rápida.

Material

- Gobelés (1 x 250 mL, 2 x 100 mL);
- Água;
- Corante alimentar (2 cores contrastantes da mesma marca, por exemplo, azul e vermelho);
- Gelo colorido;
- Lamparina e fósforos;
- Pipetas.

Procedimento A

1. Enche, com água à temperatura ambiente, um gobelé de 250 mL até cerca de 2/3 da sua capacidade.
2. Prepara dois gobelés com água com colorações diferentes (deves colocar a mesma quantidade de corante em cada gobelé).
3. Aquece a água corada de vermelho e arrefece a água corada de azul.
4. Enche duas pipetas com cada uma das soluções.
5. Coloca as pipetas dentro da água do gobelé de 250 mL com as pontas a meia altura da coluna de água e esvazia-as em simultâneo.
6. Observa e regista os resultados.

Procedimento B

1. Enche, com água à temperatura ambiente, um gobelé de 500 mL até cerca de 2 cm do topo.
2. Coloca um cubo de gelo com corante a flutuar junto à borda superior do gobelé.
3. Observa e regista os resultados.

Discussão

1. Justifica a necessidade de, no procedimento A, serem usadas a mesma quantidade de corante, a mesma quantidade de água e corantes da mesma marca.
2. Explica o diferente comportamento da água colorida após o passo 5 do procedimento A.
3. Estabelece os paralelismos possíveis entre os resultados do procedimento B e o mobilismo das placas litosféricas.

Comunicação

Elabora o relatório da atividade.

Atividade laboratorial Deformação de materiais

O comportamento dúctil ou frágil dos materiais geológicos está relacionado com a composição das rochas, mas é fortemente condicionado pelo local do planeta onde estes se encontram. Fatores como a pressão e a temperatura determinam o modo como um corpo rochoso se comporta quando sob tensão. Este facto é facilmente comprovável em laboratório, quando utilizamos como material o vidro.

Material

- 2 Pipetas de Pasteur ou varetas finas de vidro;
- Plasticina;
- Palito de madeira;
- Lamparina e fósforos.

Procedimento A

1. Aplica pressão na ponta mais fina da pipeta de Pasteur.
2. Observa e regista o comportamento do vidro à temperatura ambiente.
3. Aquece a ponta mais fina da pipeta de Pasteur na chama de uma lamparina.
4. Aplica pressão na ponta mais fina da pipeta (sem que arrefeça primeiro).
5. Observa e regista o comportamento do vidro a quente.

Nota de segurança: não apliques pressão diretamente com as mãos em material aquecido à chama.

Procedimento B

1. Aplica pressão no palito de madeira.
2. Observa e regista o comportamento do palito quando submetido à força aplicada.
3. Aplica pressão numa barra de plasticina.
4. Observa e regista o comportamento da plasticina quando submetida à força aplicada.

Discussão

1. Classifica o comportamento do vidro a frio.
2. Classifica o comportamento do vidro a quente.
3. Apresenta uma conclusão baseada nos resultados.
4. Explica a conclusão possível se tivessem sido utilizados materiais diferentes nas duas situações (a quente e a frio).

Comunicação

Elabora um vídeo que explique o efeito da temperatura no comportamento dos materiais quando submetidos a tensões.
O vídeo deve ser curto (1 a 2 minutos), claro e objetivo. Deve utilizar linguagem científica adequada e basear-se nas observações experimentais realizadas.

Atividade prática

Os processos de meteorização e erosão que podemos observar numa determinada região são fortemente condicionados por fatores como o tipo de rochas, o relevo e o clima.
A origem vulcânica, o relevo e a localização geográfica de Cabo Verde traduzem-se numa diversidade de ambientes que determinam o tipo de meteorização a que as rochas de cada ilha vão estar predominantemente sujeitas.

Baseado em https://www.natgeo.pt/ciencia/2020/05/gloria-flow-o-primeiro-estudo-sistematico-sobre-a-zona-de-fratura-acores-gibraltar. Consultado em jan 2020.

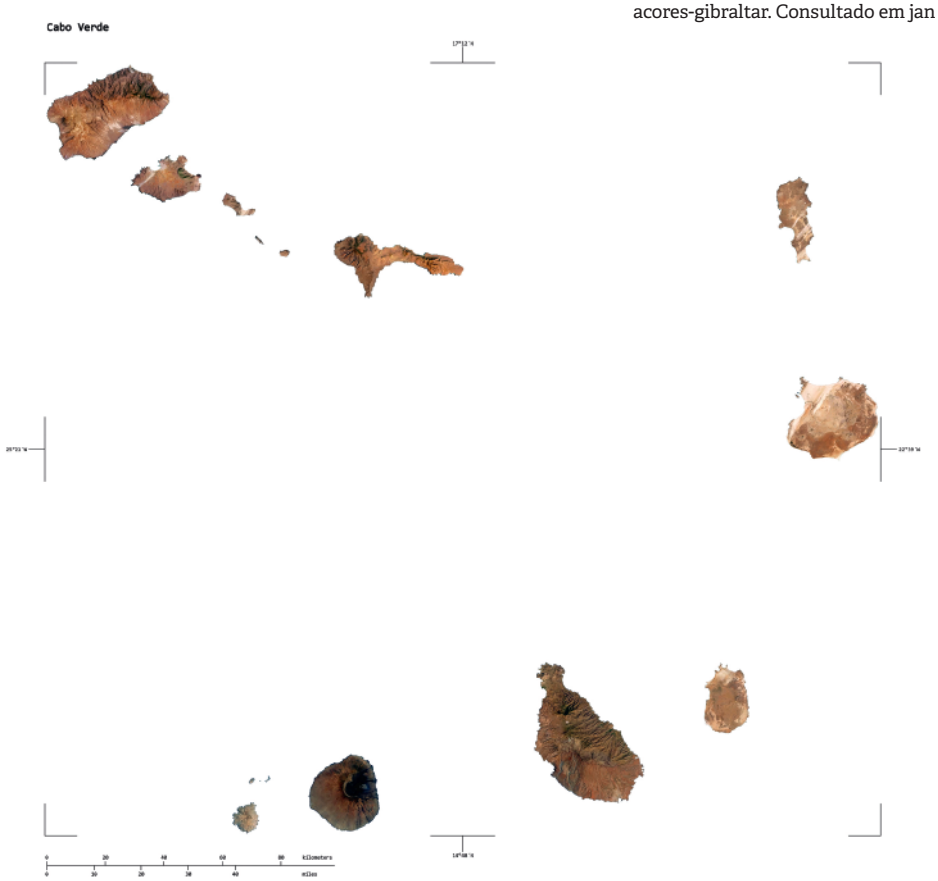


Fig. 1 Arquipélago de Cabo Verde.

1. Pesquisa, em grupo, as características climáticas de cada ilha ou conjunto de ilhas.
2. Procura evidências fotográficas de processos de meteorização física e/ou química em cada ilha ou conjunto de ilhas.
3. Legenda as fotografias, relacionando cada processo com as condições climáticas que o favorecem.
4. Organiza um dossier temático subordinado ao tema "Meteorização e erosão em Cabo Verde".

Atividade laboratorial Sedimentação e diagénese

Os processos de sedimentação e de diagénese são relativamente simples de simular em laboratório com recurso a sedimentos. Estas simulações, embora utilizem materiais geológicos, decorrem numa escala temporal e espacial muito diferente das do planeta Terra.

Material

- Sedimentos de várias granulometrias;
- Proveta de 500 mL;
- 2 gobelés;
- Tabuleiro de plástico;
- Água;
- Sal.

Procedimento A

1. Mistura sedimentos de três granulometrias diferentes dentro da proveta até obter uma coluna com cerca de 6 cm desde a base.
2. Completa com água até cerca de 2 cm do topo da proveta.
3. Com a mão, tapa a abertura da proveta e agita vigorosamente.
4. Pousa a proveta sobre uma mesa.
5. Observa e regista as observações efetuadas ao fim de alguns minutos, no final da aula e na aula seguinte.

Procedimento B

1. Coloca cerca de 1 cm de areia fina em dois gobelés (A e B).
2. Enche o gobelé A com água destilada até cobrir totalmente a areia.
3. Enche o gobelé B com água saturada em sal até cobrir totalmente a areia.
4. Guarda os gobelés até a água evaporar totalmente.
5. Vira os gobelés sobre um tabuleiro, de modo que fiquem com a abertura para baixo.
6. Observa e regista os resultados.

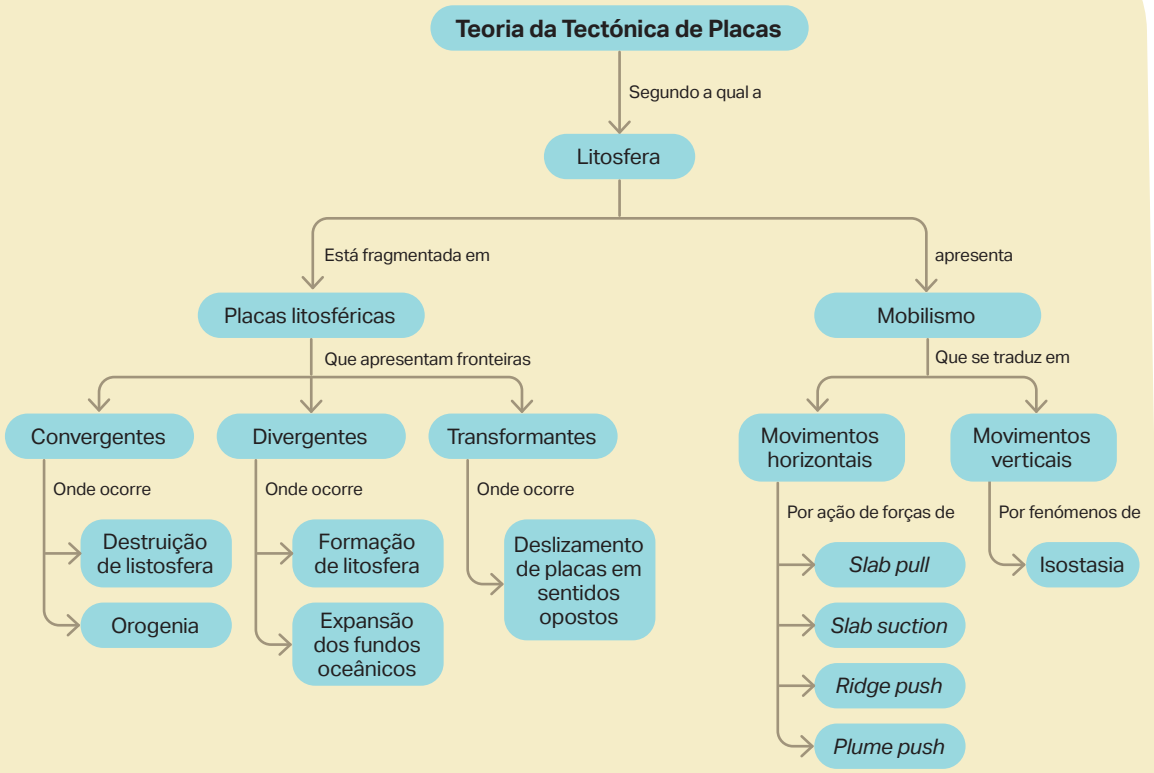
Discussão

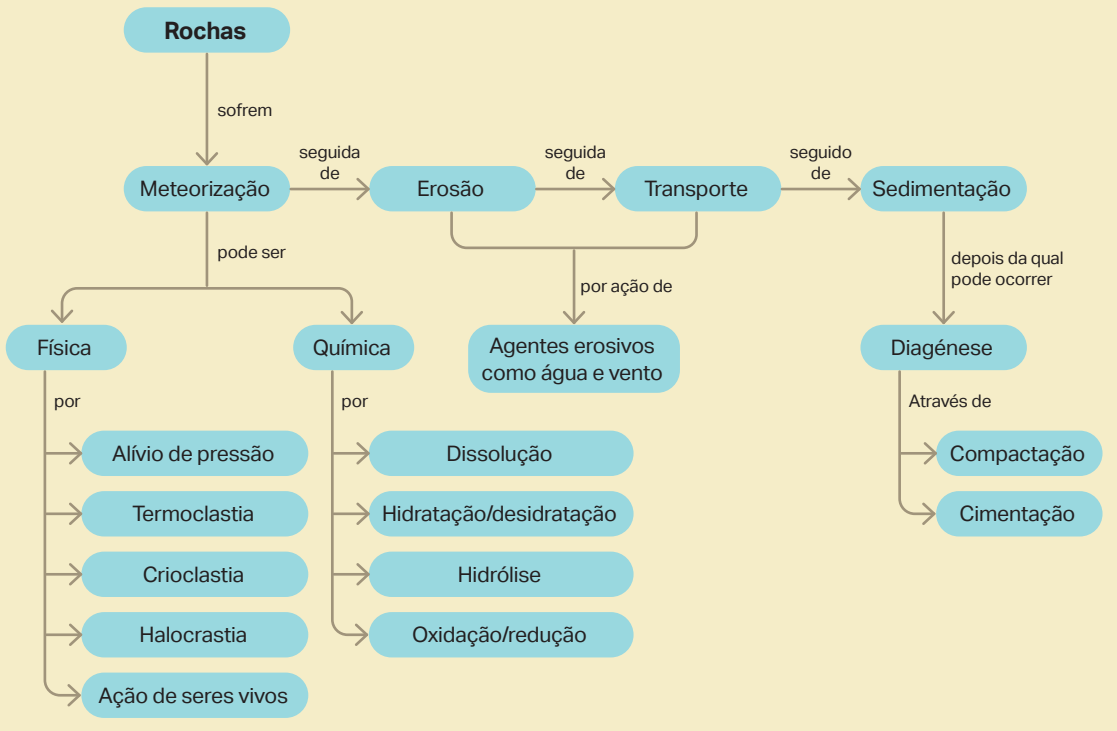
1. Apresenta uma explicação para o aparecimento de uma quarta camada sobre os sedimentos no interior de algumas provetas do procedimento A.
2. Explica a importância do gobelé A no procedimento B.
3. Identifica as variáveis dependente e independente em estudo.
4. Estabelece a correspondência possível entre os procedimentos A e B e as etapas do ciclo litológico.

Comunicação

Elabora o relatório da atividade.

Mapa de conceitos





Em resumo…

O que é a teoria da Tectónica de Placas?

A teoria da Tectónica de Placas é uma teoria global que explica a mobilidade da litosfera. Segundo esta teoria, a litosfera terrestre, constituída pela crusta e pela parte superior do manto, encontra-se fragmentada em várias placas que se movem sobre a astenosfera, uma camada menos rígida e mais plástica do manto superior.

Quais são as diferenças entre as placas litosféricas continentais e as placas litosféricas oceânicas?

A placa listosférica oceânica apresenta uma espessura média de 8 km e tem composição basáltica.

A placa litosférica continental apresenta espessura média de 35 a 40 km (70 km nas zonas montanhosas) e tem composição essencialmente granítica.

Que forças estão na origem do movimento horizontal das placas litosféricas?

Slab pull – força exercida quando uma placa litosférica fria e densa mergulha no manto, puxando a restante placa.

Slab suction – força de sucção gerada pelo afundamento de uma placa litosférica no manto. Contribui para o movimento convergente das placas.

Ridge push – força de empurrão resultante da ação gravítica nas dorsais oceânicas, onde o material quente e elevado empurra as placas para longe da dorsal.

Plume push – força gerada pela ascensão de uma pluma mantélica. Pode interferir na dinâmica da placa litosférica sobrejacente, causando elevação e rotura e podendo alterar a velocidade ou o sentido de deslocação da placa.

O que é o Ciclo de Wilson?

O Ciclo de Wilson descreve as etapas de abertura e fecho dos oceanos, desde a rotura de um supercontinente até à colisão de placas continentais.

O que é a tomografia sísmica?

A técnica de tomografia sísmica permite obter informação detalhada sobre a estrutura interna do manto através da deteção de anomalias na velocidade de propagação de ondas geradas pela atividade sísmica.

O que são os movimentos verticais da litosfera?

Os movimentos verticais de levantamento ou afundamento da litosfera são consequência do ajuste isostático em resposta a processos resultantes da dinâmica interna e externa do planeta.

Em resumo…

Como se deformam as rochas em regime frágil?

- Em resultado da ação de forças distensivas formam-se falhas normais (o teto desce em relação ao muro).
- Em resultado da ação de forças compressivas formam-se falhas inversas (o teto sobe em relação ao muro).
- Em resultado da ação de forças de cisalhamento formam-se falhas transformantes (os blocos deslizam horizontalmente, em sentidos opostos, ao longo de uma superfície de falha).

Como se deformam as rochas em regime dúctil?

- Em resultado da ação de forças distensivas, formam-se estiramentos, com alongamento e diminuição da espessura das rochas.
- Em resultado da ação de forças compressivas, formam-se dobras, com encurtamento e aumento da espessura das rochas.
- Em resultado da ação de forças de cisalhamento, formam-se cisalhamentos, com deslocamento paralelo das rochas, deformando os materiais por torção.

Quais são as etapas da sedimentogénese?

→ À superfície, as rochas expostas aos agentes erosivos são sujeitas a um conjunto de processos que estão na origem da formação e acumulação de sedimentos. A sedimentogénese compreende a meteorização, a erosão, o transporte e a sedimentação ou deposição.

Como ocorre a meteorização física?

→ O desgaste, fraturação e desagregação das rochas em fragmentos menores ocorre por alívio de pressão (expansão das rochas devido à diminuição da pressão), termoclastia (dilatação e contração provocadas por variações de temperatura), crioclastia (congelamento e descongelamento da água no interior de fraturas), haloclastia (crescimento de cristais devido à precipitação de sais nas fissuras) e ação dos seres vivos (por exemplo raízes e escavação).

Como ocorre a meteorização química?

→ A alteração química e mineralógica das rochas pode ocorrer por dissolução (remoção de minerais solúveis pela ação da água), hidratação/desidratação (adição ou perda de moléculas de água na malha cristalina do mineral), hidrólise (transformação de minerais devido à reação com água, originando novos minerais) e oxidação/redução (alteração dos minerais pela variação do estado de oxidação dos elementos, como o ferro).

Teste formativo

Grupo I

O Alto Atlas (fig. 1) é uma cadeia montanhosa do norte de África formada por grandes dobras e falhas resultantes da colisão entre as placas Africana e Eurasiática. As rochas sedimentares e metamórficas foram deformadas por forças compressivas, que provocaram encurtamento e elevação da crosta.



Fig. 1

Observam-se anticlinais e sinclinais bem marcados, bem como falhas inversas e falhas de cavalgamento, que testemunham a intensa compressão tectónica sofrida pela região.

Esta deformação começou no Mesozoico, durante a abertura do oceano Atlântico, e intensificou-se no Cenozoico, quando o movimento convergente das placas levou ao soerguimento da cordilheira.

O resultado é uma paisagem montanhosa onde as estruturas dobradas e falhadas revelam a história tectónica da região.

Adaptado de: Duarte, L. V., & Sadki, D. (2021). *Geologia de Marrocos (II) – Da morfologia do Alto Atlas ao Jurássico do Mar de Tétis.* Revista de Ciência Elementar, 9(2), 039.

1 **As falhas existentes no Atlas formaram-se em regime _____ com _____ do teto em relação ao muro.**

(A) dúctil … subida
(B) dúctil … descida
(C) frágil … subida
(D) frágil … descida

2 **Nos anticlinais e sinclinais do Atlas, as rochas do núcleo das dobras são.**

(A) mais antigas e mais recentes, respetivamente.
(B) mais recentes nas duas situações.
(C) mais recentes e mais antigas, respetivamente.
(D) mais antigas nas duas situações.

3 **Identifica o tipo de fronteira entre as placas Núbia e Eurasiática na região onde ocorreu a formação do Atlas.**

Teste formativo

4 **As deformações rochosas observadas no Alto Atlas estão associadas principalmente a**

(A) forças distensivas, que provocaram alongamento da crosta.
(B) forças compressivas, que provocaram encurtamento e elevação da crosta.
(C) forças de cisalhamento, que provocaram deslocamento horizontal das rochas.
(D) forças gravitacionais, que originaram subsidência da crosta.

5 **A coexistência de dobras e de falhas no Alto Atlas indica que as rochas da região**

(A) estiveram sempre sujeitas às mesmas condições de temperatura e pressão ao longo do tempo geológico.
(B) sofreram apenas deformação frágil, independentemente da profundidade a que se encontravam.
(C) foram deformadas em condições físicas distintas, evidenciando comportamentos frágil e dúctil em diferentes momentos da sua história tectónica.
(D) não registam variações significativas nas condições tectónicas durante a sua formação.

6 **Um ciclo oceânico completo implica a abertura e o fecho de um oceano. Ordene as expressões identificadas pelas letras de A a E, de modo a reconstituir a sequência cronológica de acontecimentos desse ciclo.**

(A) Instalação de um rifte continental.
(B) Estiramento de crusta continental.
(C) Início do alargamento de um oceano.
(D) Formação de uma cadeia montanhosa.
(E) Instalação de vulcanismo em margens continentais ativas.

7 **O gradiente geotérmico no Atlas é _____ ao de Cabo Verde.**

(A) superior **(B)** inferior **(C)** idêntico **(D)** equivalente

8 **A cota de maior altitude do Atlas depende**

(A) exclusivamente da ação erosiva, que remove material das montanhas.
(B) apenas da subsidência tectónica provocada pela separação de placas.
(C) da combinação entre a elevação causada pela convergência tectónica e remoção de materiais resultante da erosão.
(D) da acumulação de sedimentos recentes que aumentam a espessura da crosta.

9 **Explica, com base nos elementos que permitem caracterizar as dobras, de que forma procederias, em campo, para determinar a direção de atuação de forças responsáveis pela formação de uma dobra.**

10 **Justifica a ocorrência de crioclastia e termoclastia no topo do Atlas.**

Grupo II

Na ilha do Fogo, em Cabo Verde, a meteorização química dos basaltos foi estudada através da análise geoquímica e mineralógica dos rególitos. Verificou-se que as rochas sofrem perda de elementos móveis (como sódio, cálcio e magnésio) e enriquecimento em elementos menos móveis (como ferro, titânio e alumínio), acompanhados da alteração de minerais como a olivina e da formação de minerais secundários, como argilas e óxidos de ferro. A intensidade da meteorização depende da idade das rochas, do tipo de material vulcânico e das condições locais de relevo e pluviosidade.

Adaptado de: https://doi.org/10.1144/SP520-2021-61

1 **Explica, no contexto do ciclo litológico, o motivo pelo qual o estudo mineralógico do rególito permite obter informações sobre o grau de meteorização química sofrida pelos basaltos.**

2 **De entre as seguintes afirmações referentes ao processo de meteorização em Cabo Verde, seleciona as verdadeiras.**

I. A olivina é um mineral dificilmente alterável.
II. A alteração dos minerais do basalto envolve remoção de elementos químicos e formação de novos minerais.
III. Os estudos referidos no texto basearam-se na análise da composição química dos basaltos.
IV. Os minerais secundários formados durante a meteorização contribuem para a coloração avermelhada das rochas basálticas alteradas.
V. A meteorização química nos basaltos é favorecida pela presença de fraturas que aumentam a superfície de contacto entre a rocha e a água.

3 **Faz corresponder os diferentes processos de meteorização das rochas, referidos na coluna A, à respetiva designação, que consta da coluna B.**

Coluna A	Coluna B
(a) O crescimento de cristais provoca o alargamento de fendas nas rochas. **(b)** Ocorre a alteração de minerais ferrosos em ambiente superficial. **(c)** Fraturação associada a contrações e dilatações sucessivas dos materiais rochosos.	**(1)** Dissolução **(2)** Termoclastia **(3)** Hidrólise **(4)** Oxidação **(5)** Haloclastia

4 **Justifica a afirmação: "As rochas mais antigas e as zonas com maior humidade e declives suaves mostram maior alteração química".**

2



Atlas, Marrocos.



Grandes Estruturas Geológicas

2.1. Estruturas Geológicas Resultado da Geodinâmica

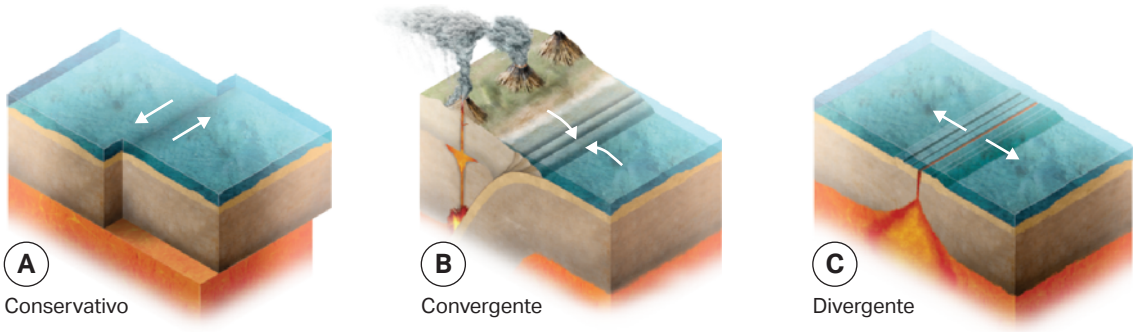
O vulcanismo é uma manifestação do dinamismo interno da Terra. Os vulcões do arquipélago de Cabo Verde, devido ao contexto geológico onde se localizam, constituem verdadeiros "laboratórios" para investigadores cabo-verdianos e mundiais, fornecendo informações sobre os processos que ocorrem no interior da geosfera. Na erupção do dia 23 de novembro de 2014, o vulcão do Fogo emitiu uma nuvem eruptiva visível do espaço.

2.1. Estruturas Geológicas Resultado da Geodinâmica

Definem-se três tipos de fronteiras tectónicas, de acordo com o movimento relativo que as placas litosféricas apresentam nos dois lados das fronteiras. Numa fronteira transformante (conservativa), as duas placas deslizam uma em relação à outra em sentidos opostos. Nas fronteiras divergentes, as placas envolvidas afastam-se uma da outra. As fronteiras convergentes caracterizam-se pela ocorrência de colisão entre duas placas litosféricas.



Fig. 1 Limites tectónicos e velocidade de movimento das placas litosféricas.



A Conservativo

B Convergente

C Divergente



Fronteiras transformantes

O estudo batimétrico das dorsais oceânicas permitiu identificar zonas de fratura que se terão formado ao mesmo tempo que a dorsal. Nestas zonas ativas entre dois segmentos de rifte, as placas deslizam horizontalmente em sentidos opostos, não ocorrendo formação ou destruição de placa litosférica. Caracterizam-se por uma intensa atividade sísmica.

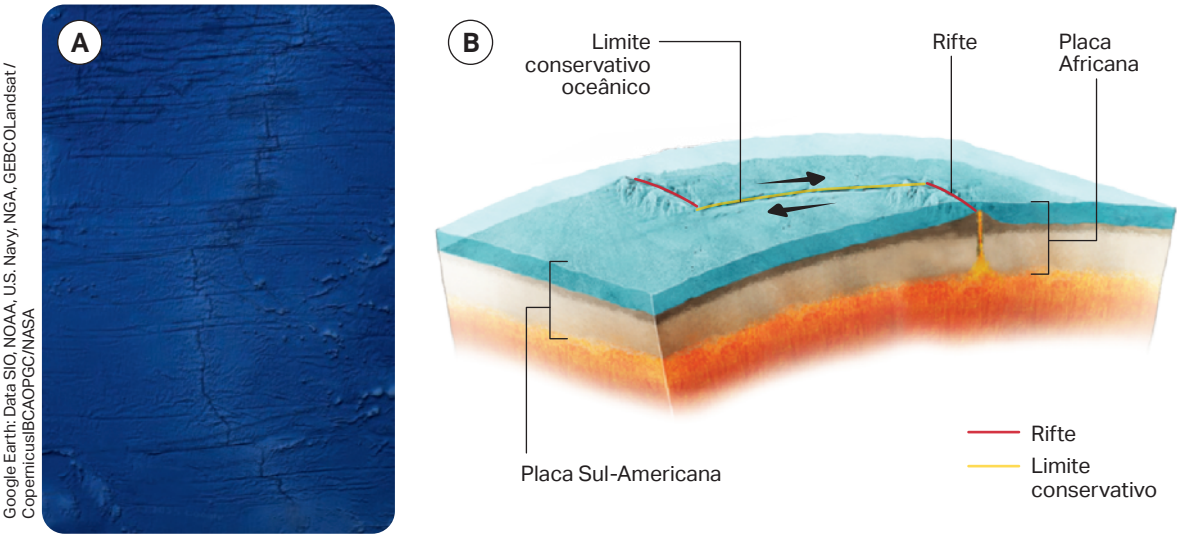


Fig. 2 Dorsal do Atlântico: imagem obtida por batimetria por sonar e por satélite (A) e diagrama representativo de uma fronteira transformante numa região oceânica (B).

As fronteiras transformantes não são exclusivas da litosfera oceânica. Exemplo disso é a falha de Santo André, figura 3 (A), que atravessa a Califórnia e representa o contacto entre a placa Norte-Americana e a placa do Pacífico.

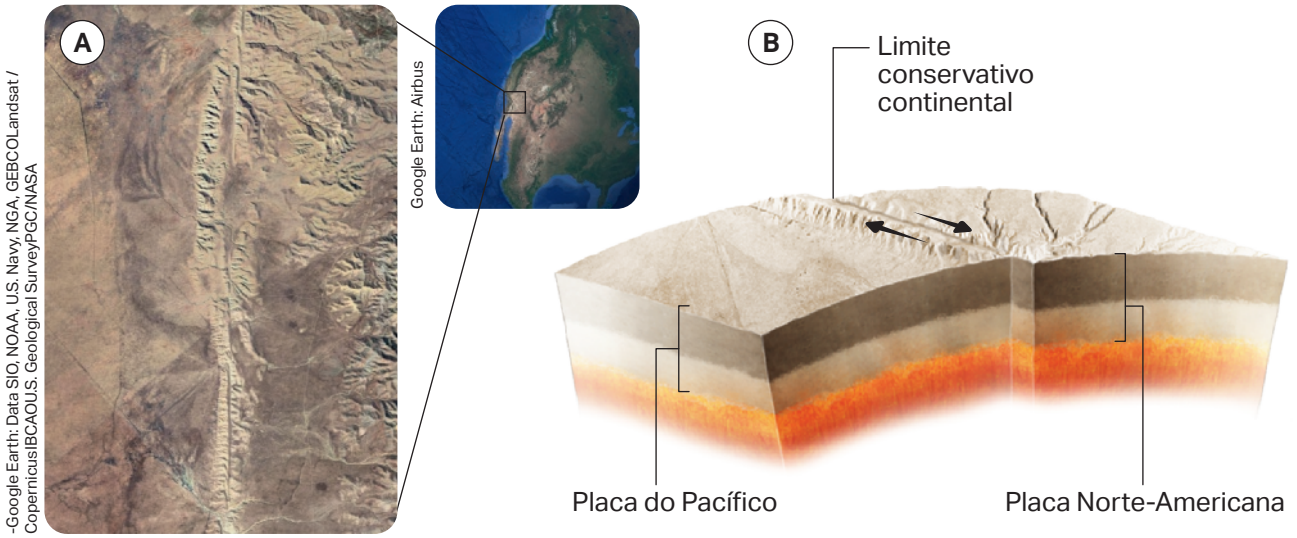
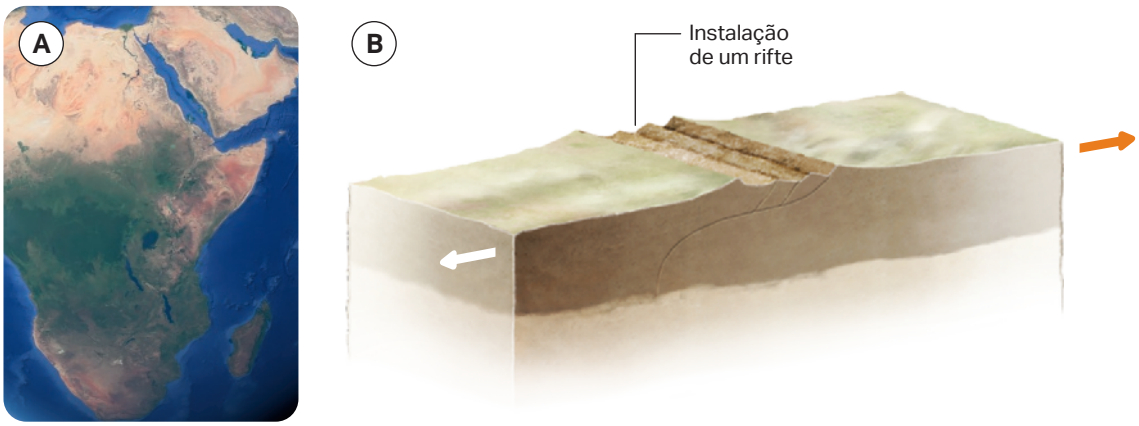


Fig. 3 Falha de Santo André: fotografia (A) e diagrama representativo de uma fronteira transformante numa região continental (B).

Fronteiras divergentes

As fronteiras divergentes estão associadas à rotura de continentes, à abertura e expansão dos oceanos e à formação de dorsais oceânicas. A ascensão de magma nestas regiões está na origem da formação de nova litosfera oceânica, sendo por isso também designadas por fronteiras construtivas. Caracterizam-se pela ocorrência de atividade vulcânica e sísmica.



Google Earth; Data SIO,NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCOLandsat / CopernicusIBCAOU.S. Geological Survey

Fig. 4 Rifte da África Oriental: fotografia (A) e diagrama representativo de uma fronteira divergente (Rifte Este-Africano) numa região continental (B).

Numa fronteira divergente, formam-se conjuntos de falhas normais, simétricas em relação a um plano vertical, originando blocos tectónicos levantados – ***horsts*** – intercalados com blocos tectónicos abatidos – ***grabens***.

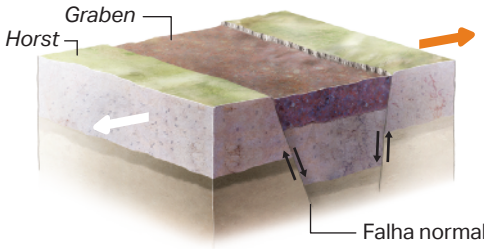


Fig.5 Movimentação relativa de blocos em falhas conjugadas.

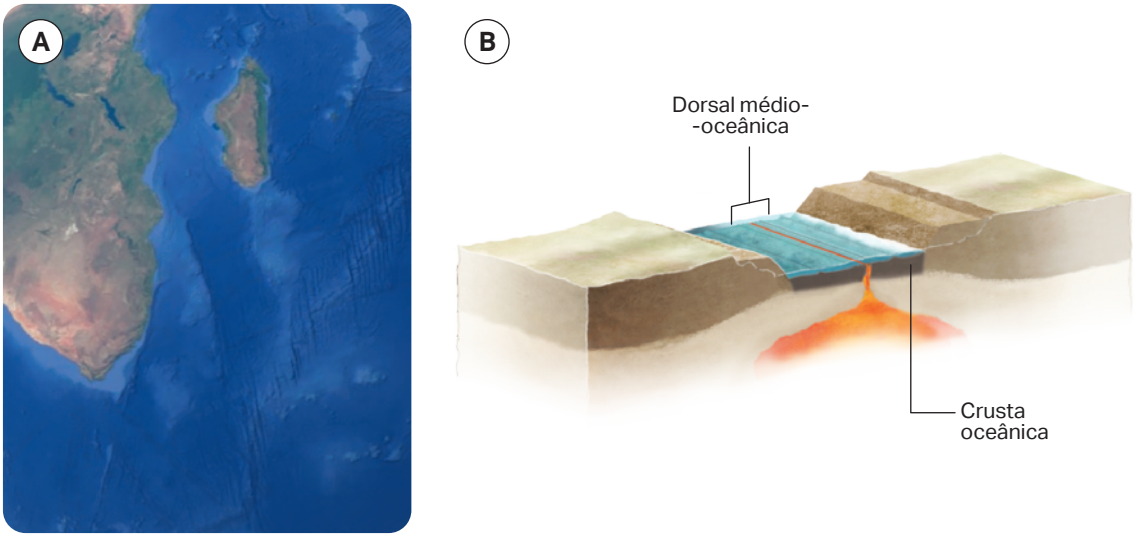


Por Mohammad Goudarzi, CC BY 3.0

Fig. 6 Graben. Irão.

A formação dos riftes está associada à existência de gradientes geotérmicos elevados, em consequência da ascensão de material quente da astenosfera. Este material quente que ascende sob os riftes funde ao atingir zonas mais superficiais da Terra, onde as condições de pressão possibilitam a fusão parcial do peridotito mantélico. O magma assim gerado continua o seu percurso ascendente podendo solidificar em profundidade, dando origem a gabro, ou à superfície ou perto desta, originando basalto.

É no contexto de continuidade destes processos de divergência que a crusta continental se divide em dois blocos separados por uma dorsal médio-oceânica.



Google Earth: Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCOLandsat / CopernicusU.S. Geological SurveyIBCAOPGC/NASA

Fig. 7 Dorsal oceânica do Índico: fotografia obtida por batimetria por sonar e por satélite (A) e diagrama representativo de uma fronteira divergente numa região oceânica (B).

À medida que as placas litosféricas se afastam do eixo da dorsal, a génese de magma continua essencialmente restrita à zona de rifte. O gradual arrefecimento e o aumento de densidade da litosfera, com o seu envelhecimento, conduz à maior profundidade dos fundos oceânicos por ajuste isostático. A subsidência nas zonas mais afastadas da dorsal relaciona-se com a existência das dorsais, zonas menos densas que se elevam em média 2000 m acima dos fundos oceânicos.

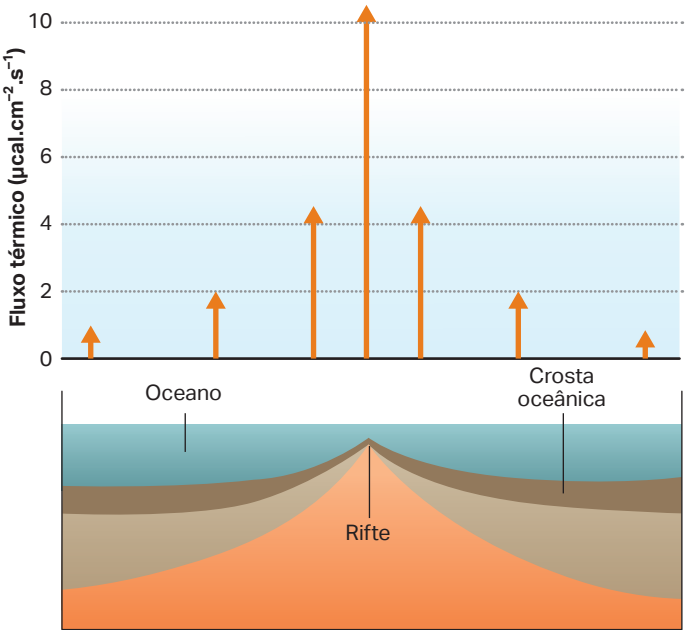


Fig. 8 Variação do fluxo térmico e da profundidade da crusta num fundo oceânico.

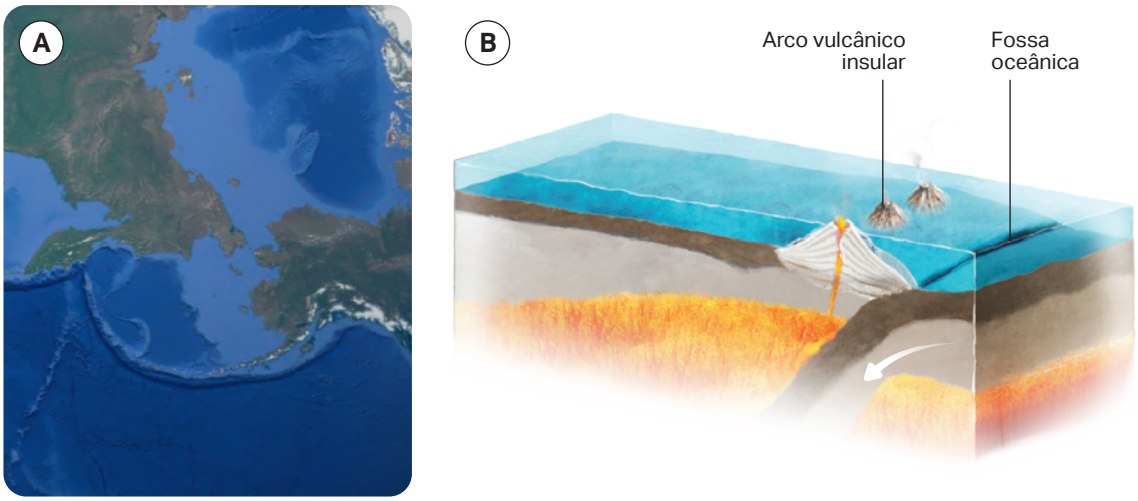
Responde tu

1. Relaciona a instalação do Rifte Este-Africano com a possibilidade de a região do continente africano banhada pelo oceano Índico vir a constituir uma ilha.

Fronteiras convergentes

Na convergência de placas litosféricas, quando pelo menos uma placa é oceânica, ocorre subducção da placa oceânica. Nestas fronteiras existe atividade vulcânica e sísmica intensas.

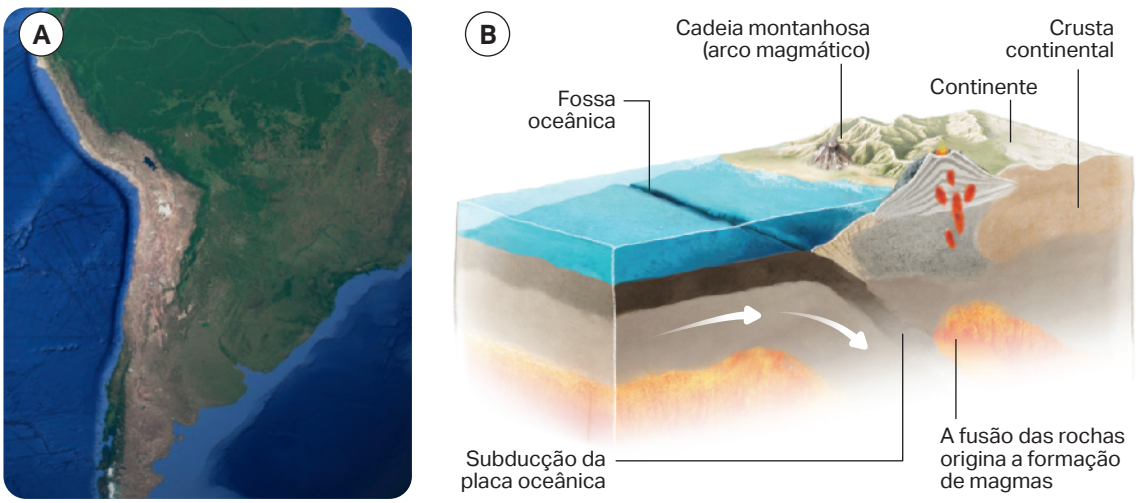
Na fronteira convergente entre placas oceânicas, a placa mais antiga, mais fria e mais densa, é subductada, formando-se uma fossa oceânica. Na placa que não sofre subducção formam-se ilhas de origem vulcânica – **arco insular**.



Google Earth: Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCOLandsat / CopernicusIBCAOU.S. Geological Surve

Fig. 9 Ilhas Aleutas: fotografia obtida por batimetria por sonar e por satélite (A) e diagrama representativo de uma fronteira convergente entre duas placas oceânicas (B).

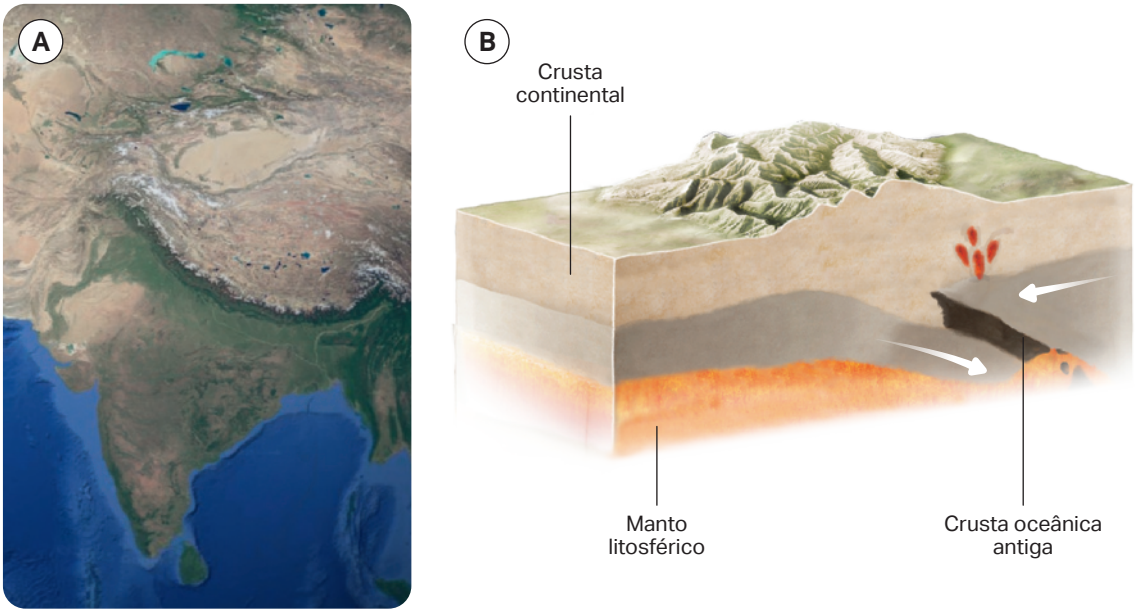
Na fronteira convergente entre uma placa oceânica e uma placa continental, a placa oceânica (mais densa) é subductada. Na placa que não sofre subducção forma-se uma cadeia orogénica com intensa atividade vulcânica – **arco vulcânico continental**.



Google Earth:: Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCOLandsat / CopernicusIBCAOU.S. Geological SurveyPGC/NASA

Fig. 10 Cordilheira dos Andes: fotografia obtida por batimetria por sonar e por satélite (A) e diagrama representativo de uma fronteira convergente entre uma placa oceânica e uma placa continental (B).

A subducção de uma placa oceânica pode subsistir até à colisão de duas placas continentais. A litosfera continental, arrastada pelas forças geradas durante a subducção da placa litosfera oceânica, é menos densa do que o manto e, por essa razão, não mergulha sob a placa continental não subductada. Nesta situação, ocorre espessamento crustal e orogenia.



Google Earth: Landsat / CopernicusData SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCOIBCAOU.S. Geological Survey

Fig. 11 Himalaias: fotografia obtida por batimetria por sonar e por satélite (A) e diagrama representativo de uma fronteira convergente entre duas placas continentais (B).

Nos últimos 540 Ma destacam-se três orogenias: a Caledónica, que terá terminado há cerca de 400 Ma e da qual existem vestígios na Escócia, Escandinávia, Canadá e Ásia; a Hercínica ou Varisca, que terá terminado há cerca de 250 Ma e que terá estado na origem da Pangeia; e a orogenia Alpina, que ainda se encontra ativa e esteve na origem da formação de cadeias montanhosas como o Atlas, os Alpes, os Himalaias e as Montanhas Rochosas.

Responde tu

1. Desenha, no teu caderno, um esquema que represente a formação de *horsts* e *grabens* em regime compressivo.
2. Nas fronteiras convergentes oceano-oceano e oceano-continente ocorrem os sismos mais profundos do planeta. Justifica se estes são sentidos na placa que é subductada ou na placa que subducta.
3. Relaciona a formação de montanhas recentes, como a cordilheira dos Himalaias, com a etapa evolutiva do Ciclo de Wilson.

Atividade laboratorial Simulação da ação de forças compressivas e distensivas na litosfera

Devido aos movimentos das placas litosféricas, as rochas desta camada da Terra estão sujeitas a forças compressivas e distensivas. O efeito destas forças na litosfera pode ser simulado com recurso a uma caixa de deformação.

Material

- Caixa retangular transparente;
- Placas de material rígido (que encaixem no interior da caixa à largura dos lados menores);
- Areia fina bem calibrada;
- Gesso em pó;
- Argila;
- Régua ou fita-métrica.

Procedimento A

1. Coloca, no interior da caixa, cada uma das placas, verticalmente, em extremidades opostas no comprimento da caixa.
2. Coloca, no fundo da caixa, camadas alternadas dos sedimentos, preenchendo-a até metade da altura. A última camada deve ser de areia. Aplana e comprime cada camada à medida que as fores sobrepondo dentro da caixa.
3. Empurra as placas em sentidos opostos, aproximando-as entre si.
4. Observa e regista as observações.

Procedimento B

1. Coloca cada uma das placas verticalmente, em pontos opostos no comprimento da caixa, afastados do limite. Um elemento do grupo (ou mais se o tamanho da caixa o exigir) ficará responsável por manter as placas na posição definida.
2. Repete o passo 2 do procedimento A.
3. Afasta as placas em sentidos opostos.
4. Observa e regista as observações.

Discussão

1. Observa os resultados obtidos na caixa de deformação, nas situações A e B. Para cada situação:
   1.1. Identifica e descreve as estruturas formadas.
   1.2. Descreve a posição das camadas antes e depois da deformação.

Comunicação

Prepara uma breve apresentação oral. Deves apresentar as conclusões que retiraste da simulação, referindo as limitações da mesma no que diz respeito às escalas espacial e temporal e das condições de pressão e temperatura.

Atividade prática

Comunicar através de um póster

É uma forma de partilhar, de modo conciso e apelativo, os resultados de uma investigação. Habitualmente, estes cartazes são apresentados em encontros ou congressos científicos, onde o público circula livremente entre os diferentes pósteres e escolhe aqueles que mais lhe despertam interesse.
A qualidade de um póster mede-se pela clareza com que transmite a informação e pela sua capacidade de atrair a atenção dos visitantes, estimulando o diálogo entre os autores e o público.



Ao preparar a tua comunicação através de um póster, tem presente os seguintes elementos:

Estrutura e organização

- Organiza todas as informações em diferentes tópicos. Um póster terá 4-8 desses tópicos de informação dispostos em 3 ou 4 colunas.
- Os cartazes são lidos da esquerda para a direita e de cima para baixo, por isso certifica-te de que os diferentes tópicos do póster são apresentados de forma que possam ser lidos pela ordem correta.

Design

Um bom design deve facilitar a leitura e destacar as ideias principais. Estas características conseguem-se obedecendo a algumas regras:

- **Fundo e legibilidade:** opta por um fundo claro, de preferência branco, ou com um tom suave. Evita padrões que distraiam ou tornem o texto difícil de ler. Os gráficos devem ser claros, diretos e visualmente equilibrados.
- **Uso da cor:** as cores servem para atrair a atenção e para organizar a informação. Mantém uma paleta harmoniosa e evita o excesso de cores, que pode confundir em vez de ajudar. Prefere texto escuro sobre fundo claro, pois é mais confortável para o leitor.
- **Destaque e organização:** realça as informações essenciais através do tamanho da letra, do contraste ou do posicionamento. A disposição dos elementos deve guiar naturalmente o olhar do leitor, de forma lógica e coerente.

Checklist final – Póster científico

1. **A sequência das ideias é clara e coerente?**
   O conteúdo deve seguir uma estrutura lógica: introdução → apresentação de dados → conclusões.

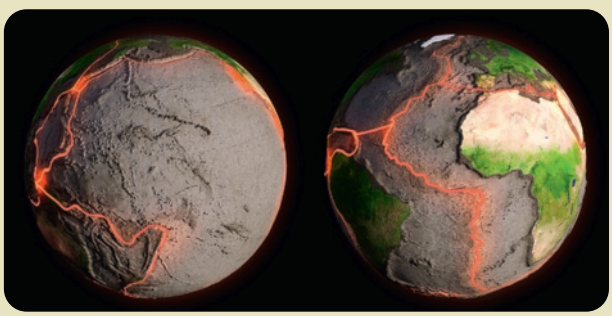
2. **O texto é fácil de ler?**
   A cor e o tipo de letra devem garantir boa legibilidade. Certifica-te de que o tamanho do texto permite a leitura a cerca de 2 metros de distância e revê cuidadosamente a ortografia.

3. **As imagens e os gráficos têm boa qualidade?**
   Amplia o ficheiro até 100% e confirma que fotografias, tabelas e ilustrações mantêm a sua nitidez.

4. **A informação é compreensível de forma rápida?**
   Qualquer figura ou gráfico deve poder ser entendido em poucos segundos, mesmo sem leitura detalhada.

5. **Os elementos mais importantes destacam-se?**
   Ao observar o póster, as partes essenciais devem chamar a atenção de imediato. Um leitor deve conseguir perceber o essencial da tua mensagem em cerca de um minuto.

No grupo turma...

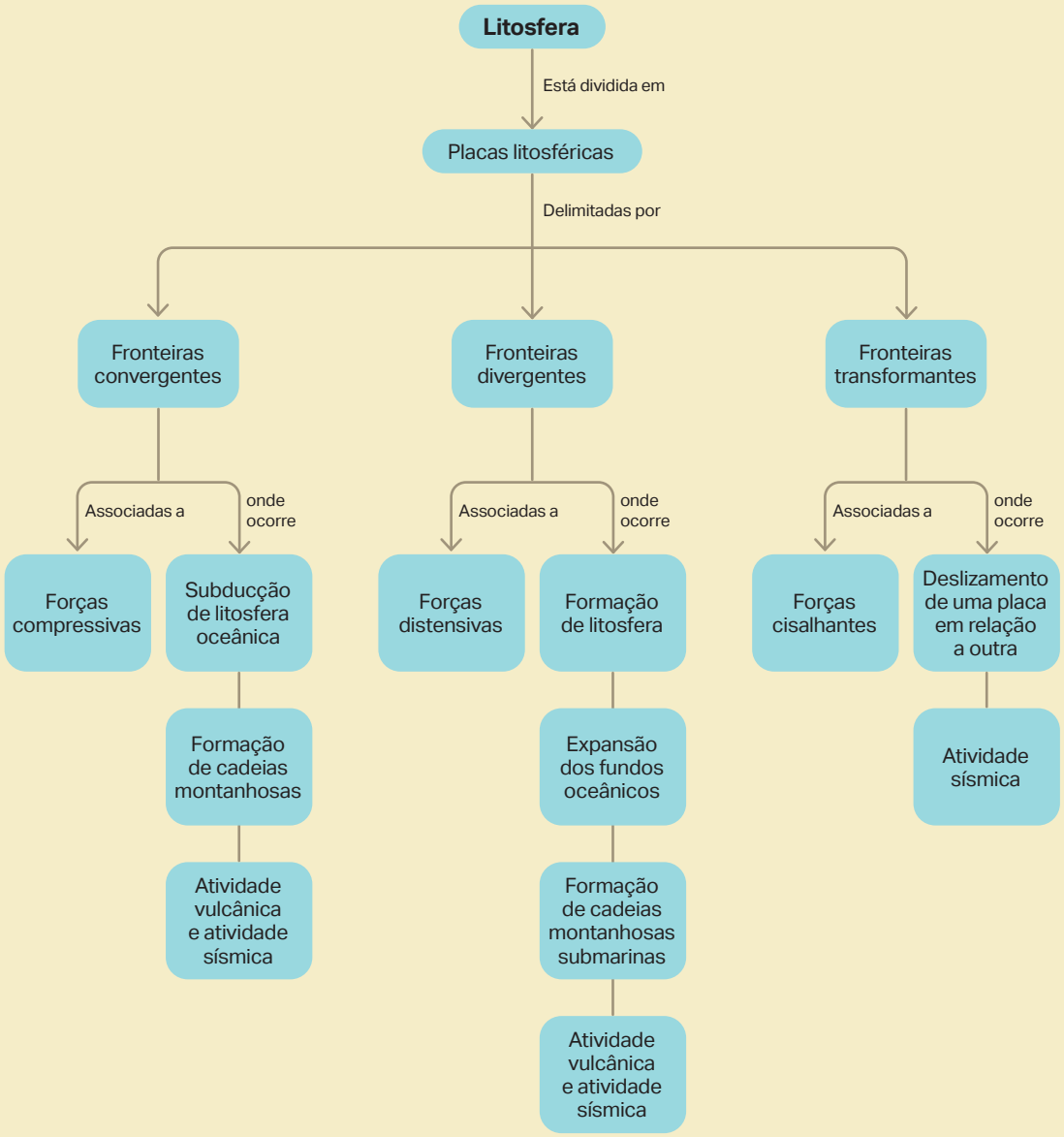


1. Organiza a turma em pequenos grupos de trabalho.
2. Elabora uma lista de grandes estruturas geológicas resultantes da geodinâmica interna da Terra, como dorsais médio-oceânicas, cadeias orogénicas, riftes e fossas oceânicas, e procura exemplos para cada estrutura. Deves ter tantos exemplos de regiões do planeta como grupos de trabalho.
3. Distribui as regiões pelos grupos.

Em pequeno grupo...

1. Realiza uma pesquisa sobre o tema.
2. Organiza a informação recolhida.
3. Ilustra a informação com esquemas, mapas e imagens.
4. Apresenta os resultados sob a forma de um póster científico.

Mapa de conceitos



Em resumo…

Que tipo de fronteiras litosféricas existem?

- Fronteiras divergentes – as placas envolvidas afastam-se uma da outra.
- Fronteiras convergentes – as placas envolvidas colidem.
- Fronteiras transformantes (conservativas) – as placas envolvidas deslizam horizontalmente, uma em relação à outra, em sentidos opostos.

O que acontece nas fronteiras divergentes?

- O fluxo térmico é elevado.
- Instalação de riftes. Os riftes continentais são responsáveis pela rotura de continentes. Os riftes oceânicos estão associados à formação de grandes cadeias montanhosas submarinas – as dorsais.
- Formam-se falhas normais conjugadas com levantamento (*horst*) e abatimento (*graben*) de blocos.
- Ocorre atividade sísmica e vulcânica.

O que acontece nas fronteiras convergentes?

- Entre duas placas oceânicas: a mais densa é subductada. Ocorre vulcanismo na placa não subductada com formação de um arco insular. Ocorre atividade sísmica.
- Entre uma placa oceânica e uma placa continental: a placa oceânica é subductada. Ocorre vulcanismo na placa continental com formação de uma cordilheira montanhosa vulcânica – um arco vulcânico.
- Entre duas placas continentais: não ocorre subducção. Verifica-se espessamento crustal e orogenia. Ocorre atividade sísmica.

O que acontece nas fronteiras transformantes?

- Não há destruição nem formação de placa litosférica.
- Ocorre intensa atividade sísmica.

Teste formativo

Analisa a informação seguinte:

A ilha Terceira, no Arquipélago dos Açores, apresenta seis unidades geomorfológicas: quatro vulcões centrais (1 a 4), uma zona fissural (5) e o Graben das Lajes (6), uma estrutura tectónica distensiva com diversas escarpas de orientação NW-SE.
A atividade hidrotermal, o clima e a vegetação da zona favorecem a formação de depósitos secundários, designadamente de argilas e enxofre. As temperaturas elevadas afetam igualmente as escoadas traquíticas que constituem esta área termal, que se apresentam muito alteradas em minerais de argila e, por vezes, com uma coloração avermelhada.

BAdapatado de: http://www.ivar.azores.gov.pt/geologia-acores/terceira/Paginas/GA-Terceira-Geomorfologia.aspx; FRANÇA, Z., J.V. CRUZ, J.C. NUNES, J.C. e V.H. FORJAZ, 2003. Geologia dos Açores: uma perspectiva atual. Ponta Delgada: Açoreana 10(1): 11-140.

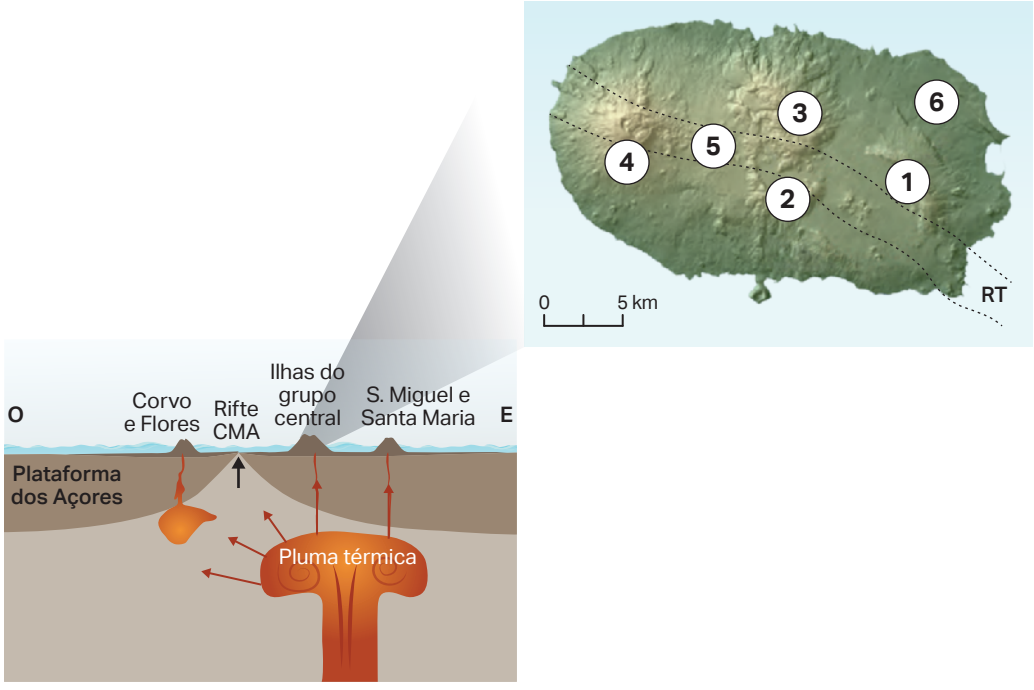


Fig. 1 Enquadramento geotectónico da ilha Terceira (RT – rifte da Terceira; CMA – Crista Médio-Atlântica).

1 A teoria da Tectónica de Placas contribui para a explicação da génese das ilhas do arquipélago açoriano. Justifica a afirmação.

2 Refere, justificando, se o arquipélago dos Açores e o arquipélago de Cabo Verde tiveram origem no mesmo contexto tectónico.

3 **No contexto geotectónico apresentado na figura 1, no rifte da Crista Médio-Atlântica verifica-se**

(A) a atuação de forças predominantemente compressivas.
(B) a atuação de forças predominantemente cisalhantes.
(C) a construção de litosfera oceânica.
(D) a destruição de litosfera oceânica.

4 **A placa onde se localiza a ilha Terceira, à semelhança da placa onde se localiza a ilha de São Nicolau,**

(A) é exclusivamente oceânica.
(B) move-se devido a uma fonte de energia externa, como o Sol.
(C) é constituída por crusta e por parte do manto superior.
(D) tem mantido o mesmo tamanho ao longo da história da Terra.

5 **O fluxo térmico**

(A) é mais elevado nas ilhas do grupo central do que nas ilhas do grupo oriental.
(B) no arquipélago dos Açores é inferior ao fluxo térmico no arquipélago de Cabo Verde.
(C) não varia em toda a extensão do oceano Atlântico.
(D) é superior nas zonas de rifte, tal como o grau geotérmico.

6 **Refere, justificando, se nas regiões de maior fluxo térmico o oceano apresenta maior ou menor profundidade.**

7 **O contexto tectónico dos Açores tem como consequência**

(A) a formação de um arco vulcânico.
(B) a formação de um arco insular.
(C) a ocorrência de vulcanismo mas não de sismos.
(D) o afastamento de algumas ilhas em relação às restantes.

8 **O Graben das Lajes é formado por _____ em consequência de _____.**

(A) blocos abatidos … falhas normais conjugadas
(B) blocos erguidos … falhas normais conjugadas
(C) blocos abatidos … falhas inversas conjugadas
(D) blocos erguidos … falhas inversas conjugadas

9 **Discute a veracidade da afirmação seguinte, utilizando dados do texto.**
"O relevo da ilha Terceira depende exclusivamente da geodinâmica interna do planeta."

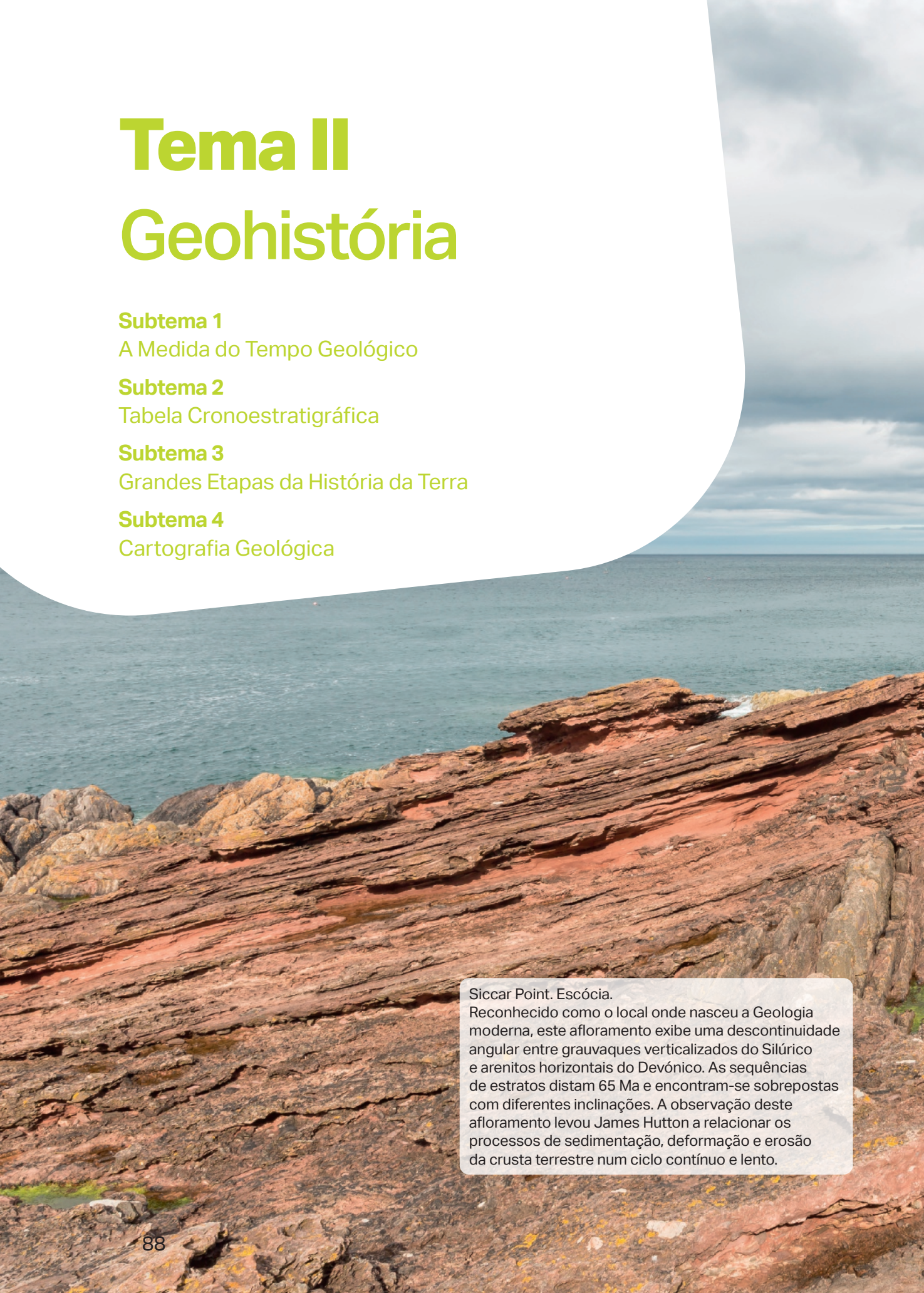
Tema II
Geohistória

Subtema 1
A Medida do Tempo Geológico

Subtema 2
Tabela Cronoestratigráfica

Subtema 3
Grandes Etapas da História da Terra

Subtema 4
Cartografia Geológica



Siccar Point. Escócia.
Reconhecido como o local onde nasceu a Geologia moderna, este afloramento exibe uma descontinuidade angular entre grauvaques verticalizados do Silúrico e arenitos horizontais do Devónico. As sequências de estratos distam 65 Ma e encontram-se sobrepostas com diferentes inclinações. A observação deste afloramento levou James Hutton a relacionar os processos de sedimentação, deformação e erosão da crusta terrestre num ciclo contínuo e lento.



No final do Tema II, serás capaz de:

- Compreender e utilizar a tabela cronoestratigráfica; Conhecer as principais etapas da evolução da vida na Terra e caracterizar as principais divisões cronológicas da história da Terra; Identificar as principais extinções em massa ao longo da história da Terra e reconhecer as suas causas; Caracterizar os principais acontecimentos da evolução paleogeográfica na Terra; Interpretar cartas topográficas e geológicas.

1



Coral fossilizado.



A Medida do Tempo Geológico

1.1. Métodos de Datação

A escala do tempo na Geologia é definida por uma sequência de acontecimentos que marcam a história do planeta. As principais divisões desta escala podem ser caracterizadas pelo seu conteúdo fossilífero, sendo alguns fósseis utilizados na datação de terrenos e na caracterização de paleoambientes.

São conhecidos depósitos fossilíferos marinhos em nove das dez ilhas do arquipélago de Cabo Verde.

1.1. Métodos de Datação

As rochas constituem um registo da história da Terra que os geólogos conseguem interpretar e datar através da aplicação de princípios basilares da Geologia, do registo fóssil e da datação radiométrica.

A observação de um único afloramento rochoso pode revelar evidências de inúmeros acontecimentos geológicos ocorridos ao longo de milhões de anos. É a organização temporal desses acontecimentos – como o desenvolvimento de ambientes sedimentares, a orogenia, as transgressões e regressões marinhas e a evolução da configuração das fronteiras tectónicas, entre outros – que permite a reconstituição da história da Terra.

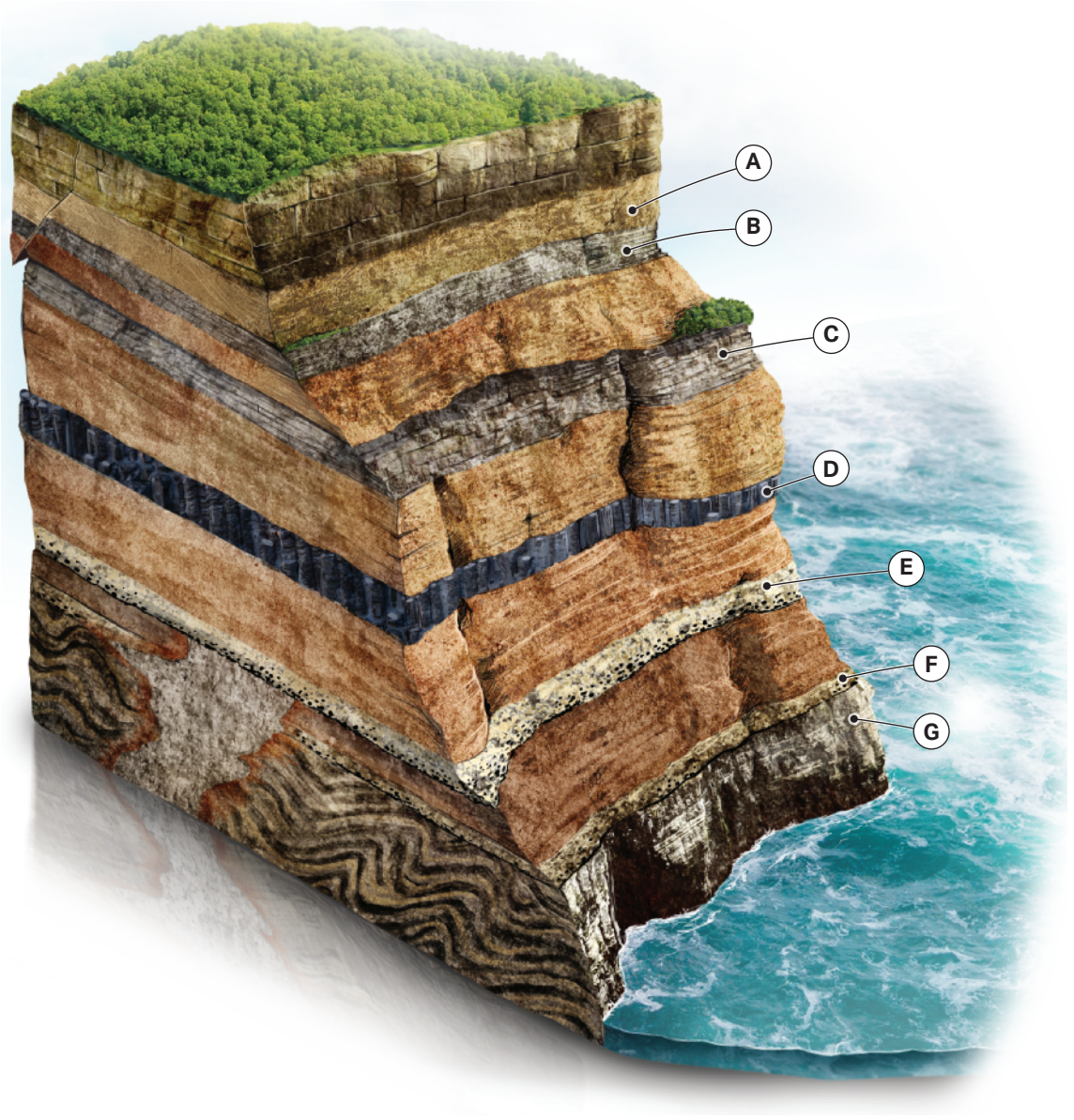


Fig. 1 Bloco diagrama representativo da sequência litológica de uma área costeira.

(A) A presença de arenito com estratificação cruzada revela que, no passado, naquela região, ocorreu acumulação de areias eólicas em ambiente desértico, semelhante ao que se observa atualmente nas dunas da praia de Chaves (Boa Vista, Cabo Verde) – ver figura 2. A intercalação de camadas de gesso nesse arenito remete para episódios de evaporação de lagos em ambiente quente e seco.



Fig. 2 Ilha da Boa Vista, Cabo Verde.

(B) A presença de ignimbritos (rocha formada a partir de materiais provenientes de fluxos piroclásticos) indica que, no passado, naquela região, ocorreram erupções vulcânicas de carácter explosivo. O vulcão da ilha do Fogo, em Cabo Verde, tem registado manifestações efusivas e explosivas, como a erupção de 1951 – documentada pelo geógrafo Orlando Ribeiro (ver figura 3).



Fig. 3 Ilha do Fogo, Cabo Verde.

(C) A presença de calcário recifal indica que, no passado, naquela região, existiu um mar quente e pouco profundo que permitiu o desenvolvimento de recifes de coral, em condições propícias ao crescimento de recifes, como os da Grande Barreira de Coral Australiana (ver figura 4).



Fig. 4 Austrália.

(D) A presença de basalto indica que, no passado, naquela região, ocorreram erupções vulcânicas com carácter efusivo, com libertação de grandes escoadas de lava, como a erupção do vulcão islandês retratada na figura 5.



Fig. 5 Islândia.

(E) e **(F)** A presença de conglomerados indica que, no passado, naquela região, ocorreu deposição de balastros, por exemplo, em resultado da erosão de uma arriba ou da existência de uma praia de seixos como a que originou a praia da Fajã d'Água, na Ilha Brava (ver figura 6). A deposição de balastros ocorre em ambientes de energia relativamente alta, que permitem o aporte de clastos de grandes dimensões.



Fig. 6 Ilha Brava, Cabo Verde.

(G) A presença de gnaisse é reveladora da ocorrência de metamorfismo em condições de pressão e temperatura elevadas, associadas à base de uma cintura orogénica, como a que originou os Himalaias – ver figura 7.



Fig. 7 Cordilheira dos Himalaias.

O raciocínio geológico baseia-se, atualmente, no **princípio do uniformitarismo**, ou seja, os acontecimentos geológicos são interpretados como resultado de leis e processos que atuam hoje como atuaram no passado e que ocorrem maioritariamente de forma lenta e gradual, não deixando de reconhecer o papel de alguns eventos catastróficos que podem alterar a Terra de modo súbito e violento.

Destaca-se, no raciocínio geológico em vigor, o **princípio do atualismo**, segundo o qual o presente é a chave do passado, ou seja, os fenómenos do passado podem ser interpretados à luz dos processos observáveis na atualidade.

Responde tu

1. **Classifica a falha observável no topo do diagrama da figura 1. Justifica.**
2. **Relativamente a cada uma das camadas (A a G) da figura 1, indica se é possível aplicar o princípio do atualismo com base em processos geológicos observáveis na atualidade na ilha onde se localiza a tua escola.**

Datação relativa

A ordenação de uma sequência de acontecimentos geológicos, baseada não em valores numéricos, mas na comparação entre eles e no estabelecimento de relações de maior ou menor antiguidade – datação relativa – é feita com recurso à aplicação de princípios da estratigrafia e da paleontologia.

Métodos sedimentológicos

O **princípio da horizontalidade inicial**, segundo o qual os sedimentos depositam-se formando camadas horizontais (figura 8), pode ser aplicado diretamente a rochas sedimentares estratificadas a rochas metamórficas de baixo grau, quando pouco deformadas, e à maioria das rochas e dos depósitos vulcanoclásticos. Nos leitos piroclásticos, contudo, a inclinação pode estar presente desde o início da sua formação devido à elevada temperatura e viscosidade dos materiais, que tendem a aderir a camadas previamente depositadas, não obedecendo apenas às leis da gravidade.



Fig. 8 Norfolk, Reino Unido.

O **princípio da continuidade lateral** considera que a deposição de sedimentos na formação de um estrato tende a estender-se lateralmente em todas as direções, pelo que a camada originalmente possui a mesma idade em toda a sua extensão. A título de exemplo, as camadas expostas dos dois lados do vale de erosão fluvial escavado pelo rio Colorado (figura 9) correspondem às mesmas unidades sedimentares tendo, por isso, a mesma idade original.



Fig. 9 Grand Canyon, Arizona, EUA.

Numa sequência de estratos não deformada, cada camada é mais antiga do que as que estão a teto (sobre ela) e mais recente do que as que estão a muro (por baixo) – **princípio da sobreposição de estratos** (lei de Steno).

De acordo com o **princípio da interseção**, as rochas ou estruturas geológicas que intersetam outras são mais recentes do que as rochas ou estruturas geológicas por elas intersetadas (figura 10). É o caso de falhas, dobras, filões e intrusões magmáticas, por exemplo, que são mais recentes do que as rochas que afetam.

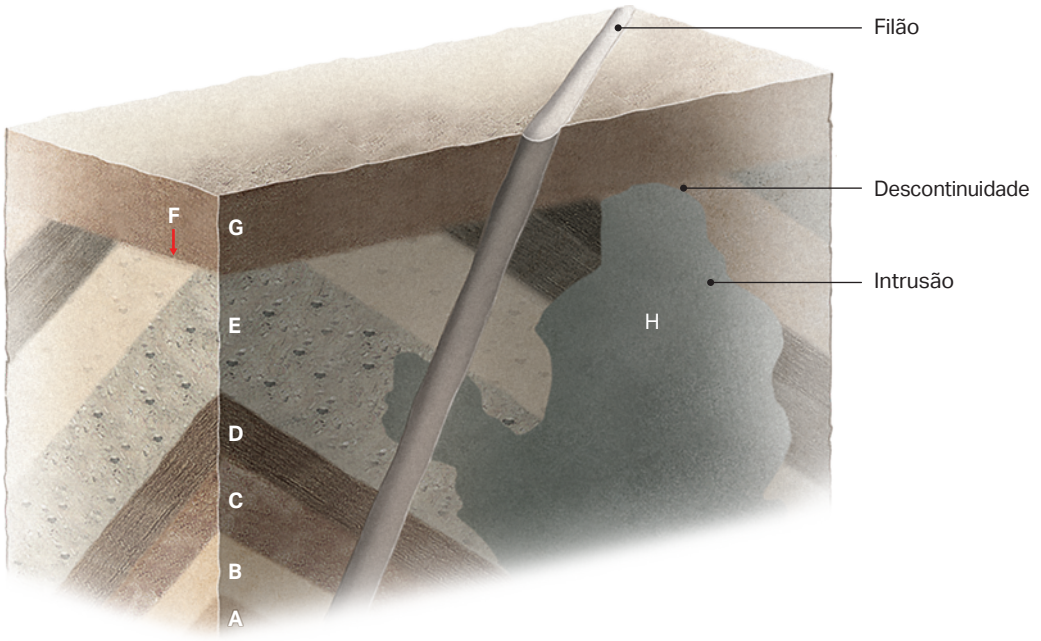


Fig. 10 Corte geológico com representação de duas séries sedimentares separadas por uma descontinuidade, uma intrusão e um filão.

Responde tu

1. Identifica as duas séries sedimentares representadas no esquema da figura 10, utilizando as letras de A a H.
2. Explica o que revela, relativamente à história geológica, a superfície assinalada pela letra F na figura 10.
3. Identifica, justificando, a estrutura mais recente entre as que estão representadas na figura 10.
4. Refere a sequência de acontecimentos que terá conduzido à atual disposição das rochas e estruturas geológicas representadas no bloco-diagrama da figura 10. Indica todos os princípios de estratigrafia utilizados no estabelecimento da sequência cronológica dos acontecimentos.

Sempre que fragmentos de uma rocha se encontram dentro de outra (figura 11), a rocha que originou os fragmentos é mais antiga do que a rocha que os contém – **princípio da inclusão**.

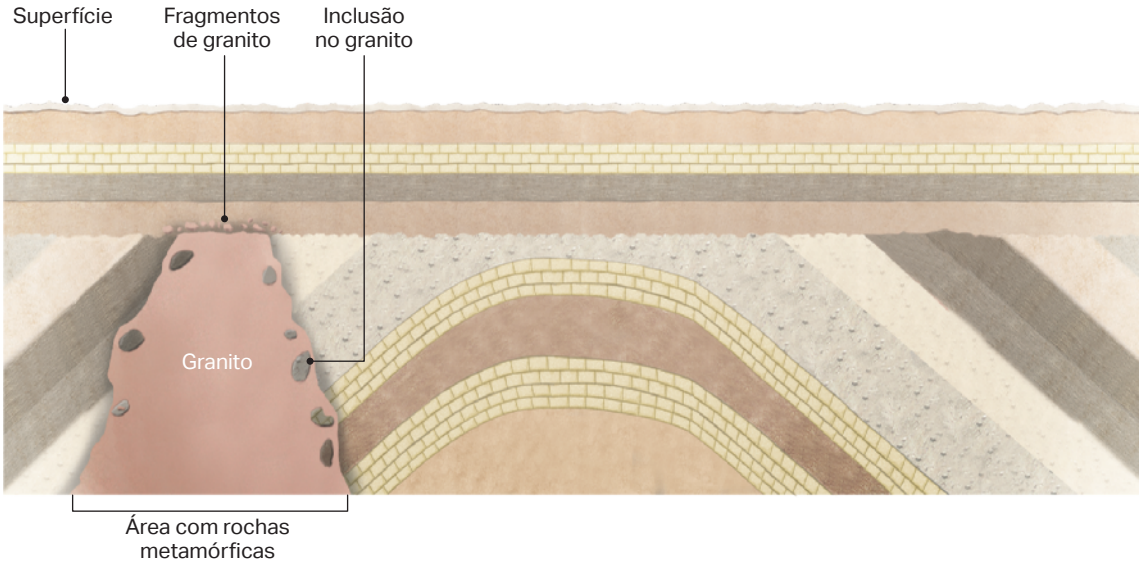
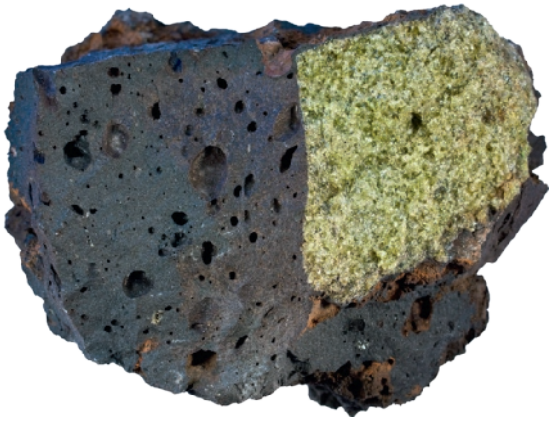


Fig. 11 Corte geológico com representação de duas séries sedimentares separadas por uma descontinuidade, uma intrusão e inclusões.



Em ilhas de origem vulcânica, como no arquipélago de Cabo Verde, a observação de fragmentos (designados por xenólitos) de dunito e de peridotito no seio de basaltos permite concluir que a formação das rochas mantélicas é anterior à cristalização dos basaltos.

Fig. 12 Xenólito de peridotito em basalto.

Responde tu

1 **Refere a sequência de acontecimentos que terá conduzido à atual disposição das rochas e estruturas geológicas representadas no corte geológico da figura 11. Indica todos os princípios de estratigrafia utilizados no estabelecimento da sequência cronológica dos acontecimentos.**

Ao longo da história da Terra, verificaram-se oscilações no nível médio das águas do mar que resultaram, alternadamente, na submersão de áreas continentais e na exposição de plataformas continentais, condicionando as sucessões de sedimentos formados em cada situação.

Nos intervalos de tempo em que a subida do nível médio do mar se traduziu num avanço das águas sobre áreas continentais – **transgressão marinha** –, os sedimentos continentais são progressivamente cobertos por sedimentos costeiros e, posteriormente, por sedimentos de fundo marinho, observando-se uma diminuição gradual da granulometria ao longo da sequência. Neste processo verifica-se um recuo da linha de costa.

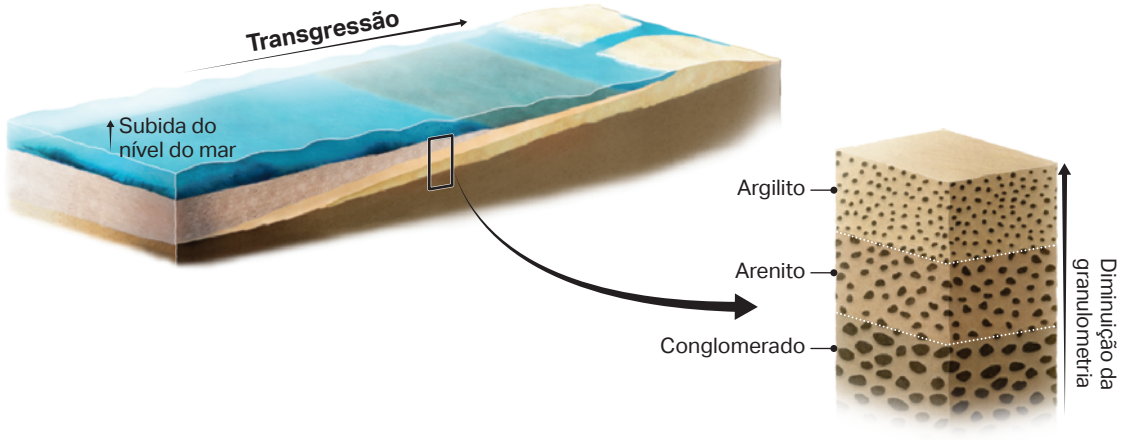


Fig. 13 Transgressão marinha.

Quando o nível médio do mar desce – **regressão marinha** –, a linha de costa avança, ficando expostas zonas que anteriormente constituíam o fundo marinho. Nestas situações, a sequência de sedimentos evolui no sentido do aumento da granulometria. A exposição aos agentes erosivos dificulta a preservação destas sequências.

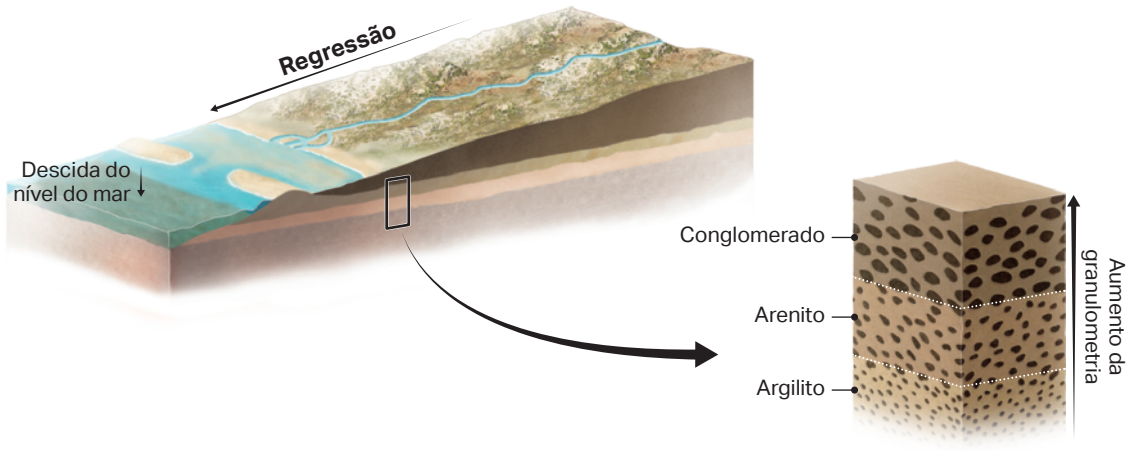


Fig. 14 Regressão marinha.

Os depósitos fluvioglaciários apresentam sequências de pares de leitos resultantes do efeito da sazonalidade na sedimentação anual. As camadas de silte resultam da deposição que ocorre durante os degelos da primavera e verão, quando o aumento do caudal fluvial favorece o transporte de sedimentos desta granulometria. Estas alternam com camadas de argila depositada quando a superfície dos lagos glaciais congela, no inverno, e o hidrodinamismo praticamente cessa. A litificação destes depósitos origina rochas laminadas designadas por **varvitos** (figura 15).



Fig. 15 Parque Geológico do Varvito, Brasil.

Responde tu

1 **Indica, justificando, a migração da linha de costa durante um período glaciário.**

2 **Os períodos interglaciares estão na origem de _____, com consequente _____ do nível médio da água do mar.**

(A) transgressões marinhas ... aumento

(B) regressões marinhas ... aumento

(C) transgressões marinhas ... diminuição

(D) regressões marinhas ... diminuição

3 **No Parque Geológico do Varvito, a transição de siltito para argilito indica**

(A) diminuição do hidrodinamismo.

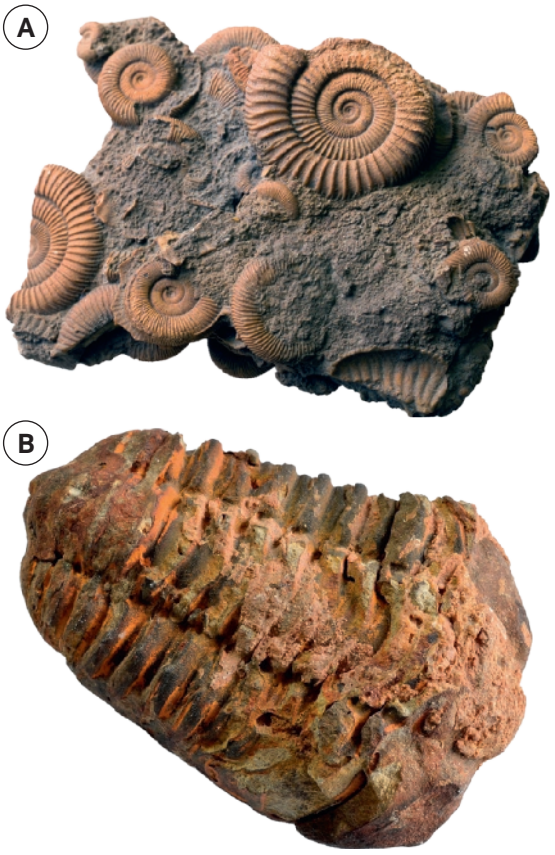
(B) manutenção da granulometria dos sedimentos.

(C) aumento da temperatura.

(D) aumento da energia do agente transportador.

Métodos paleontológicos

Manual Digital
Atividade
Fósseis de fácies e fósseis de idade



Alguns fósseis – **fósseis de idade** – permitem atribuir a formação das rochas onde se encontram a uma determinada época da história da Terra.

Para um fóssil ser utilizado na datação de rochas, é necessário que se tenha formado a partir de seres vivos que:

- sejam característicos de um determinado intervalo de tempo, ou seja, cuja espécie viveu durante um curto período de tempo;
- tiveram uma grande área de dispersão geográfica, pelo que os seus fósseis são encontrados em diversos locais do planeta, permitindo a comparação entre estratos de diferentes regiões;
- existiram em grande número, com a consequente maior probabilidade de formar fósseis.

Fig. 16 Os fósseis de amonite (A) e de trilobite (B) são considerados fósseis de idade.

O conteúdo fossilífero de sequências de estratos permite correlacionar sequências de diferentes regiões. Segundo o **princípio da identidade paleontológica**, camadas que apresentam o mesmo conteúdo fossilífero têm a mesma idade e formaram-se em ambientes semelhantes.

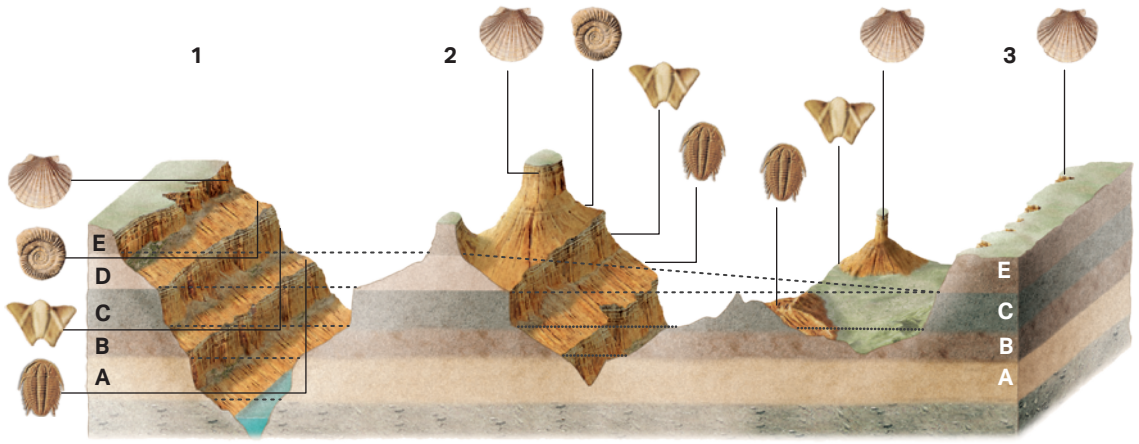


Fig. 17 Representação esquemática do princípio da identidade paleontológica. Ao estrato E dos locais 1 e 3 é atribuída a mesma idade por conterem o mesmo registo fossilífero.

A organização dos fósseis em camadas sucessivas reflete a evolução da vida ao longo do tempo geológico. Ao longo da história da Terra, as espécies surgem, evoluem e desaparecem, permitindo a classificação e seriação das diversas unidades geológicas com base nos fósseis que contêm – **bioestratigrafia**. É assim possível identificar **biozonas**, unidades estratigráficas correspondentes a intervalos de tempo em que determinadas espécies viveram e que são definidas pelo conjunto de fósseis que caracterizam uma camada ou intervalo de camadas. A bioestratigrafia, embora muito útil para datar e correlacionar estratos, depende da presença de fósseis e pode estar limitada por eventuais falhas no registo fóssil.

A taxa de crescimento das árvores varia sazonalmente. Nas estações que favorecem o crescimento, as células são maiores, dando origem às bandas mais claras e menos densas dos troncos. Quando a taxa de crescimento é inferior, as células formadas são mais pequenas, originando as bandas mais escuras e mais densas dos troncos. O estudo do crescimento dos anéis do tronco de uma árvore permite definir a idade da mesma – **dendrocronologia**.



Fig. 18 Contagem de anéis de crescimento de um tronco (A) e corte transversal de um tronco (B).

Os anéis anuais permitem determinar, com bastante exatidão, a idade de troncos lenhosos e, ainda, obter informação sobre as flutuações climáticas que ocorreram durante o período de vida de uma árvore, uma vez que anos mais secos têm como resultado anéis mais finos do que anos mais húmidos, que se traduzem em anéis mais largos.

Datação absoluta

Os métodos de datação absoluta permitem obter um valor numérico para a idade das rochas. A **datação radiométrica**, que se baseia na medição da razão entre determinados pares de isótopos (isótopo-pai, radioativo e instável, e isótopo-filho, estável e formado pelo seu decaimento), é um dos principais métodos de datação em Geologia.

Uma vez que o decaimento radioativo ocorre a uma taxa constante, a razão entre isótopo-pai e isótopo-filho presentes num mineral permite calcular o número de anos decorridos desde a sua formação.

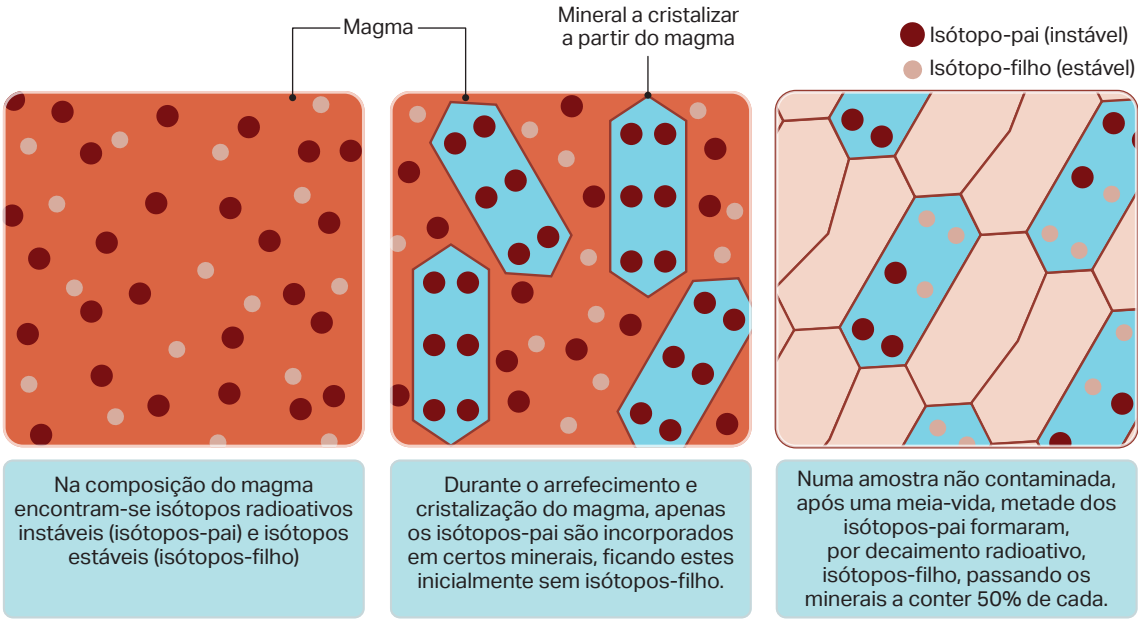


Fig. 19 Incorporação do isótopo-pai em minerais formados por cristalização magmática e a sua posterior desintegração em isótopo-filho.

A aplicação deste método implica a escolha do par isótopo-pai/isótopo-filho com um tempo de semivida (tempo necessário para que uma dada quantidade de isótopos-pai se reduza a metade) adequado ao intervalo de idades da rocha que se pretende datar (tabela I).

Isótopo-pai	Isótopo-filho	Tempo de semivida	Materiais usados	Intervalo de idade
Urânio-238	Chumbo-206	4500 Ma	Zircão	Maior que 10 Ma
Urânio-235	Chumbo-207	713 Ma	Zircão	Maior que 10 Ma
Potássio-40	Árgon-40	1300 Ma	Biotite, moscovite	Maior que 50 000 anos
Carbono-14	Nitrogénio-14	5730 anos	Conchas, calcários e material orgânico	Entre 100 – 60 000 anos

Tab. 1 Exemplos de isótopos usados na datação absoluta.

A razão isótopo-pai/isótopo-filho diminui ao longo do tempo devido à desintegração do isótopo-pai, de forma que metade do seu valor inicial se transforma em isótopo-filho a cada semivida.

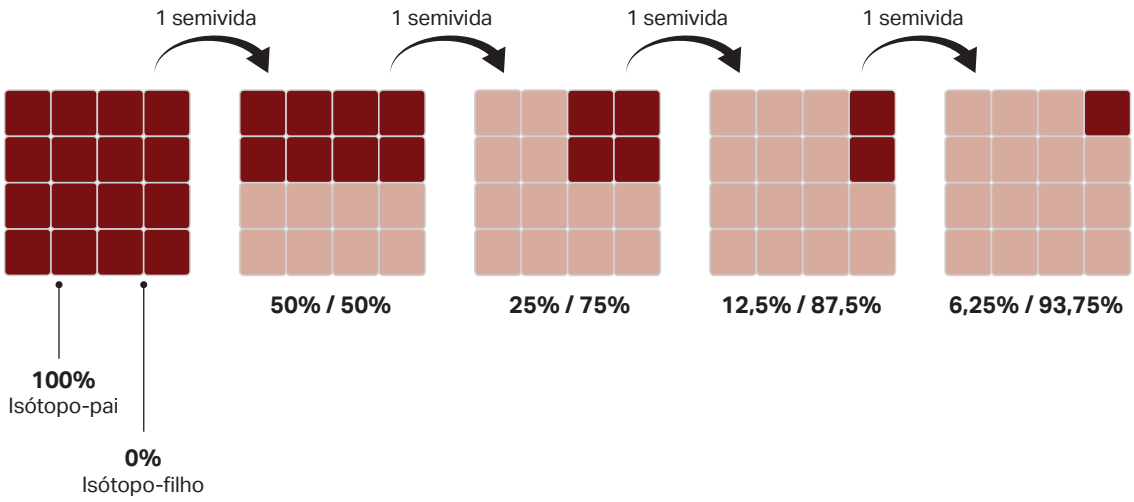


Fig. 20 Desintegração do isótopo-pai a cada semivida.

A datação radiométrica segue os seguintes passos:

– escolha criteriosa de uma amostra de rocha não meteorizada e não metamorfizada;

– seleção dos minerais a utilizar, após o esmagamento da amostra em laboratório;

– extração e quantificação da concentração do isótopo-pai e do isótopo-filho através de técnicas como, por exemplo, a dissolução dos minerais em ácido.

O registo das inversões do campo magnético constitui também um recurso no processo de datação das rochas e de alguns processos geológicos. As inversões do campo magnético terrestre estão registadas numa coluna de referência que os geólogos utilizam para datar sequências de rochas. Esta datação é feita através da comparação do padrão de inversões magnéticas numa sequência de rochas com o padrão da coluna de referência – **magnetoestratigrafia**.

Responde tu

1. **Justifica a importância de recolher em campo uma amostra de rocha não meteorizada para fazer datação radiométrica.**
2. **Calcula a idade de um mineral, sabendo que este apresenta atualmente 25% de isótopo urânio-238 e 75% de isótopo chumbo-206.**
3. **Justifica a afirmação: "Na datação de rochas metamórficas e de rochas sedimentares, a datação radiométrica apresenta algumas limitações."**

Manual Digital

Vídeos
Datação absoluta ou radiométrica

Limitações da datação absoluta ou radiométrica

Atividade
Datação absoluta ou radiométrica (exercícios resolvidos)

Atividade prática

Parte A

Na figura 1 podes observar um bloco-diagrama que representa as principais unidades e estruturas geológicas de uma região.

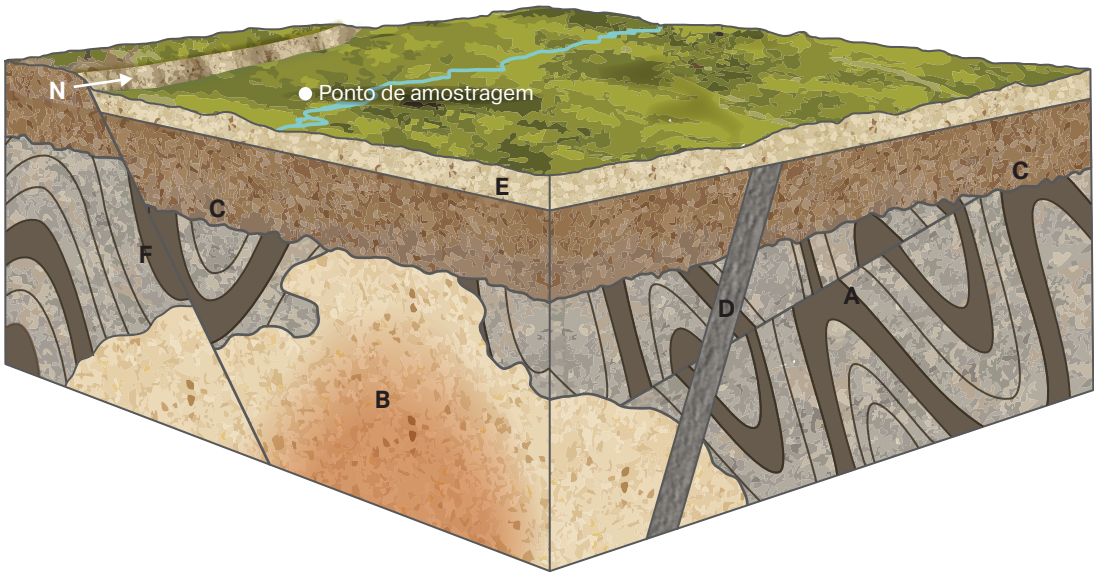


Fig. 1

1. Refere a sequência de acontecimentos que terá conduzido à atual disposição das rochas e estruturas geológicas representadas no bloco-diagrama da figura 1. Indica todos os princípios de estratigrafia utilizados no estabelecimento da sequência cronológica dos acontecimentos.

2. O estudo do gabro identificado pela letra B na figura 1 permitiu determinar a proporção de 1:1 entre os átomos de potássio-40 e árgon-40. Indica, justificando, a idade do gabro. Consulta a tabela 1 da página 102 do manual.

3. Os métodos de datação aplicados a uma amostra do dique D permitiram datar esta unidade com 356 Ma. Calcula a percentagem do isótopo-pai urânio-235 e o número aproximado de semividas correspondentes.

4. As falhas representadas neste bloco-diagrama resultaram da ação das mesmas forças tectónicas? Justifica a tua resposta.

5. Um estudo mais detalhado sobre as unidades A e C permitiu identificar que uma contém fragmentos da outra. Refere qual e porquê.

6 O estudo efetuado a uma amostra de sedimentos recolhida no ponto de amostragem permitiu identificar a presença de um elemento químico existente apenas na unidade C. Apresenta uma explicação para esta aparente contradição. Na tua resposta deves mobilizar conhecimentos da geodinâmica interna e externa.

Parte B

A figura 2 representa um perfil geológico simplificado da zona do furo DSDP 368 do *Deep Sea Drilling Project*. A expedição a bordo do navio Glomar Challenger (figura 3) efetuou este furo, em 1975, na elevação de Cabo Verde, vulgarmente designada de *Cape Verde Rise*, 200 km para nordeste da ilha do Sal, tendo extraído cerca de 1000 m de sedimentos sob uma coluna de água com 3366 m.

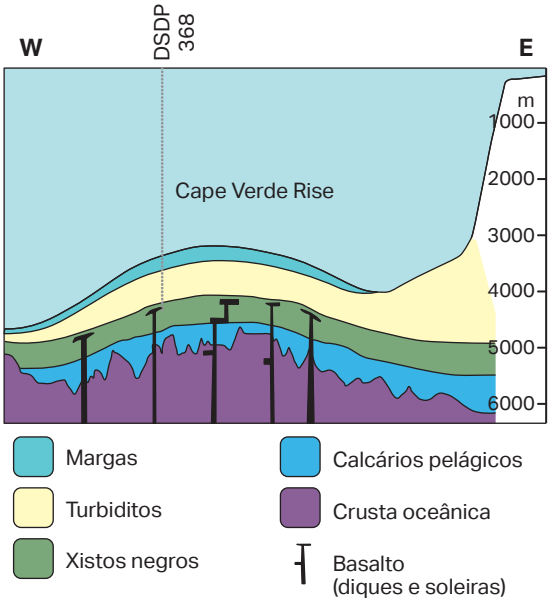


Fig. 2



Fig. 3

1 Em grupo, responde às seguintes perguntas:

1.1. O que significa cada unidade legendada no perfil geológico?

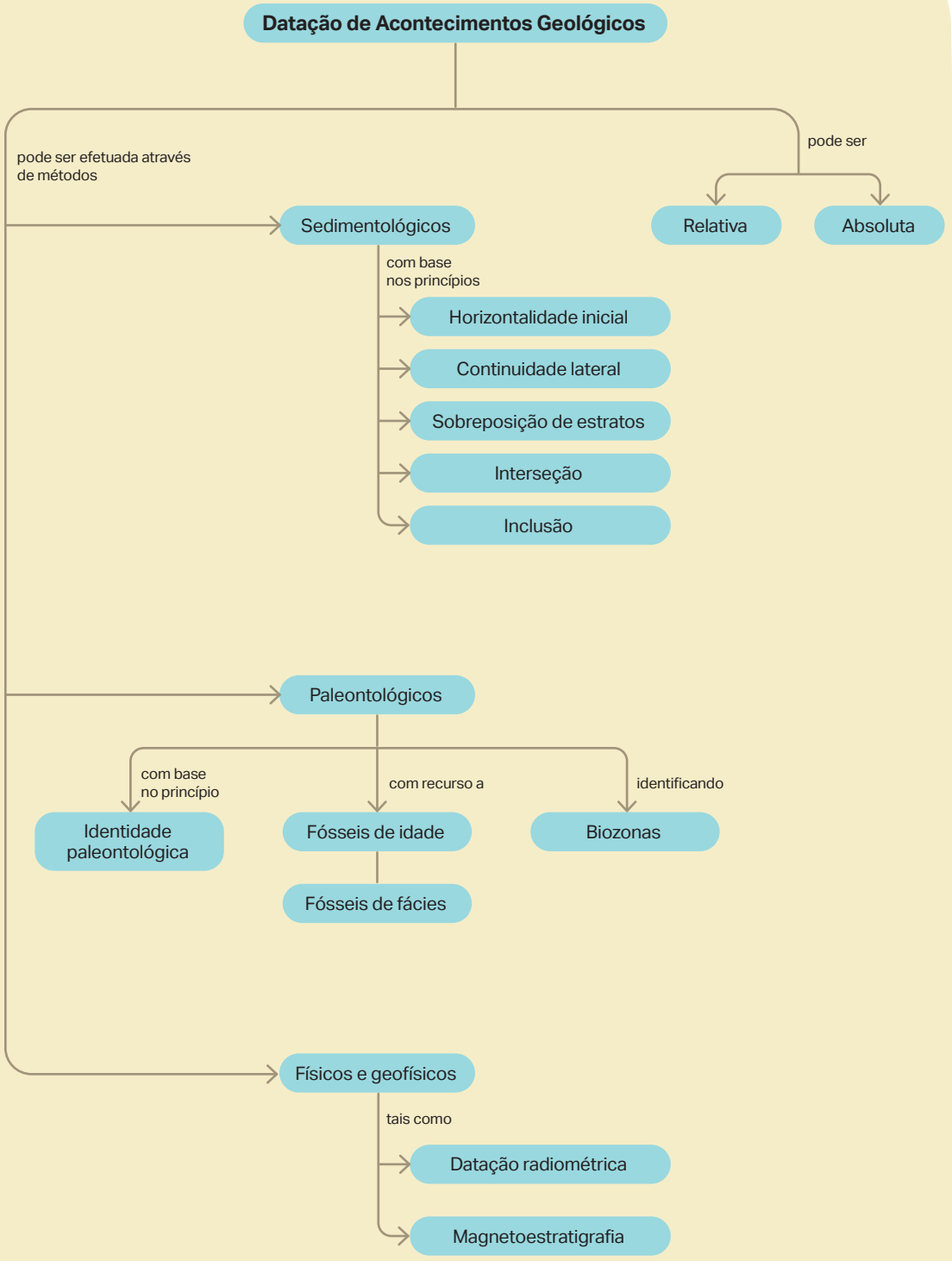
1.2. A que acontecimentos geológicos ou ambientais se deve cada uma das unidades?

1.3. Qual é a sequência de deposição das unidades representadas? A resposta deve identificar os princípios estratigráficos utilizados.

1.4. É possível identificar alterações no ambiente sedimentar na sequência de acontecimentos que estabeleceste?

1.5. Que conclusões podemos retirar relativamente à presença de foraminíferos planctónicos 200 m abaixo da superfície do fundo oceânico?

Mapa de conceitos



Em resumo…

O que é o tempo geológico?

O **tempo geológico** é a escala temporal utilizada para estudar a história da Terra desde a sua formação, há cerca de 4600 milhões de anos, até ao presente. A unidade do tempo geológico é o milhão de anos (Ma).

Como se faz a datação de acontecimentos e formações geológicas?

- Métodos de **datação relativa** – permitem ordenar a sequência de acontecimentos geológicos mediante comparação, estabelecendo graus de antiguidade.
- Métodos de **datação absoluta** – permitem atribuir uma idade em valores numéricos.

O que é o princípio do atualismo?

Segundo o princípio do atualismo, os fenómenos do passado podem ser interpretados à luz dos processos observáveis na atualidade – *o presente é a chave do passado*.

Quais são os princípios sedimentológicos utilizados na datação?

- Princípio da **horizontalidade inicial** – os sedimentos depositam-se formando camadas horizontais.
- Princípio da **continuidade lateral** – considera que uma camada possui a mesma idade em toda a sua extensão, independentemente de estar ou não interrompida devido a fenómenos erosivos ou tectónicos.
- Princípio da **sobreposição dos estratos** – numa sequência não deformada, cada estrato é mais recente do que os que estão por baixo dele e mais antigo do que os que estão sobre ele.
- Princípio da **inclusão** – fragmentos de uma rocha incluídos noutra são mais antigos do que a rocha que os contém.
- Princípio da **interseção** – estruturas geológicas que intersetam outras são mais recentes do que as intersetadas.

O que são varvitos?

Os varvitos são rochas sedimentares laminadas formadas por pares de camadas anuais de silte e argila, alternadas, em resultado da deposição sazonal em lagos glaciais.

Em resumo...

Quais são as consequências dos ciclos de gelo-degelo?

- Durante os períodos glaciares, o nível médio do mar desce – regressão marinha –, e a linha de costa avança. A sequência de sedimentos evolui no sentido do aumento da granulometria (sedimentos mais finos na base e mais grosseiros no topo).
- Durante os períodos interglaciares, o nível médio do mar sobe – transgressão marinha –, e a linha de costa recua. A sequência de sedimentos evolui no sentido da diminuição da granulometria (sedimentos grosseiros na base e mais finos no topo).

Quais são os contributos da paleontologia para a datação de acontecimentos e formações geológicas?

- Segundo o **princípio da identidade paleontológica**, estratos com o mesmo conteúdo fossilífero têm a mesma idade e formaram-se em ambientes semelhantes.
- Os **fósseis de idade** são fósseis com uma curta distribuição estratigráfica e ampla distribuição geográfica, permitindo datar as rochas onde se encontram.
- Uma **biozona** é uma unidade bioestratigráfica que corresponde a um intervalo de estratos, caracterizado pela presença de um ou mais fósseis que permitem distingui-lo das camadas adjacentes.
- A análise do crescimento dos anéis das árvores – dendrocronologia – permite determinar a idade das árvores e reconstruir variações ambientais e climáticas do passado.

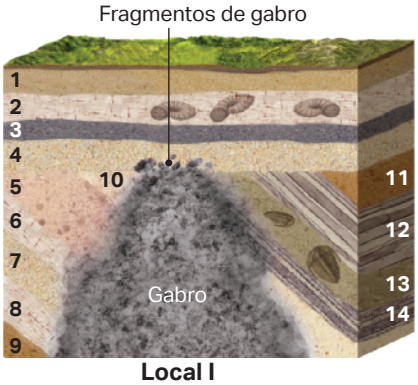
Quais são os métodos físicos e geofísicos utilizados na datação de acontecimentos e formações geológicas?

- A datação radiométrica baseia-se na medição da razão entre isótopo-pai, radioativo e instável, e isótopo-filho, estável e formado pelo seu decaimento. Como o decaimento ocorre a uma taxa constante, a relação entre os isótopos numa amostra permite calcular o tempo decorrido desde a sua formação, escolhendo-se pares com semivida adequada à idade da rocha. Este método requer a seleção cuidadosa da amostra e dos minerais, seguida da extração e medição dos isótopos em laboratório.
- A magnetoestratigrafia permite datar rochas através da comparação entre o padrão de registo das inversões do campo magnético terrestre numa sequência rochosa e a coluna de referência global.

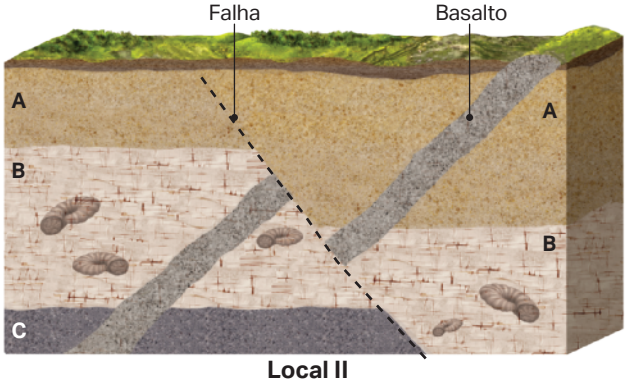
Teste formativo

Grupo I

Na figura 1 podes observar blocos-diagrama que representam as principais unidades e estruturas geológicas de dois locais (I e II).



Local I



Local II

Fig. 1

1 No local II, o princípio da _____ pode ser aplicado para determinar a idade _____ do basalto.

(A) interseção ... absoluta
(B) interseção ... relativa
(C) inclusão ... absoluta
(D) inclusão ... relativa

2 O gabro do local I pode apresentar inclusões rochosas das camadas

(A) 1 a 4.
(B) 11 a 14.
(C) 5 a 11.
(D) 5 a 10.

Teste formativo

3 **As camadas 1, 2, 3 e 4 revelam uma série regressiva se corresponderem, respetivamente, a**

(A) calcário, argilito, arenito e conglomerado.
(B) arenito, argilito, conglomerado e calcário.
(C) conglomerado, arenito, argilito e siltito.
(D) argilito, siltito, arenito e calcário.

4 **No local _____ a presença de _____ constitui evidência de fenómenos de deposição, deformação e posterior erosão.**

(A) I … erosão
(B) II … diferentes litologias
(C) I … discordâncias angulares
(D) II … intrusões magmáticas

5 **A correlação entre o conteúdo fossilífero do estrato B (local II) com o estrato _____ (local I) pode ser feita através do princípio da _____.**

(A) 13 … horizontalidade inicial
(B) 2 … identidade paleontológica
(C) 13 … interseção
(D) 2 … sobreposição de estratos

6 **Estabelece a correspondência entre cada afirmação da coluna I e o respetivo princípio que consta da coluna II.**

Coluna I	Coluna II
(a) Permite a datação relativa de uma sequência de estratos que não sofreu deformação. **(b)** Permite reconstituir o ambiente passado de uma região com fósseis de coral. **(c)** Permite localizar temporalmente a ocorrência de uma falha.	**(1)** sobreposição **(2)** identidade paleontológica **(3)** horizontalidade inicial **(4)** interseção **(5)** inclusão

7 **Explica o significado da presença de fragmentos de gabro nas rochas que constituem o estrato 4 (local I).**

8 **Indica, justificando, se a erosão do topo do local II é posterior ou anterior à formação da falha.**

9 **Explica os requisitos que um fóssil deve cumprir para ser considerado útil na datação das rochas que o contêm.**

Grupo II

O arquipélago de Cabo Verde é constituído por ilhas de origem vulcânica, cujas rochas foram datadas recorrendo ao método radiométrico $^{40}Ar/^{39}Ar$. Este método permite determinar a idade de solidificação das rochas vulcânicas através do decaimento radioativo do potássio. Este método baseia-se na comparação entre o ^{40}Ar, produto do decaimento do ^{40}K, e o ^{39}Ar, obtido em laboratório a partir do potássio (^{39}K), permitindo determinar a idade da rocha. Quanto maior for a razão $^{40}Ar/^{39}Ar$ mais antiga será a rocha.

Os resultados obtidos indicam que o vulcanismo em Cabo Verde ocorreu ao longo de um intervalo de tempo alargado, desde o Miocénico até ao Quaternário, não tendo sido simultâneo em todas as ilhas. As idades mais antigas foram determinadas em ilhas como Sal, enquanto ilhas como Santiago e Fogo apresentam idades mais recentes, evidenciando episódios vulcânicos relativamente jovens.

A distribuição das idades das rochas constitui um elemento fundamental para a reconstituição da evolução geológica do arquipélago.

Holm, P. M., Wilson, J. R., Christensen, B. P., Hansen, L., & Hansen, S. L. (2008). An ^{40}Ar–^{39}Ar study of the Cape Verde hotspot: Temporal framework and volcanic evolution. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 113, B08201. https://doi.

1 **A idade determinada pelo método $^{40}Ar/^{39}Ar$ em rochas vulcânicas corresponde ao momento em que**

(A) o magma se formou.
(B) a rocha foi exposta à superfície por erosão.
(C) ocorreu a fusão parcial das rochas.
(D) a rocha vulcânica solidificou.

2 **A aplicação do método $^{40}Ar/^{39}Ar$ às rochas de Cabo Verde é possível porque**

(A) todas as rochas contêm fósseis datáveis.
(B) as rochas sedimentares registam inversões do campo magnético.
(C) as rochas vulcânicas contêm minerais com potássio-40 e potássio-39.
(D) o método é aplicável a qualquer tipo de rocha.

3 **De acordo com o texto, a distribuição das idades das rochas indica que**

(A) todas as ilhas de Cabo Verde se formaram no mesmo período geológico.
(B) o vulcanismo ocorreu apenas durante o Quaternário.
(C) o vulcanismo ocorreu ao longo de um intervalo de tempo alargado.
(D) as ilhas mais antigas são também as mais ativas atualmente.

4 **Explica de que forma os dados obtidos pelo método $^{40}Ar/^{39}Ar$ contribuem para a compreensão da evolução geológica do arquipélago de Cabo Verde.**

2



Por Bahudhara – Obra do próprio, CC BY-SA 3.0

Prego dourado (*Global Boundary Stratotype Section and Point – GSSP*) do Ediacarano, situado em Enorama Creek, Flinders Ranges (Austrália), assinalando o início do período geológico há cerca de 635 Ma.



Tabela Crono-estratigráfica

2.1. Unidades Cronoestratigráficas e Geocronológicas

A história da Terra está organizada em diferentes intervalos de tempo que permitem estudar a sua evolução de forma sistemática. A tabela cronoestratigráfica é uma ferramenta útil na compreensão da sucessão de acontecimentos ao longo da história do planeta e na comparação de eventos geológicos ocorridos em diferentes regiões.

2.1. Unidades Cronoestratigráficas e Geocronológicas

A Terra tem uma idade estimada de 4600 Ma. Um número demasiado grande para ser facilmente compreendido – afinal, a história da humanidade representa apenas cerca de 0,0001% deste tempo.

Para ajudar a imaginar esta escala, é possível comparar-se um milhão de anos a 1 milhão de grãos de arroz, o que corresponderia a cerca 16 kg de arroz. Outra forma comum de visualizar a história da Terra é condensar 4600 Ma num único ano, onde a espécie humana surgiria apenas nos últimos minutos de 31 de dezembro.

Dos 4600 Ma da história da Terra fazem parte acontecimentos que ficaram gravados nas rochas, tais como a formação e fragmentação de supercontinentes, glaciações, transgressões e regressões marinhas, atividade vulcânica e o impacto de meteoritos. Estes acontecimentos são considerados no estabelecimento das principais divisões da escala do tempo geológico. No estabelecimento destas divisões foram utilizadas duas categorias complementares de unidades: as **cronoestratigráficas** (eonotema, eratema, sistema, série e andar) – que representam formações rochosas com origem em intervalos específicos – e as **geocronológicas** (éon, era, período, época e idade) – que correspondem às respetivas subdivisões do tempo.

Os maiores intervalos de tempo são os éons. O éon Fanerozoico, que inclui as eras Cenozoica, Mesozoica e Paleozoica, corresponde a cerca de 12% da história da Terra. Os restantes 88%, a etapa mais longa da história da Terra, inclui os éons Hádico, Arcaico e Proterozoico, que são comummente referidos como Pré-Câmbrico, numa referência ao primeiro período do Paleozoico.

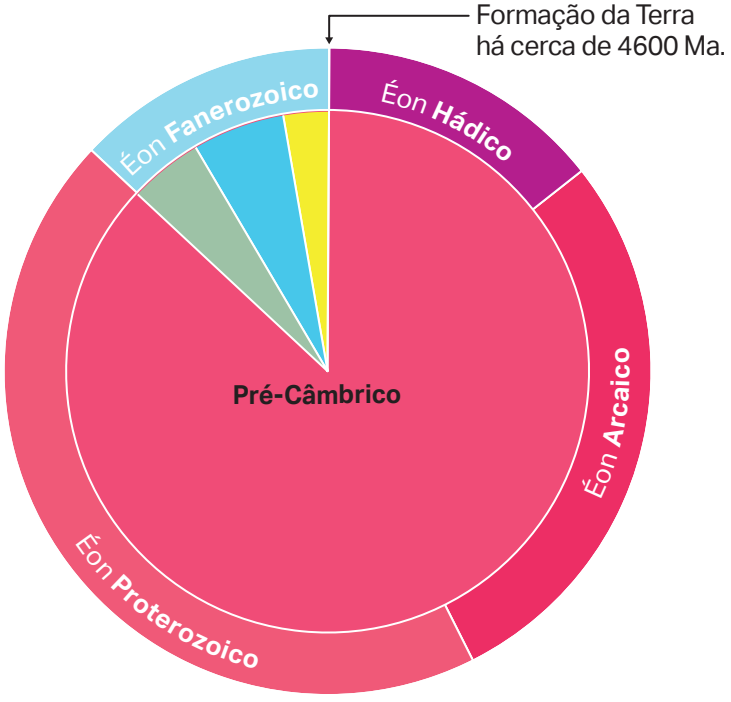


Fig. 1 Esquema simplificado da distribuição dos éons na escala do tempo geológico.

Alguns dos acontecimentos que marcaram a história da Terra estiveram na origem de variações acentuadas na biodiversidade (figura 2).

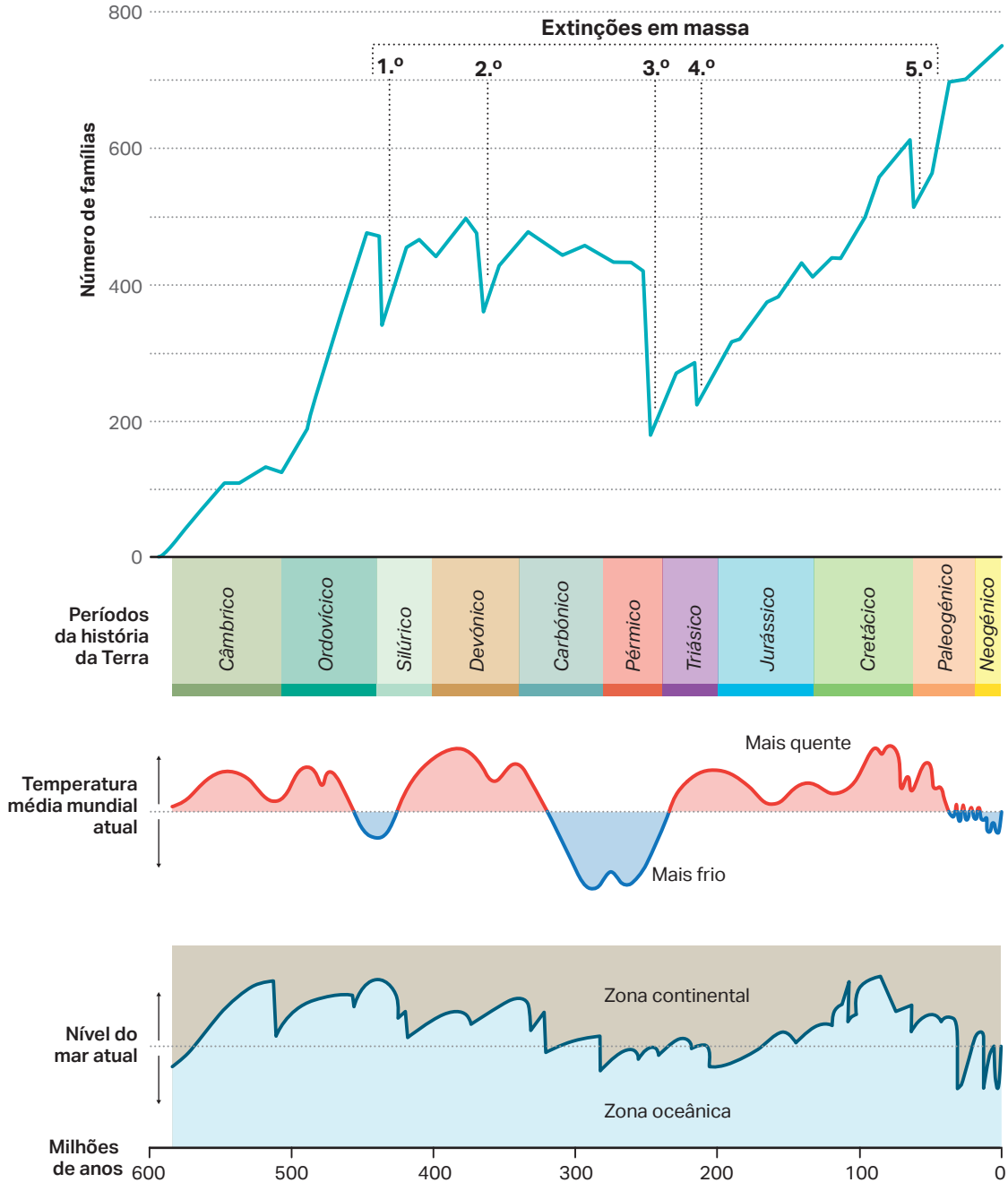


Fig. 2 Variação da biodiversidade, da temperatura média e do nível do mar, ao longo da história da Terra.

A organização dos acontecimentos da história da Terra na escala do tempo geológico foi estabelecida e é periodicamente atualizada pela Comissão Internacional de Estratigrafia (ICS), cujo principal objetivo é definir com precisão as unidades cronoestratigráficas, que são a base para as unidades da escala de tempo geológico.

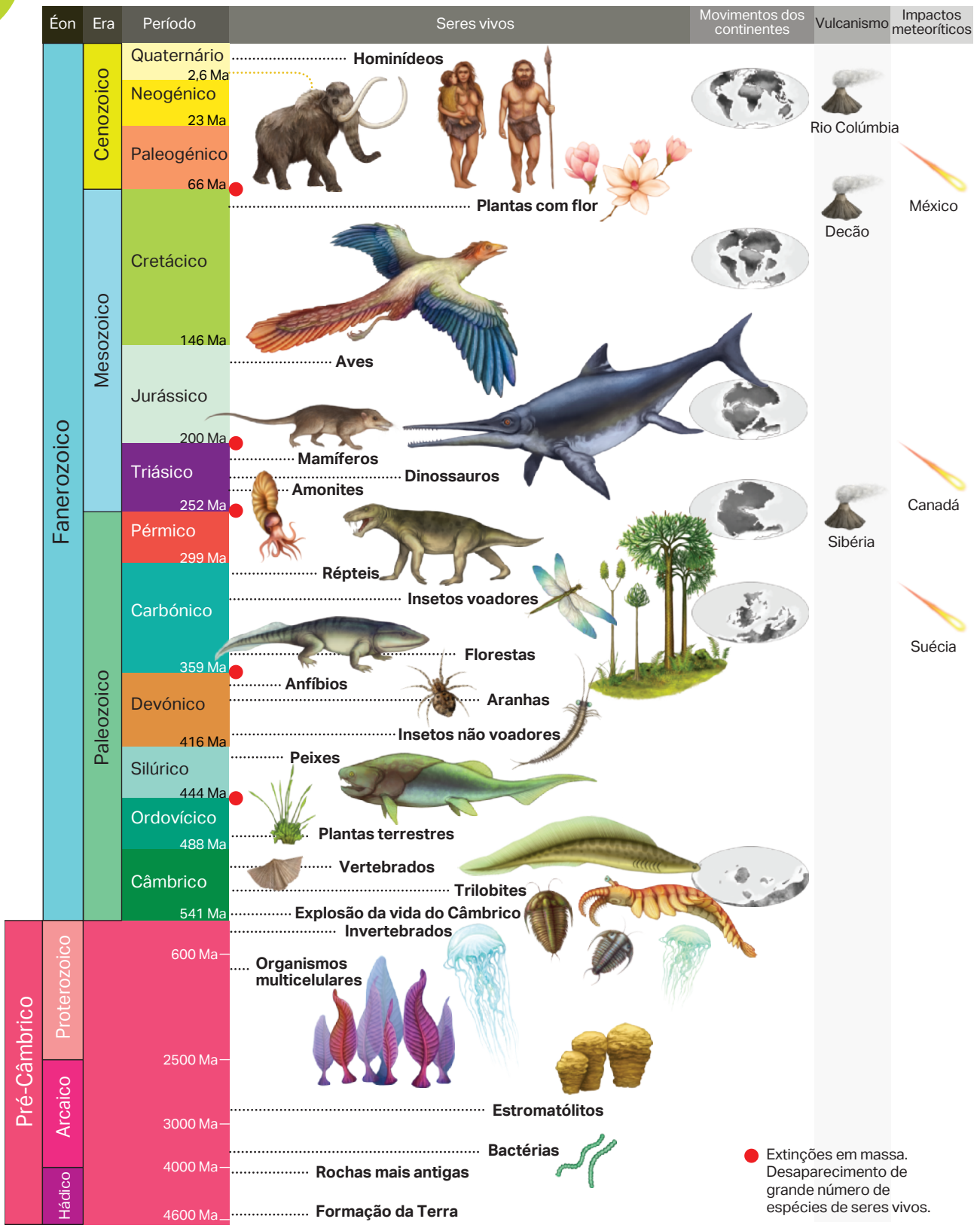


Fig. 3 Escala do tempo geológico simplificada.

Prego dourado – *golden spike*

A Comissão Internacional de Estratigrafia da União Internacional de Ciências Geológicas identifica a localização das rochas que melhor representam as unidades geocronológicas. Os limites inferiores destas camadas – GSSP (*Global Standard Stratotype Section and Point*) – são assinalados no terreno por um "prego dourado".



Por Liam Herringshaw – Obra do próprio, CC BY-SA 3.0

Fig. 4 Observação do GSSP para o limite Ediacarano–Câmbrico. Canadá (2012).



Por Josugoni – Obra do próprio, CC BY-SA 4.0

Fig. 6 Placa informativa do GSSP do Paleocénico Superior–Inferior na secção de Zumaia, Espanha.



Por PePeEfe – Obra do próprio, CC BY-SA 4.0

Fig. 5 Cerimónia de colocação do GSSP do limite Jurássico Inferior-Médio. Espanha (2016).



Fig. 7 GSSP para a base do Calabriano. Japão (2020).



Por Woudloper – Obra do próprio, CC BY-SA 4.0

Fig. 8 GSSP para a base do Paibiano. China (2003).

Atividade prática

Investiga os principais acontecimentos geológicos da ilha onde vives e organiza essa informação numa linha do tempo geológico.

1. Pesquisa informação sobre aspetos geológicos da tua ilha:
   - **Vulcanismo** – Quando começaram as erupções? Há erupções recentes ou históricas? Que tipos de rochas vulcânicas existem?
   - **Rochas e formações geológicas** – Que rochas são comuns na tua ilha? As idades aproximadas dessas rochas são conhecidas? Existem fósseis? Em que tipo de depósitos aparecem?
   - **Paisagens e eventos geológicos recentes** – Deslizamentos antigos, erosão costeira, formação de vales, cones vulcânicos, etc. Há registo de mudanças do nível médio do mar?
2. Organiza os dados recolhidos numa linha cronológica, utilizando um código de cores para distinguir as diferentes categorias de acontecimentos e para identificar a respetiva unidade geocronológica.

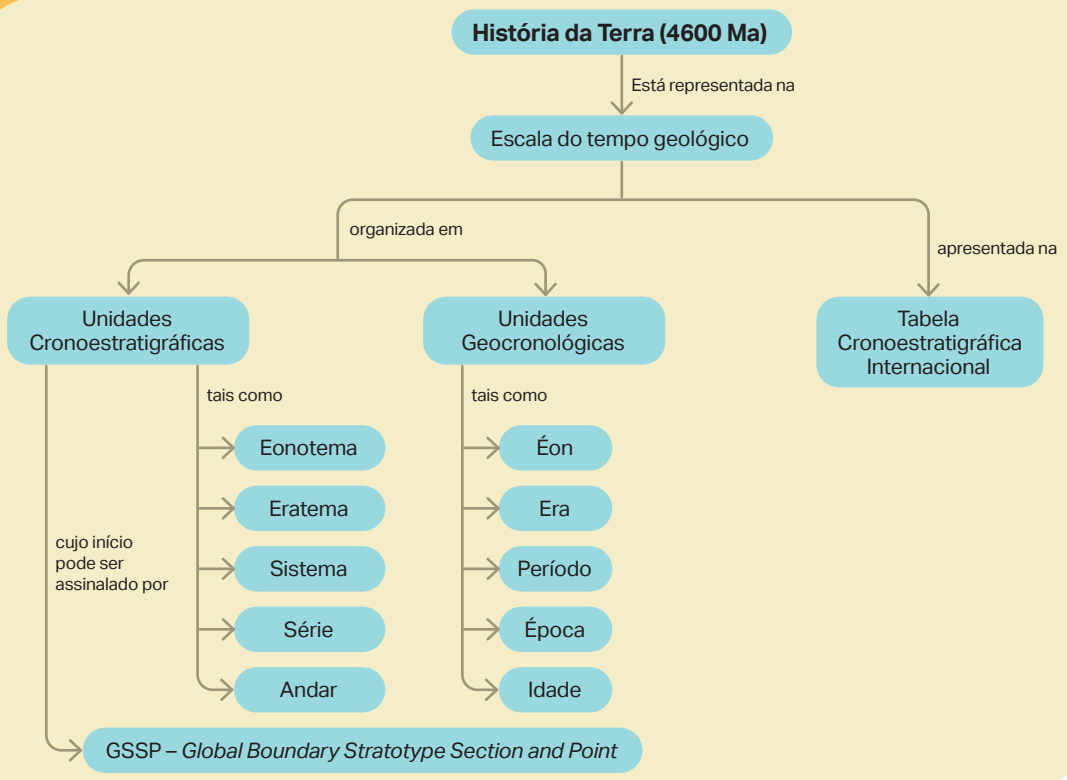
Sugestão

Podes aproveitar os dados recolhidos para organizar um roteiro de saída de campo com a seleção de pontos a visitar. Com as fotografias recolhidas durante a saída de campo, a tua turma pode criar, *online*, uma viagem virtual pela história da ilha, aproveitando assim para divulgar o seu património geológico.



Fig. 1 Esquema simplificado dos principais acontecimentos da escala do tempo geológico.

Mapa de conceitos



Em resumo...

O que são unidades cronoestratigráficas? → **Unidades cronoestratigráficas** são formações rochosas que representam intervalos específicos da história da Terra, como **eonotemas**, **eratemas**, **sistemas**, **séries** e **andares**.

O que são unidades geocronológicas? → **Unidades geocronológicas** representam a duração dos acontecimentos geológicos registados nas rochas – são as subdivisões do tempo correspondentes às unidades cronoestratigráficas, como éons, eras, períodos, épocas e idades.

O que é a tabela cronoestratigráfica internacional da Comissão Internacional de Estratigrafia? → A **tabela cronoestratigráfica** internacional da Comissão Internacional de Estratigrafia (ICS) é o quadro de referência global que organiza e padroniza as unidades cronoestratigráficas e geocronológicas do tempo geológico.

O que significa *Global Boundary Stratotype Section and Points?* → O ***Global Boundary Stratotype Section and Point*** **(GSSP)** é o ponto físico num afloramento, assinalado por um **"prego dourado"**, que define internacionalmente o limite inferior de uma unidade cronoestratigráfica modelo.

Teste formativo

Observa a escala do tempo geológico simplificada representada na figura 1.

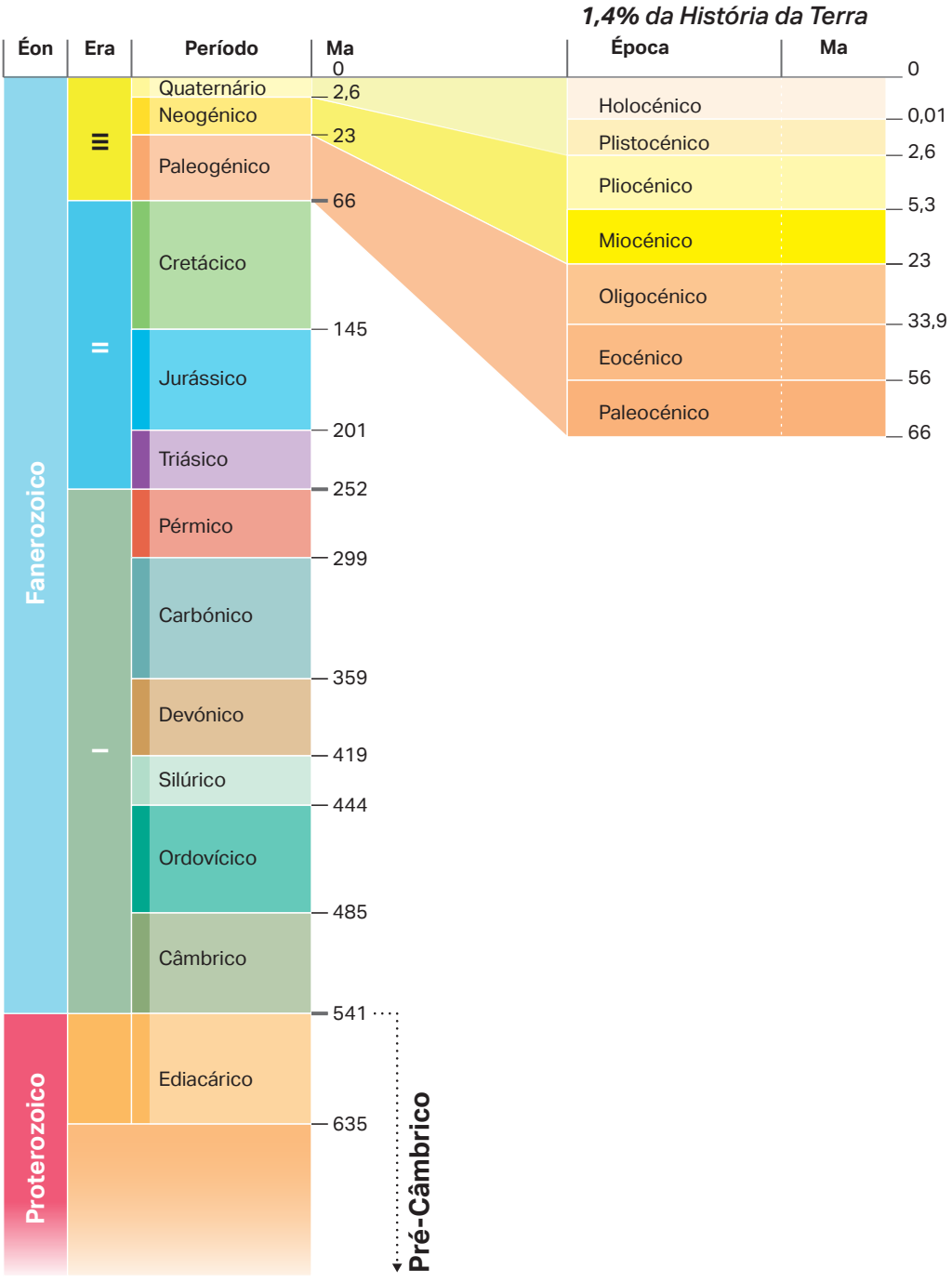


Fig. 1 Escala simplificada do tempo geológico.

1 Refere a unidade de tempo da escala do tempo geológico.

2 Identifica as eras I, II e III representadas na figura 1.

3 Seleciona a opção que apresenta os períodos do Mesozoico do mais antigo para o mais recente.

(A) Jurássico → Triásico → Cretácico
(B) Triásico → Jurássico → Cretácico
(C) Cretácico → Triásico → Jurássico
(D) Jurássico → Cretácico → Triásico

4 Seleciona o conjunto que apresenta corretamente a hierarquia crescente do tempo geológico.

(A) período → época → era → éon
(B) época → período → era → éon
(C) era → época → período → éon
(D) éon → era → período → época

5 O período de tempo mais curto é o que vai

(A) do início do Ordovícico ao final do Silúrico.
(B) do início do Jurássico ao final do Cretácico.
(C) do início do Paleogénico ao final do Neogénico.
(D) do início do Triásico ao final do Jurássico.

6 Seleciona a afirmação verdadeira.

(A) O Miocénico é mais antigo do que qualquer época do Paleogénico.
(B) O Triásico é mais recente do que o Paleogénico.
(C) O Paleozoico é mais curto do que o Mesozoico.
(D) O Proterozoico é mais recente que o Fanerozoico.

7 O intervalo de tempo entre 66 Ma e 23 Ma corresponde:

(A) a toda a era Cenozoica.
(B) a todo o período Paleogénico.
(C) à transição Paleogénico-Neogénico.
(D) ao Miocénico e Pliocénico juntos.

8 Um prego dourado para a primeira idade do Miocénico deve ser colocado no terreno em rochas datadas aproximadamente com:

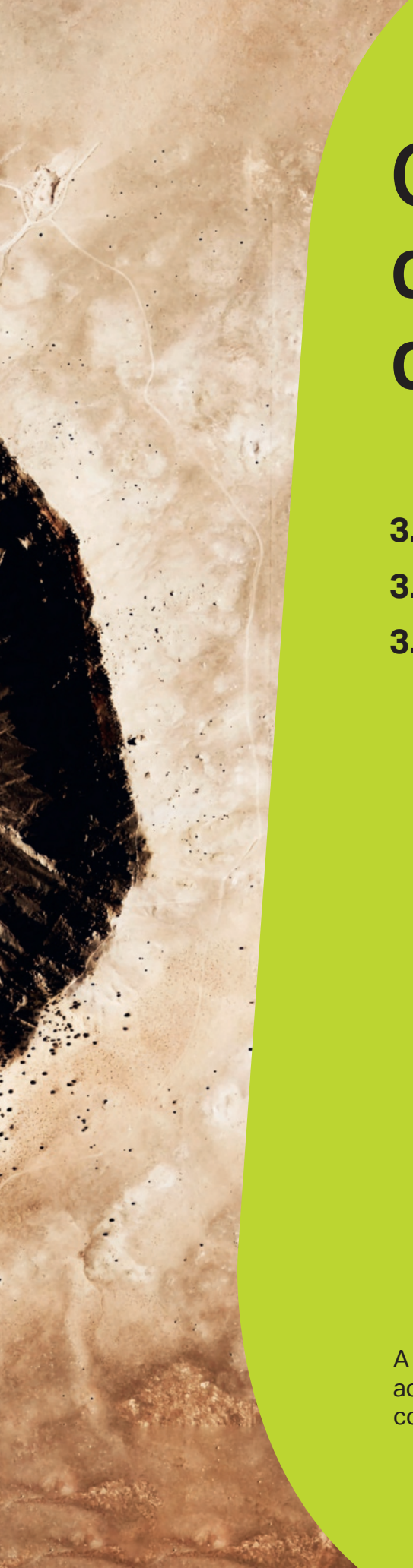
(A) 2,6 Ma. **(B)** 5,3 Ma. **(C)** 23 Ma. **(D)** 66 Ma.

9 Compara o Paleozoico, o Mesozoico e o Cenozoico quanto à duração e à divisão em períodos.

3



Cratera de impacto de meteorito.



Grandes Etapas da História da Terra

3.1. Evolução da Vida na Terra

3.2. Grandes Extinções

3.3. Reconstituições Paleogeográficas

A história do planeta Terra está marcada por inúmeros acontecimentos que ficaram gravados nas rochas, constituindo evidências da sua dinâmica.

3.1. Evolução da Vida na Terra

O registo da história geológica do planeta não está atualmente todo acessível ao ser humano – algumas rochas foram erodidas ou estão inacessíveis – mas existem dados suficientes para identificar e ordenar os principais eventos do passado relativamente à evolução das formas de vida na Terra.

Pré-Câmbrico

O Pré-Câmbrico (de 4600 Ma a 541 Ma) engloba os éons Hádico, Arcaico e Proterozoico.

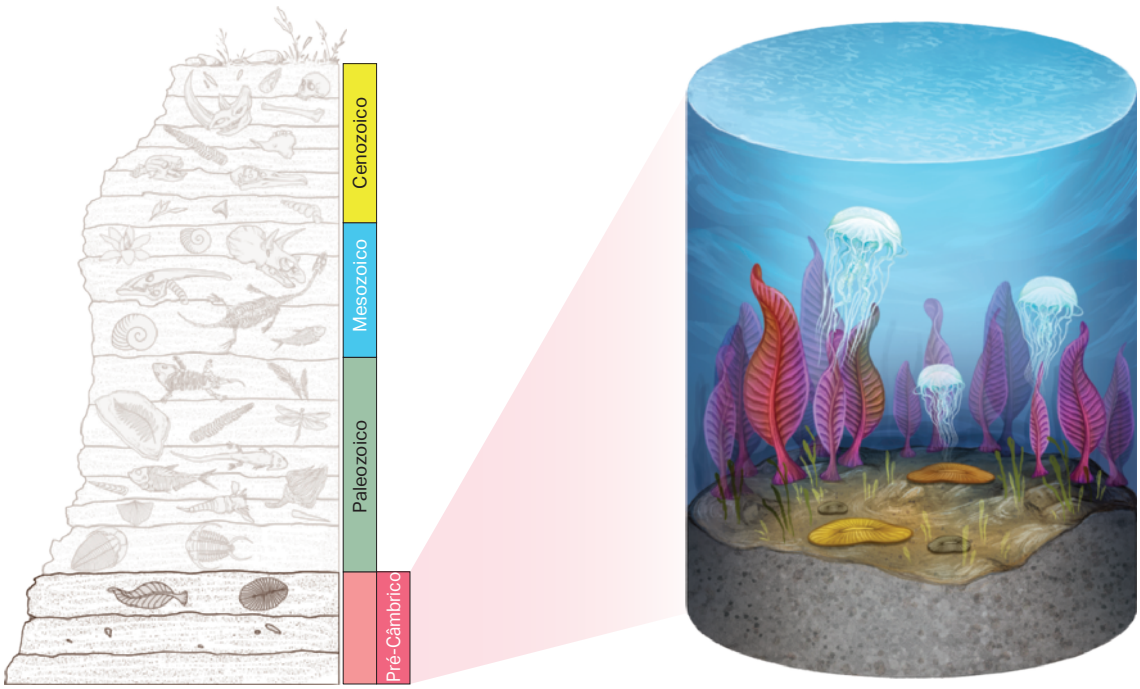


Fig. 1 Reconstituição do ambiente marinho do Pré-Câmbrico.

Acontecimentos marcantes da evolução da Terra durante o intervalo de tempo desde a sua formação até ao período Câmbrico.

- Formação da estrutura interna da Terra, incluindo a crusta terrestre.
- Colisão do protoplaneta Theia, com consequente formação da Lua.
- Formação de uma atmosfera composta essencialmente por água, metano, amónia, hidrogénio, nitrogénio, dióxido de carbono e dióxido de enxofre.
- Aparecimento dos primeiros seres vivos unicelulares no oceano (há aproximadamente 3500 Ma).
- Aparecimento dos primeiros seres vivos fotossintéticos e difusão de oxigénio para a atmosfera.
- Aparecimento dos primeiros seres vivos multicelulares.



Fig. 2 Estromatólito.

Os estromatólitos (figura 2) constituem uma das mais antigas evidências de vida e do início da oxigenação da atmosfera terrestre. Formam-se porque as cianobactérias segregam uma substância semelhante a muco, à qual aderem os sedimentos que se depositam em meio aquático. À medida que a estrutura assim formada fica enterrada, novas cianobactérias colonizam o topo do sedimento, construindo o montículo para cima.



Por Verisimilus at English Wikipedia, CC BY 2.5

Fig. 3 Fóssil da fauna de Ediacara.

A fauna de Ediacara (figura 3), com organismos marinhos de corpo mole, apareceu no final do éon Proterozoico. Estes seres multicelulares invertebrados terão existido entre 620 Ma e 565 Ma. O nome Ediacara deve-se à região australiana onde primeiro foram identificados e estudados os fósseis destes seres.

Responde tu

1. Calcula a duração do Pré-Câmbrico.
2. Tendo em consideração as características inerentes aos seres vivos do Pré-Câmbrico, apresenta uma explicação para o escasso registo fossilífero.
3. Explica a importância do surgimento dos seres fotossintéticos na conquista, mais tarde, do meio terrestre.
4. Na figura 3, podes observar uma régua no canto superior direito. Justifica a sua importância no registo e posterior estudo deste fóssil.
5. Discute a razão para se atribuir aos três primeiros éons da história da Terra uma designação comum – Pré-Câmbrico.

Paleozoico

O Paleozoico (de 541 Ma a 252 Ma) é uma era marcada por uma explosão da biodiversidade e pela conquista do ambiente terrestre.

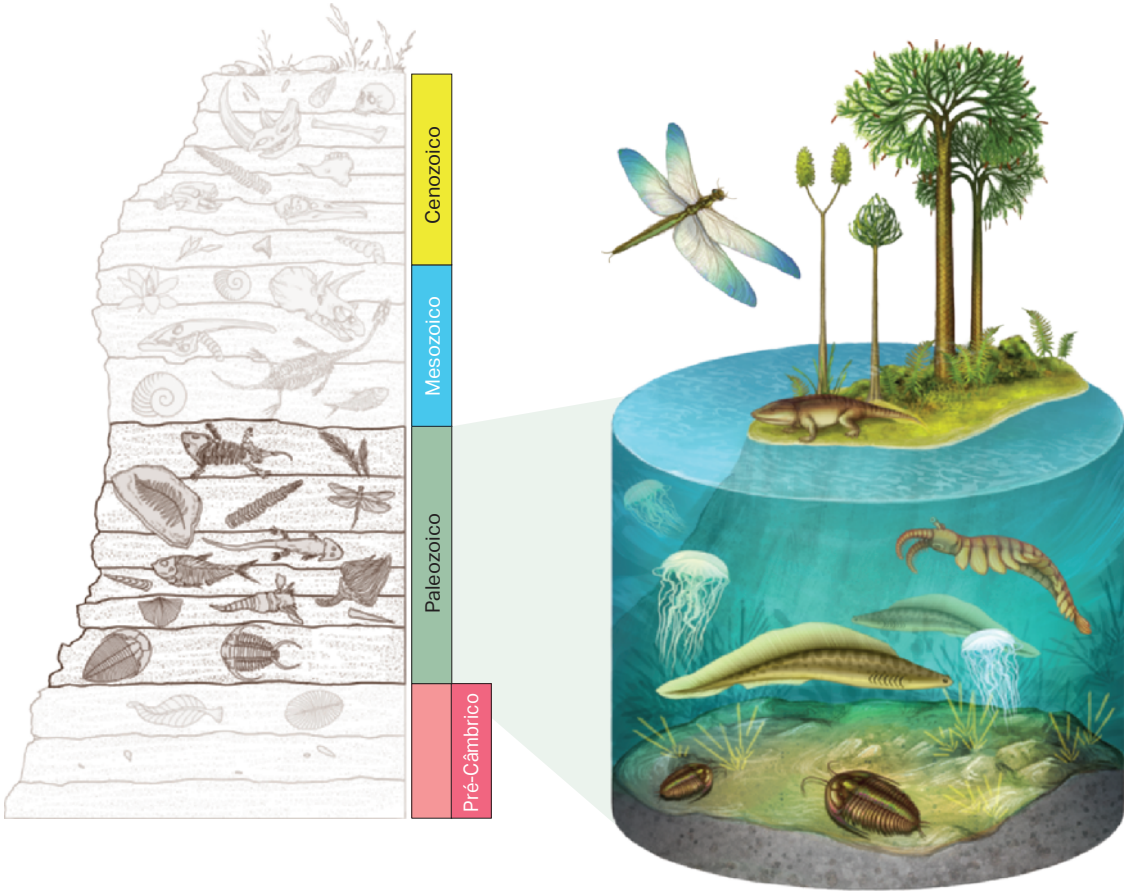


Fig. 4 Reconstituição de ambientes do Paleozoico.

Acontecimentos marcantes da evolução da vida na Terra durante o Paleozoico:

- Grande diversificação das formas de vida marinhas no Câmbrico – a explosão câmbrica.
- Aparecimento dos primeiros invertebrados marinhos com concha.
- Aparecimento das trilobites (fim do Câmbrico) e a sua extinção (fim do Pérmico).
- Aparecimento dos primeiros vertebrados marinhos – os peixes.
- Formação da camada de ozono.
- Conquista do meio terrestre.
- Desenvolvimento de grandes florestas e aparecimento dos primeiros insetos, anfíbios e répteis.
- Maior extinção em massa de seres vivos (90% da vida marinha e 70% da vida terrestre).



Fig. 5 Fósseis de trilobite.

As trilobites – devem o seu nome ao facto de terem o corpo segmentado em três partes – são fósseis de idade que permitem datar rochas do Paleozoico. Estes animais deixaram também icnofósseis da sua atividade de locomoção – cruziana.



Fig. 6 Fósseis da fauna de Burgess Shale.

A fauna de Burgess Shale (encontrada nas Montanhas Rochosas do Canadá) foi reconhecida como património mundial pela Unesco em 1981. Trata-se de um conjunto de fósseis do Câmbrico Médio, excecionalmente bem preservados, incluindo muitos organismos de corpo mole.

Responde tu

1. Calcula a duração da era Paleozoica.
2. Justifica a classificação dos fósseis de trilobite como fósseis de idade.
3. Justifica a importância da fauna de Burgess Shale.
4. Explica o motivo pelo qual a conquista do meio terrestre foi possível no Paleozoico.
5. Relaciona o desenvolvimento de grandes florestas no Paleozoico com alterações na composição da atmosfera terrestre e no clima global.
6. Justifica a afirmação de que o Paleozoico foi uma era marcada por profundas alterações na biodiversidade marinha.

Mesozoico

O Mesozoico (de 252 Ma a 66 Ma) é uma era marcada pela grande diversidade de répteis, sendo por isso conhecida como "era dos répteis" ou "era dos dinossauros".

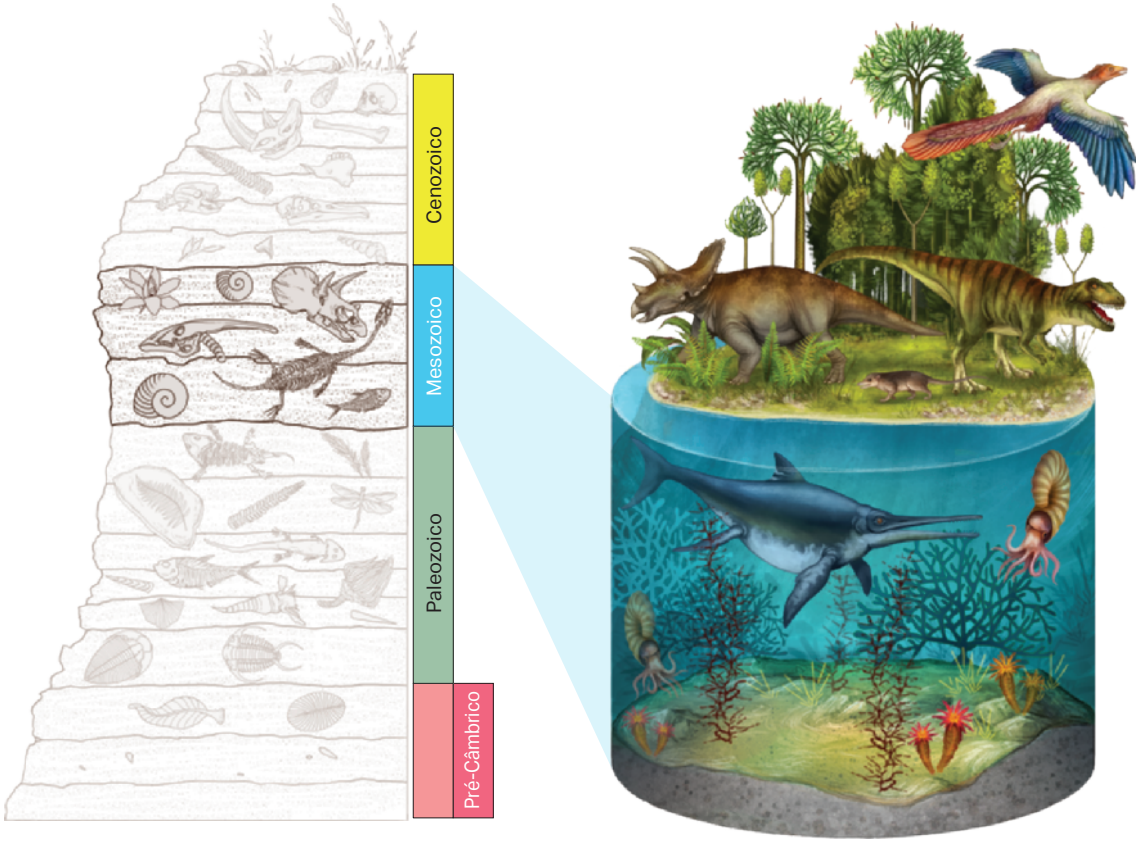


Fig. 7 Reconstituição de ambientes do Mesozoico.

Acontecimentos marcantes da evolução da vida na Terra durante o Mesozoico:

- Fragmentação da Pangeia e abertura progressiva de novos oceanos.
- Grande desenvolvimento das gimnospérmicas.
- Aparecimento de peixes com características semelhantes aos atuais.
- Aparecimento das primeiras angiospérmicas (plantas com flor).
- Domínio dos répteis.
- Proliferação e diversificação dos cefalópodes, com destaque para as amonites.
- Aparecimento das primeiras aves.
- Aparecimento dos primeiros mamíferos de pequeno porte.
- Extinção em massa (75% dos seres vivos).



Fig. 8 Fósseis de amonite.

As amonites são cefalópodes extintos que povoaram os ambientes marinhos do Mesozoico. Cresciam em conchas segmentadas em câmaras. Esta segmentação pode ser observada em alguns fósseis mineralizados quando cortados a meio (figura 8), fornecendo informações sobre o crescimento destes organismos.



Fig. 9 Fóssil de *Archaeopteryx*.

Os fósseis do género *Archaeopteryx* (figura 9) datam de há cerca de 150 milhões de anos, até há cerca de 145 milhões de anos. Exibem, em simultâneo, características avianas (como asas e penas) e reptilianas (como dentes, garras e cauda óssea).

Responde tu

1. Calcula a duração da era Mesozoica.
2. Justifica a designação "era dos répteis".
3. Explica o elevado interesse da comunidade científica em fósseis com as características do *Archaeopteryx*.
4. Apresenta duas explicações para o registo fossilífero abundante de amonites.
5. Discute a relação entre a extinção em massa do final do Mesozoico e o sucesso evolutivo dos mamíferos, mais tarde, no Cenozoico.
6. Apresenta uma explicação para o facto de não existirem fósseis do Pré-Câmbrico, do Paleozoico ou do Mesozoico em Cabo Verde.

Cenozoico

Manual Digital

Atividade
Escala do tempo geológico

O Cenozoico (de 66 Ma até à atualidade) é uma era marcada pela grande diversificação e proliferação de mamíferos, sendo por isso conhecida como "era dos mamíferos".



Fig. 10 Reconstituição de ambientes terrestre do Cenozoico.

Acontecimentos marcantes da evolução da vida na Terra durante o Cenozoico:

- Formação e evolução do arquipélago de Cabo Verde associado a vulcanismo intraplaca.
- Aparecimento de mamíferos de grande porte como mamutes, mastodontes e tigres-dente-de-sabre.
- Domínio das plantas com flor.
- Aparecimento dos primeiros hominídeos.
- Aparecimento e evolução do género *Homo*.



Fig. 11 Fósseis de mamute.

Os mamíferos de grandes dimensões, como os mamutes (figura 11), desenvolveram-se no Cenozoico e extinguiram-se nos últimos 10 000 anos.



Fig. 12 Crânios representativos da evolução humana.

Os ancestrais da espécie humana apareceram e evoluíram durante o Cenozoico. O registo fóssil permitiu concluir que os primatas diversificaram durante o Miocénio. Houve o aparecimento dos primeiros fósseis do género *Homo*.

Responde tu

1. Calcula a duração, até ao presente, da Era Cenozoica.
2. Justifica a designação "era dos mamíferos".
3. Regista dois exemplos de mamíferos que se extinguiram durante o Cenozoico.
4. Existem diversos exemplares de mamutes fossilizados por conservação no gelo. Discute com os teus colegas de turma a importância deste tipo de fossilização.
5. Explica por que razão o Cenozoico é considerado uma era geológica recente, apesar de ter começado há dezenas de milhões de anos.

3.2. Grandes Extinções

Manual Digital

Vídeo
Alterações cíclicas ao longo do tempo geológico

A interação entre os subsistemas da Terra e destes com processos extraterrestres tem marcado a história do planeta ao longo dos seus 4600 Ma de existência. A evolução da vida na sua superfície reflete esta história, na medida em que a biodiversidade tem sido fortemente condicionada por diversos processos e produtos geológicos.

Os movimentos verticais e horizontais da crusta terrestre – que podem modificar a distribuição e a área ocupada por *habitats* –, o impacto de asteroides ou meteoritos – cujas poeiras libertadas para a atmosfera podem alterar o clima – e as erupções vulcânicas massivas – cujos gases modificam a composição da atmosfera e podem induzir alterações climáticas –, entre outros fenómenos, resultaram na perda de *habitat* de espécies que, quando não foram capazes de migrar ou adaptar-se, acabaram por desaparecer.

Estas extinções, registadas e identificáveis no registo fossilífero, podem traduzir-se numa diminuição abrupta do número de famílias encontradas a nível global, correspondendo a **extinções em massa**. Estas são utilizadas para estabelecer divisões na escala do tempo geológico.

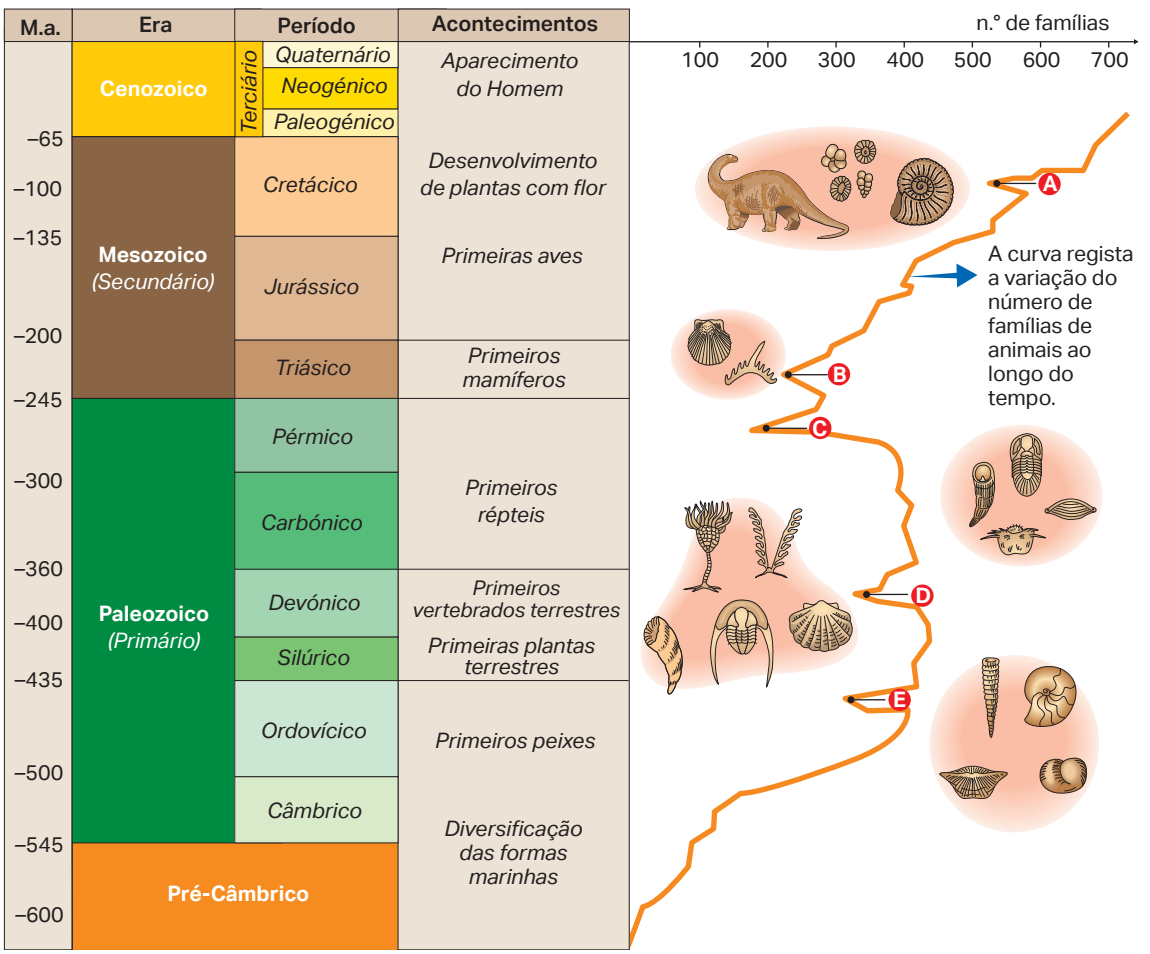


Fig. 13 Tabela cronoestratigráfica simplificada, variação do número de famílias de animais ao longo do tempo e extinções em massa (A a E).

Nos últimos 500 Ma ocorreram pelo menos cinco grandes extinções em massa.

A – Cretácico-Paleogénico (65 Ma)

O impacto de um meteorito de grandes dimensões na Península de Iucatão (México) terá provocado uma mudança climática instantânea, levando à extinção dos dinossauros (exceto das aves) e permitindo, em consequência, a evolução e expansão dos mamíferos.



Fig. 14 Fóssil de *Ceratosaurus*.



F034 – Por Ghedoghedo – Obra do próprio, CC BY-SA 3.0

Fig. 15 Fóssil de *Nicrosaurus*.

B – Triásico-Jurássico (200 Ma)

A principal causa desta extinção pode ter sido a abertura do oceano Atlântico durante a fragmentação do supercontinente Pangeia. Erupções vulcânicas que se estenderam por milhares de quilómetros terão afetado a atmosfera e os oceanos.

C – Pérmico-Triásico (250 Ma)

Intensa atividade vulcânica na região da atual Sibéria e um impacto meteorítico terão condicionado o clima com consequente diminuição da produtividade primária e colapso das redes tróficas.



Por James St. John, CC BY 2.0

Fig. 16 Fóssil de coral do Paleozoico.



Fig. 17 Fóssil de *Dunkleosteus terrelli*.

D – Devónico Superior (360 Ma)

A atividade vulcânica, o impacto de um corpo extraterrestre e o excesso de nutrientes na água, com consequente proliferação de seres fotossintéticos e anoxia, encontram-se entre as possíveis causas para esta extinção, algumas das quais podem dever-se ao crescimento das florestas e à meteorização das rochas pelas plantas.

E – Ordovícico-Silúrico (440 Ma)

Uma glaciação em grande escala, com consequente descida global do nível do mar, esteve na origem da extinção de cerca de 85% das espécies marinhas de águas pouco profundas.



Fig. 18 Fóssil de trilobite do género *Selenopeltis*.

A análise comparativa de gráficos de registo da variação da temperatura global, dos níveis de gases atmosféricos e da evolução da vida ao longo dos últimos 4000 Ma da história da Terra evidenciam uma relação de interdependência entre a evolução da atmosfera e a evolução biológica.

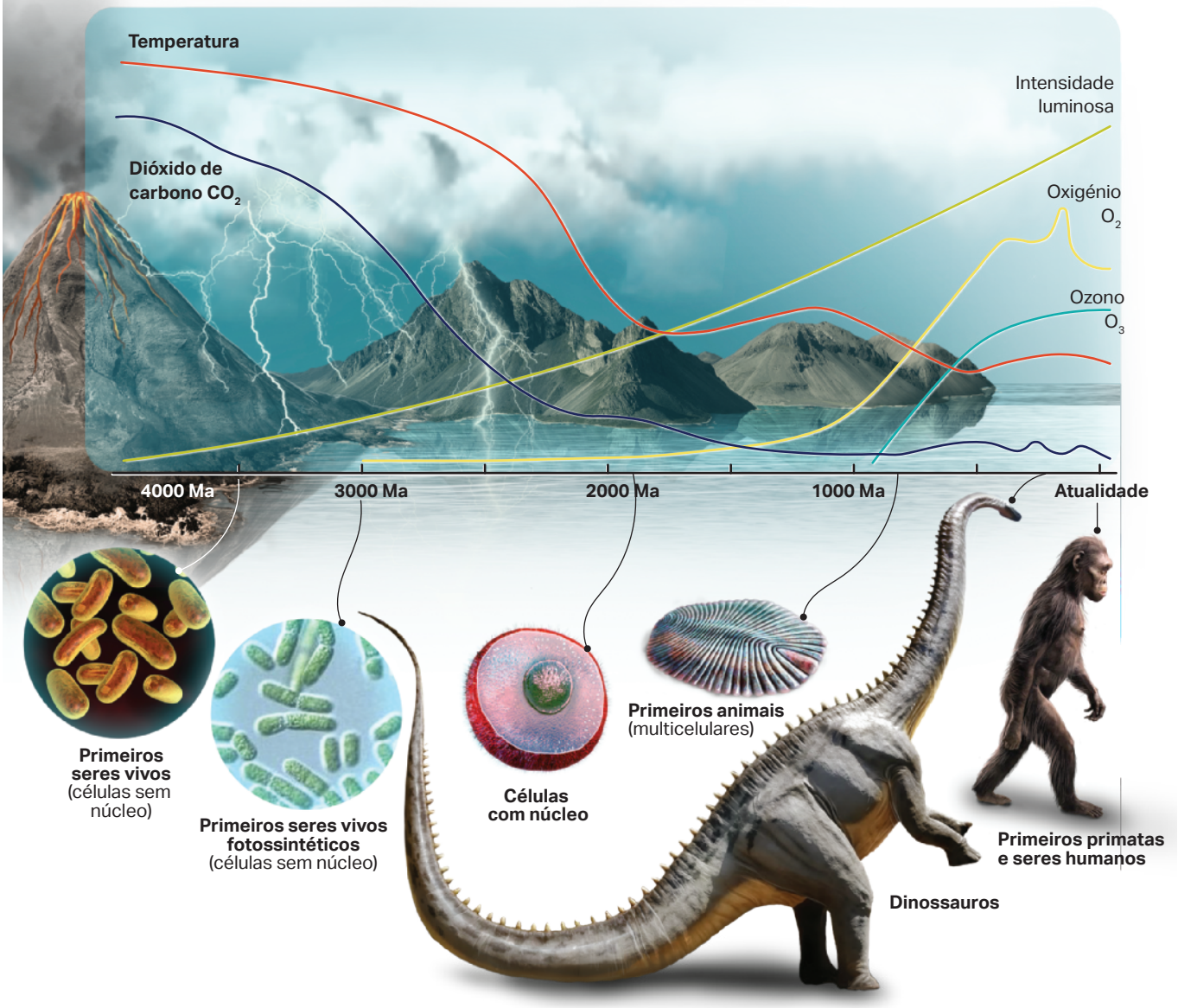


Fig. 19 Esquema simplificado da evolução da atmosfera terrestre e das formas de vida ao longo de 4000 Ma.

Responde tu

1. Analisa a figura 19 e procura estabelecer relações de causa-efeito entre os dados relativos à evolução biológica e os dados relativos à evolução da composição atmosférica.

Causas das extinções em massa

A análise de registos sedimentares, paleontológicos e geoquímicos permitiu identificar vários fatores e processos (ou fenómenos) que, isoladamente ou combinados, contribuíram para eventos catastróficos ao longo da história da Terra.

Alterações na temperatura média da superfície do planeta estão diretamente relacionadas com o nível eustático e podem conduzir à perda de *habitats*, aumento da temperatura dos oceanos e colapso das cadeias alimentares marinhas – aquecimento global – ou estar na origem de **glaciações** e redução da produtividade primária – arrefecimento acentuado.

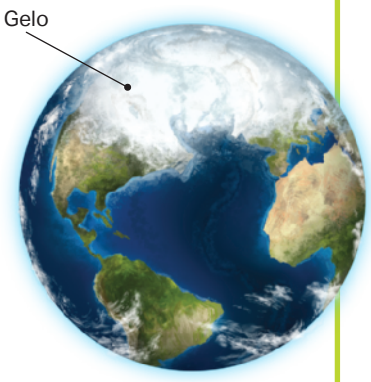
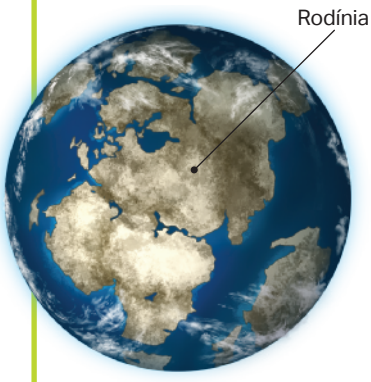


Fig. 20 Glaciação.



Os **movimentos das placas tectónicas** estão na origem da reorganização dos continentes – a colisão ou separação de massas continentais resulta na criação ou destruição de *habitats* – e do aumento de vulcanismo associado às fronteiras convergentes e divergentes de placas litosféricas.

Estes movimentos alteram profundamente o volume das bacias oceânicas com consequentes variações eustáticas.

Fig. 21 Supercontinente Rodínia.

Oscilações do nível do mar afetam áreas de elevada biodiversidade. As **regressões marinhas** reduzem as plataformas continentais, destruindo *habitats*, enquanto as **transgressões marinhas** podem provocar anoxia (diminuição extrema do oxigénio dissolvido) em ambientes marinhos ou submergir ecossistemas costeiros.

A anoxia causa mortalidade em larga escala, encontrando-se frequentemente registada em sedimentos ricos em matéria orgânica (*black shales*).

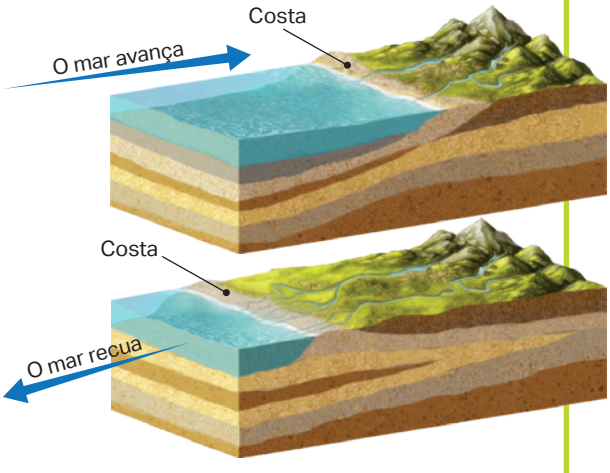


Fig. 22 Transgressão marinha (A) e regressão marinha (B).

O impacto na superfície terrestre de corpos vindos do espaço e a atividade vulcânica prolongada podem libertar para a atmosfera partículas sólidas e gasosas responsáveis pela ocorrência de alterações climáticas.

3.3. Reconstituições Paleogeográficas

O estudo da história da Terra requer a reconstituição geográfica da superfície do planeta – **paleogeografia** –, contudo, a reconstituição da distribuição de antigos continentes e mares, da configuração da superfície terrestre, das modificações do relevo e da variação do clima constitui um desafio para a ciência.

As cadeias montanhosas com origem anterior ao supercontinente Pangeia foram fortemente destruídas pela erosão. Os fundos oceânicos que não foram totalmente subductados encontram-se muito deformados, incorporados na crusta continental durante processos de obducção – os ofiólitos.

Pré-Câmbrico (de 4600 Ma a 541 Ma)

- Formação dos primeiros continentes em resultado de intensa atividade tectónica e magmática (vulcânica e plutónica).
- Formação de cerca de 80% da crusta continental atual.
- Os cratões do Arcaico conservaram rochas que testemunham alguns acontecimentos geológicos desse tempo.

Formação do supercontinente Rodínia – que reunia vários cratões numa única massa, provavelmente em latitudes baixas.

O Éon Fanerozoico (últimos 541 Ma) recebe o seu nome do grego "vida visível" devido ao aparecimento de diversos organismos que, por conterem partes duras (concha e esqueleto), deixaram abundante registo fóssil.

Paleozoico (de 542 Ma a 252 Ma)

- Fragmentação do supercontinente Panótia em continentes menores, como Laurentia, Gondwana, Báltica e Sibéria.
- As bacias passivas nas margens dos continentes dispersos permitiram a formação de mares epicontinentais rasos, ricos em vida e sedimentos fossilíferos.
- O aquecimento global do início do Silúrico originou transgressões marinhas marcadas pela formação de recifes e camadas de calcário fossilífero.
- Colisões continentais levaram à formação do supercontinente Pangeia – que reunia quase toda a crusta continental, distribuindo-se por várias latitudes à escala global.
- Formação de desertos extensos no interior da Pangeia.

Mesozoico (de 252 Ma a 66 Ma)

- A Pangeia existiu durante cerca de 100 milhões de anos.
- Fragmentação da Pangeia no final do Triásico.
- Abertura progressiva do Atlântico Sul.
- Durante o Cretácico, a temperatura média do planeta era elevada e o nível médio do mar subiu, inundando grande parte das áreas continentais.

Cenozoico (de 66 Ma até à atualidade)

- Separação final dos continentes modernos.
- Formação de cadeias montanhosas como os Himalaias, os Andes e os Alpes.
- Expansão contínua do Atlântico.
- Formação do Rifte Este-Africano.
- Glaciações do Quaternário.
- Início do período interglacial em que ainda vivemos.

Ao longo da história da Terra, terão existido vários supercontinentes – como Vaalbara, Kenorland, Columbia, Rodínia, Panótia e Pangeia – cuja formação e fragmentação são propostas baseadas em evidências limitadas e modelos ainda em discussão, ilustrando possíveis ciclos de reorganização tectónica do planeta.

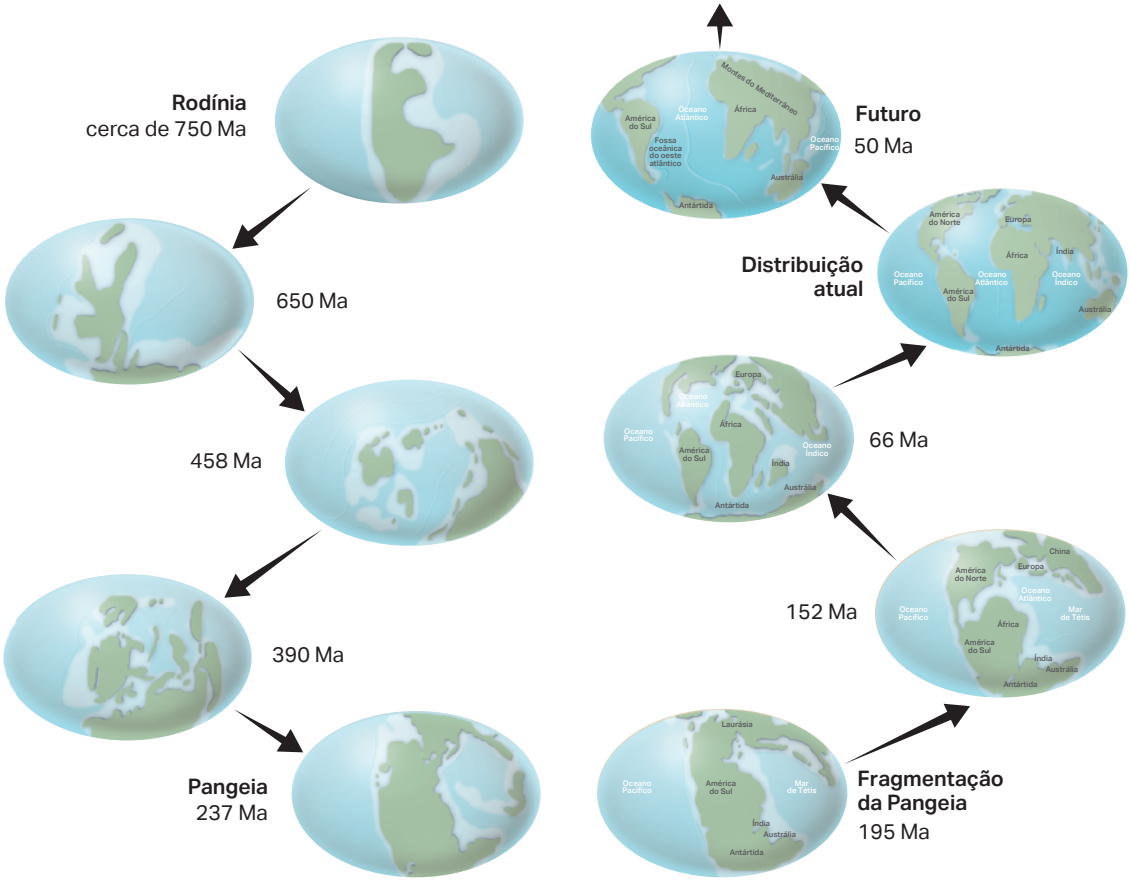


Fig. 23 Ilustração da possível evolução da superfície terrestre nos últimos 750 Ma e previsão da sua evolução nos próximos 50 Ma.

Responde tu

1. Apresenta uma explicação para a maior dificuldade em reconstituir a paleogeografia no período anterior à Pangeia.

Atividade prática

1 Informação

Lê o texto abaixo, observa a imagem (figura 1) e pesquisa informação adicional sobre o Antropocénico.

Muito se tem escrito sobre o Antropocénico ou Antropoceno, termo que rapidamente entrou no vocabulário mediático. As evidências do impacte humano no planeta são claras: poluição crescente, transformação da biodiversidade, alterações climáticas e acidificação dos oceanos – processos que afetam de forma direta os subsistemas mais interligados do sistema Terra. A ação humana estende-se também à litosfera, maior reservatório de carbono e alvo de exploração intensiva de georrecursos, incluindo os associados às chamadas "energias verdes".

O conceito de Antropocénico foi amplificado por Paul Crutzen no início dos anos 2000 e ganhou força por traduzir de forma simples a ligação entre a atividade humana e as mudanças ambientais. Embora a ciência confirme que a influência humana é profunda e global, a proposta de reconhecer o Antropocénico como nova época geológica permanece controversa. A estratigrafia exige critérios rigorosos, uma metodologia formal e um registo geológico inequívoco – requisitos que, para muitos especialistas, ainda não estão totalmente reunidos.

Adaptado de: Duarte, L. V., (2022) *O Antropocénico como idade geológica*, Rev. Ciência Elem., V10(2):019, disponível em http://doi.org/10.24927/rce2022.019



Fig. 1 Esquema representativo de alguns impactes humanos utilizados na proposta de definição do Antropocénico.

1 **Em grupo, responde às seguintes perguntas:**

1.1. Que problemas ambientais atuais são mais referidos em Cabo Verde?

1.2. Que relações consegues fazer entre o texto, a imagem e a realidade cabo-verdiana?

2 **Saída de campo – Observação de evidências locais**

2.1. No espaço envolvente à escola, observa e procura evidências da ação antrópica:

a) Alterações do solo ou relevo (erosão, caminhos, terraplanagens);

b) Materiais humanos (plásticos, vidro, metal, cimento);

c) Mudanças na paisagem (construções, estradas, muros);

d) Impactes biológicos (espécies introduzidas, *habitats* alterados);

e) Poluição (lixo, água contaminada, fumo).

2.2. Regista as observações efetuadas através de desenhos, esquemas e/ou fotografias devidamente legendados.

3 **Identificação de impactes da ação antrópica**

Escolhe três exemplos observados durante a saída de campo e indica como cada um contribui para alterações ambientais em Cabo Verde.

4 **Discussão**

Partilha as tuas conclusões com o grupo-turma e presta atenção às partilhas efetuadas pelos teus colegas de turma. Discute:

a) Já vivemos no Antropocénico? Porquê?

b) Que sinais do Antropocénico podem ser observados nas ilhas de Cabo Verde?

c) É importante reconhecer esta nova época geológica?

5 **Propostas de ação local**

Escolhe, com os teus colegas de turma, três medidas realistas que a tua comunidade ou escola poderia implementar para reduzir impactes ambientais.

6 **Comunicação**

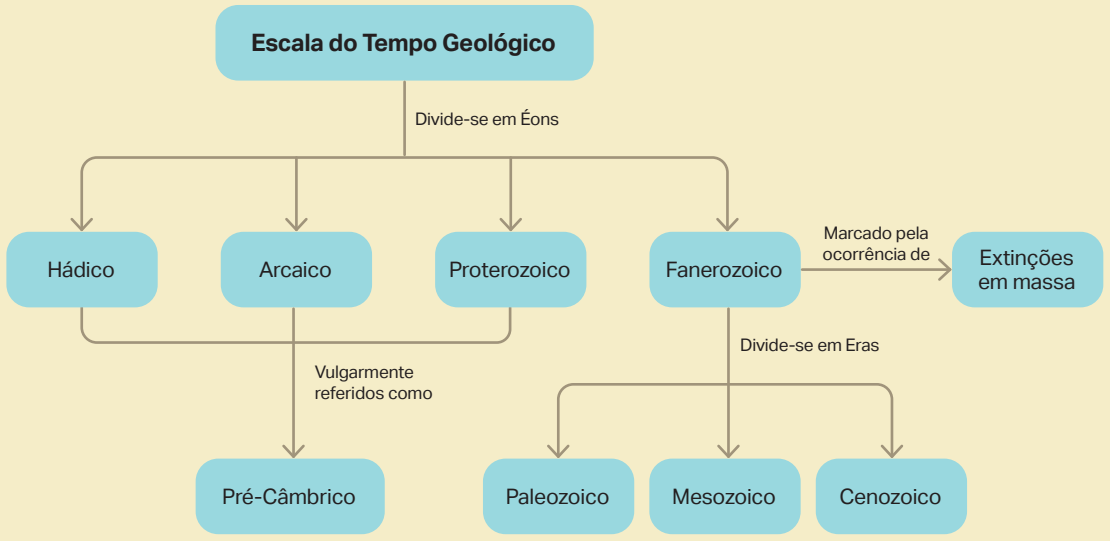
Num pequeno parágrafo (5–6 linhas), explica:

a) O que significa o termo Antropocénico.

b) Como as atividades humanas influenciam o ambiente.

c) Que ações consideras mais urgentes para o futuro de Cabo Verde.

Mapa de conceitos



Em resumo...

Quais são os éons da escala do tempo geológico? → A escala do tempo geológico divide-se em quatro éons: Hádico (4600–4000 Ma), Arcaico (4000–2500 Ma), Proterozoico (2500–541 Ma) e Fanerozoico (541 Ma até ao presente).

Como se organiza temporalmente o Fanerozoico? → O Fanerozoico organiza-se em três eras – Paleozoico (541–252 Ma), Mesozoico (252–66 Ma) e Cenozoico (66 Ma–presente) – cada uma subdividida em períodos específicos.

O que são extinções em massa? → Extinções em massa são o desaparecimento, em larga escala e num curto intervalo de tempo, de seres vivos em resultado de eventos geológicos.

Que extinções em massa existiram? → As cinco extinções em massa principais são: Ordovícico-Silúrico (~440 Ma), Devónico Superior (~360 Ma), Pérmico-Triásico (~250 Ma), Triásico-Jurássico (~200 Ma) e Cretácico-Paleogénico (~66 Ma).

Teste formativo

Grupo I

Há 66 milhões de anos, um evento alterou o clima, o ecossistema e a química das águas e ares a nível global. Muito se debate sobre a causa e duas teorias prevalecem: i) intensa atividade vulcânica, ii) impacto de um meteorito. Seja qual for a causa, a consequência foi uma alteração profunda e indelével nos ecossistemas, de tal forma que o cortejo de fauna e flora mudou para sempre, numa extinção em massa, deixando para trás o Cretácico (símbolo convencionado: K) e entrando no Paleogénico (Pg). O K/Pg é um momento, uma transição de duas grandes eras.

Fonte: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. "Extinção do final do Cretácico em novo estudo pela FCT NOVA." *Departamento de Ciências da Terra*, 25 fevereiro 2018.

1 **Identifica as eras cuja transição é marcada pela extinção K/Pg.**

2 **A extinção K/Pg esteve na origem do desaparecimento**
(A) da fauna de Ediacara.
(B) dos dinossauros não avianos.
(C) dos mamutes e outros mamíferos de grande porte.
(D) das trilobites e amonites.

3 **O evento que ocorreu há 66 milhões de anos provocou**
(A) apenas alterações climáticas regionais.
(B) alterações nos ecossistemas a nível global.
(C) exclusivamente alterações na composição química da atmosfera.
(D) apenas extinção de espécies marinhas.

4 **Ordena, de A a E, por ordem cronológica de acontecimentos.**
A. Extinção K/Pg.
B. Aparecimento dos primeiros seres vivos unicelulares.
C. Domínio dos répteis.
D. Aparecimento dos primeiros hominídeos.
E. Aparecimento dos primeiros seres fotossintéticos.

5 **Explica de que modo este texto reflete o carácter dinâmico da ciência.**

6 **Comenta a afirmação: A explicação para a ocorrência da extinção K/Pg poderá residir na ação conjunta de processos endógenos e exógenos.**

Teste formativo

Grupo II

Observa a figura 1 que representa os gases libertados em erupções vulcânicas e os seus efeitos.

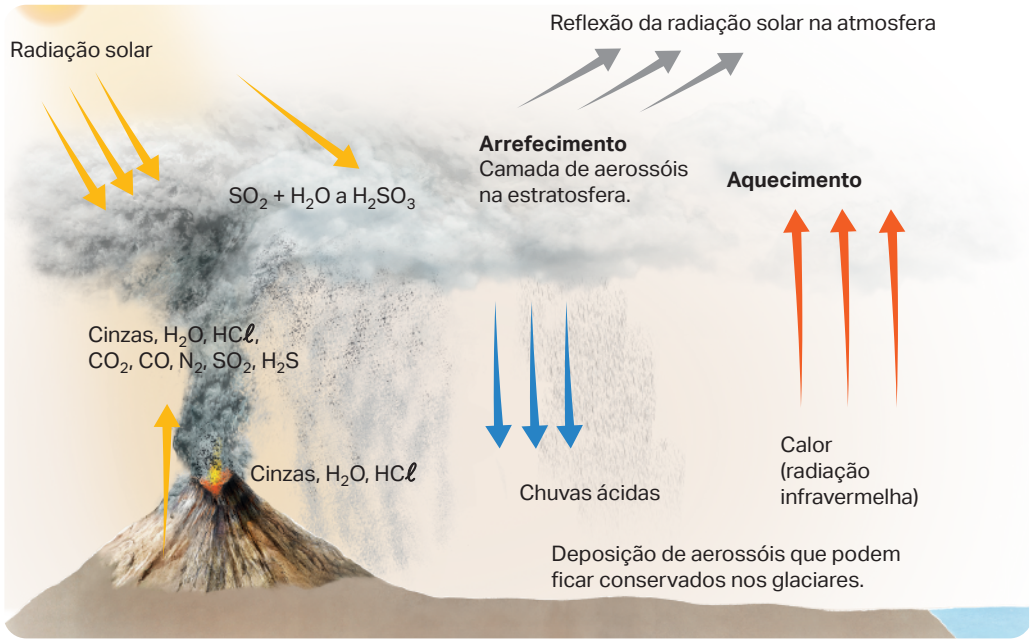


Fig. 1 Infografia sobre as consequências dos gases libertados durante erupções vulcânicas.

1 **A presença de uma camada de aerossóis na estratosfera provoca principalmente**

(A) o aumento da radiação solar que chega à superfície.
(B) o arrefecimento, devido à reflexão da radiação solar.
(C) o aumento da fotossíntese nos ecossistemas.
(D) a depleção de oxigénio na troposfera.

2 **Os gases libertados pelas erupções vulcânicas contribuem**

(A) para o arrefecimento do planeta a curto prazo e o aquecimento do planeta a longo prazo.
(B) para o arrefecimento do planeta a longo prazo e o aquecimento do planeta a curto prazo.
(C) apenas para o arrefecimento do planeta.
(D) apenas para o aquecimento do planeta.

3 **Justifica a resposta dada à questão 2.**

4 **Explica que de forma erupções vulcânicas como a que está representada na figura 1 podem originar eventos de extinção em massa.**

Grupo III

Observa a figura 2.

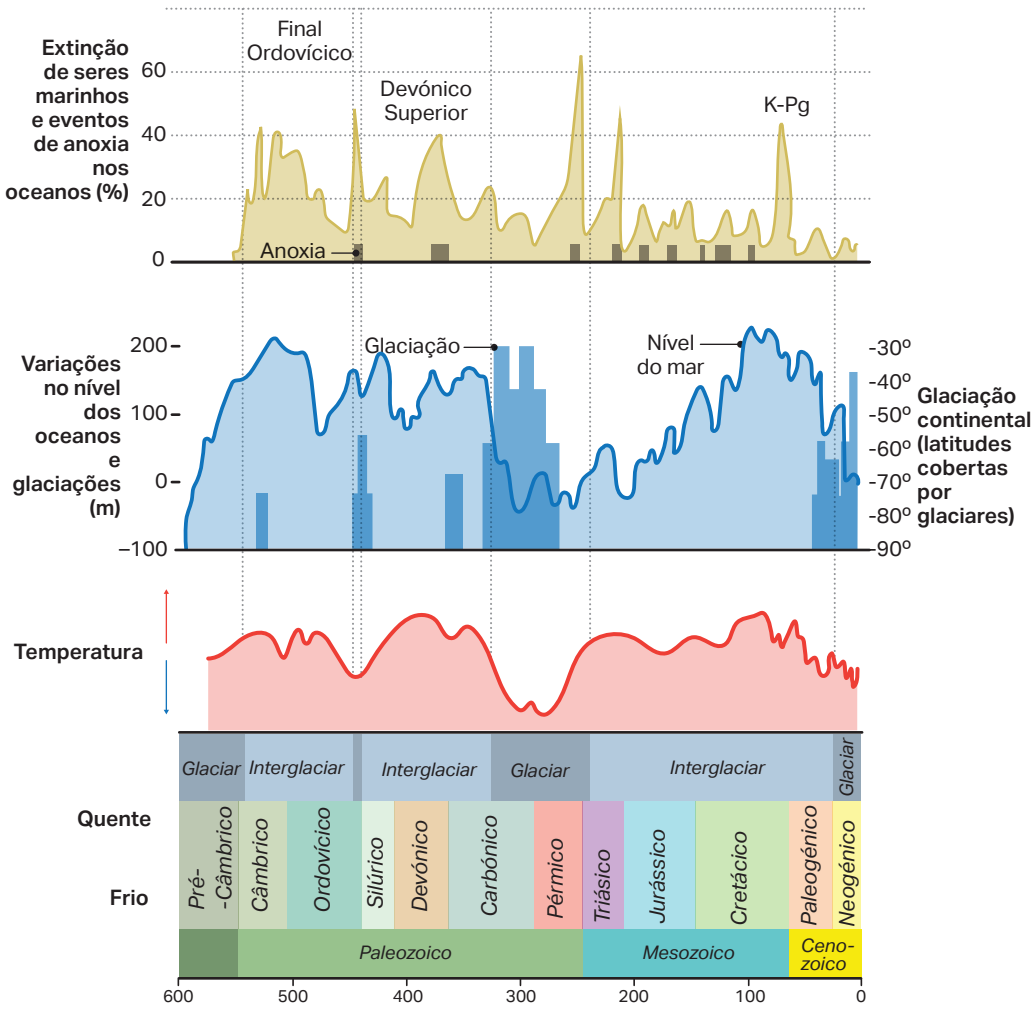


Fig. 2 Evolução da percentagem de extinção de espécies, do nível médio dos oceanos e da temperatura nos últimos 600 Ma.

1. Identifica os acontecimentos contemporâneos da maior extinção em massa.

2. Estabelece uma relação entre os momentos de anoxia e a biodiversidade.

3. Estabelece uma relação de causa-efeito entre a temperatura, a ocorrência de glaciações e a variação do nível dos oceanos.



Carta geológica



Cartografia Geológica

4.1. Cartas Topográficas e Geológicas

4.2. Técnicas de Cartografia Geológica

4.3. Aplicações da Cartografia Geológica em Atividades Humanas

A cartografia geológica é uma ferramenta essencial para o estudo da história da Terra, assim como para o bom desenvolvimento de numerosas atividades humanas. Permite representar e interpretar a distribuição de diferentes formações rochosas, estruturas tectónicas e depósitos sedimentares. Uma carta geológica é um instrumento fundamental para a investigação científica, o ordenamento do território e a gestão de recursos naturais.

A diversidade geológica das ilhas de Cabo Verde – resultante de processos vulcânicos e sedimentares ao longo de milhões de anos – pode ser explorada na Carta Geológica de Cabo Verde, disponível para consulta na plataforma tecnológica Infraestrutura de Dados Espaciais de Cabo Verde (IDE-CV).

4.1. Cartas Topográficas e Geológicas

Delinear e colorir áreas num mapa para representar afloramentos rochosos com diferentes idades relativas foi o método encontrado para comunicar o estabelecimento de correlações entre sequências estratigráficas. Em 1815, foi publicado o primeiro mapa geológico de escala nacional, com a representação espacial dos afloramentos à superfície terrestre de Inglaterra e da Escócia. Nascia assim a cartografia geológica moderna.



Fig. 1 Primeiro mapa geológico de escala nacional (1815) – representação da distribuição dos estratos em Inglaterra, País de Gales e parte da Escócia.

As representações cartográficas podem ser agrupadas em três categorias, de acordo com a escala utilizada:

- **Mapas** – representam áreas extensas, geralmente a escalas inferiores a 1:250 000, pelo que não privilegiam os detalhes. Os planisférios são exemplos de mapas.
- **Cartas** – representam áreas à escala nacional ou regional, a escalas compreendidas entre 1:250 000 e 1:10 000. Apresentam já algum detalhe, sendo por isso utilizadas no estudo e planeamento de um território.
- **Plantas topográficas** – representações a escalas iguais ou superiores a 1:10 000, permitindo grande detalhe. São, por isso, utilizadas em trabalhos cadastrais e projetos de engenharia e construção.

Carta topográfica



Uma carta topográfica é uma representação bidimensional do relevo de uma região, incluindo a posição relativa dos elementos e as relações espaciais entre eles.

A superfície terrestre é tridimensionalmente bastante irregular em resultado da ação conjunta da geodinâmica interna e da geodinâmica externa.

A representação do relevo pode ser feita através de **curvas de nível** – linhas imaginárias que unem pontos de igual altitude na superfície terrestre. Estas isolinhas de altitude são traçadas com uma equidistância vertical de, por exemplo, 10 metros.

As elevações mais importantes, normalmente assinaladas no terreno através de marcos geodésicos, são também representadas na carta.

Fig. 2 Marco Geodésico do Monte Verde – assinala o ponto mais alto da ilha de S. Vicente.
Por MariaCurista – Obra do próprio, CC BY-SA 4.0

Escala da carta

A relação entre a distância medida na carta e a equivalente medida no terreno – escala da carta – pode expressar-se de forma numérica ou de forma gráfica (figura 3).

A **escala numérica** escreve-se sob a forma de uma fração, em que o numerador representa a distância na carta e o denominador representa a distância no terreno. Numa escala 1:50 000 ou 1/50 000, 1 cm na carta corresponde a 50 000 cm (500 m) no terreno.

A **escala gráfica** é um segmento de reta, impresso na carta, dividido em partes iguais que representam uma determinada medida no terreno.

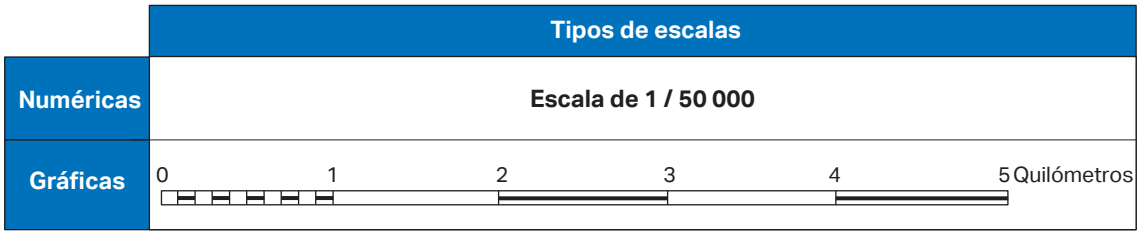


Fig. 3 Escala numérica e escala gráfica.

Representação do relevo através de curvas de nível

A cartografia das curvas de nível é feita atualmente com recurso a satélites que medem com precisão a altitude de vários pontos da superfície terrestre, permitindo a obtenção de isolinhas de altitude que são traçadas no mapa – figura 4. Todos os pontos de uma curva de nível correspondem a pontos no terreno que se encontram à mesma cota (altitude). A cota zero corresponde ao nível médio das águas do mar. A equidistância natural entre as isolinhas depende da escala utilizada – tabela 1.

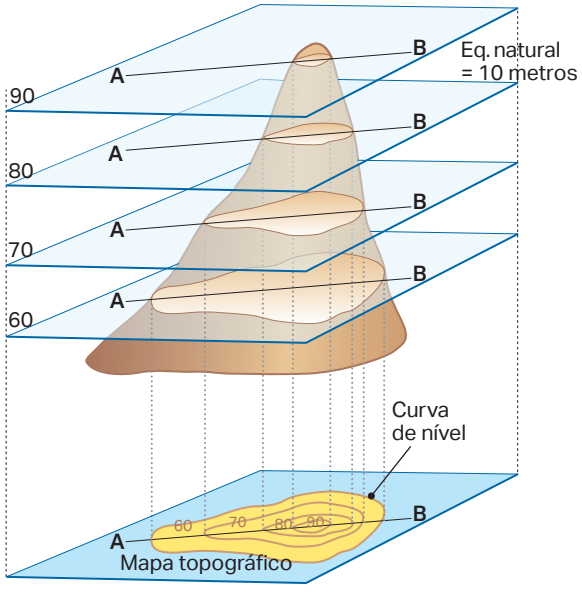


Fig. 4 Representação do relevo através de curvas de nível.

Escala	Equidistância natural
1:250 000	100 m
1:200 000	100 m
1:100 000	50 m
1:50 000	25 m
1:25 000	10 m
1:20 000	10 m
1:10 000	5 m

Tab. 1 Equidistância natural em função da escala.

Numa carta topográfica, de cinco em cinco, as curvas de nível são representadas por um traço de maior espessura – curvas mestras – que por vezes são interrompidas com a inscrição do valor da respetiva cota. As curvas de nível intermédias são representadas por um traço mais fino e não são interrompidas com o valor da cota.

Desenhar um perfil topográfico

Para desenhar um perfil topográfico entre dois pontos (A e B) definidos numa carta topográfica, coloca-se uma tira de papel entre os dois pontos. Nessa tira (bitola) marcam-se as interseções com todas as curvas de nível e com eventuais vértices geodésicos. Para cada interseção regista-se a cota da correspondente curva de nível.

A bitola é depois utilizada para construir um gráfico em que o eixo horizontal é paralelo à bitola e que no eixo vertical estão representadas as altitudes assinaladas entre os pontos escolhidos. Para cada marca na bitola traça-se, no gráfico, uma linha perpendicular ao eixo horizontal até à cota da correspondente curva de nível. Unindo todos os pontos do gráfico, obtém-se o perfil topográfico.

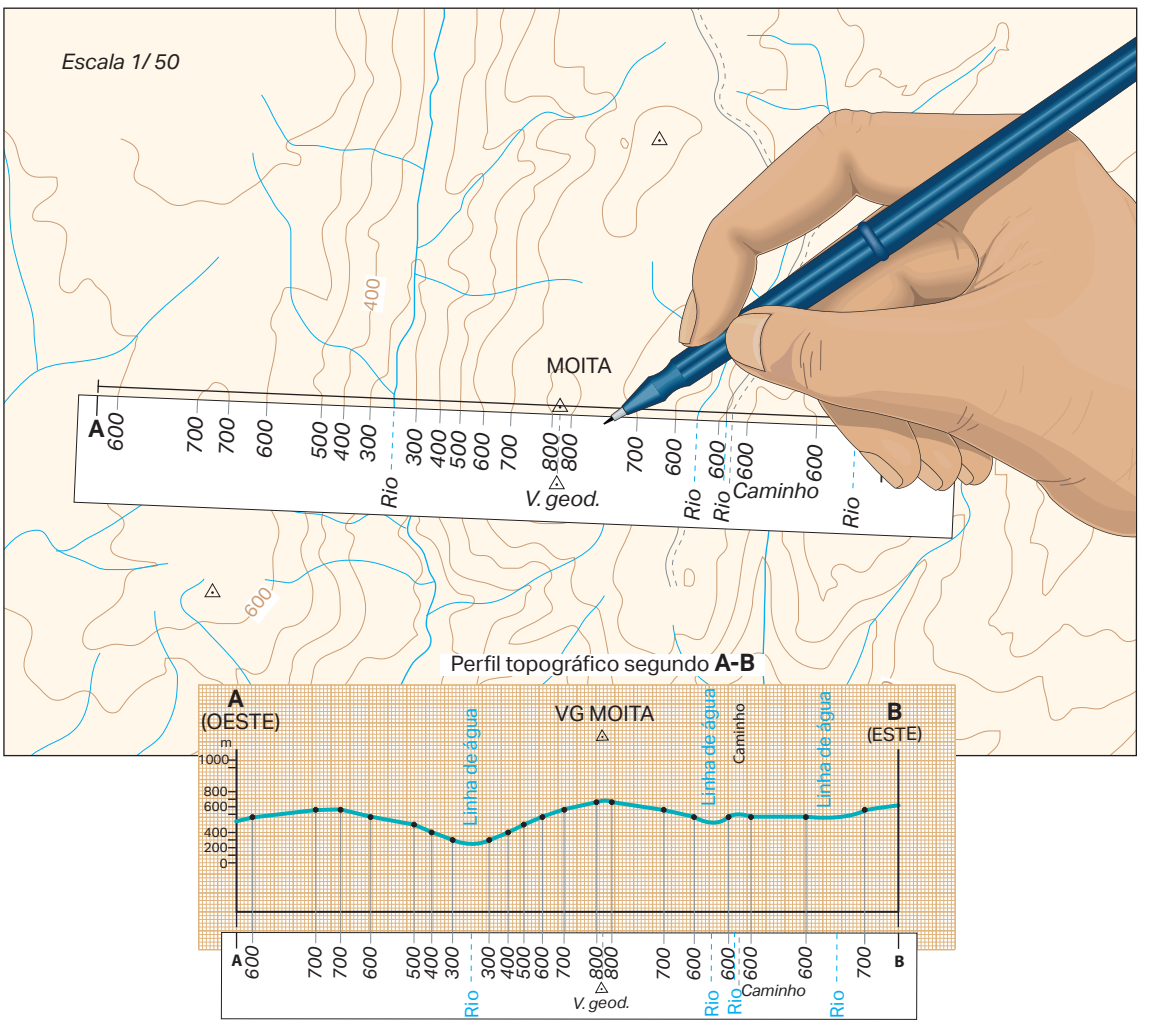


Fig. 5 Desenho de um perfil topográfico.

Carta geológica

As cartas geológicas são cartas temáticas, ou seja, são representações cartográficas que têm como objetivo representar informação geográfica sobre um assunto específico – neste caso, a geologia de uma região. Constituem uma das ferramentas fundamentais no trabalho dos geólogos, uma vez que sintetizam o conhecimento geológico relativo à região cartografada.

Numa carta geológica estão representadas, de forma bidimensional, a topografia e as formações e estruturas geológicas que correspondem a diferentes etapas da história geológica de uma região.

As cores observadas numa carta geológica permitem identificar tipos de rochas, unidades litoestratigráficas e, frequentemente, a idade relativa ou absoluta dessas unidades. A simbologia utilizada nas cartas geológicas facilita a sua leitura e interpretação.

Uma carta geológica é um documento dinâmico, passível de ser atualizado sempre que novos trabalhos de campo ou investigações laboratoriais forneçam dados adicionais que permitam detalhar, corrigir ou redefinir as unidades representadas.

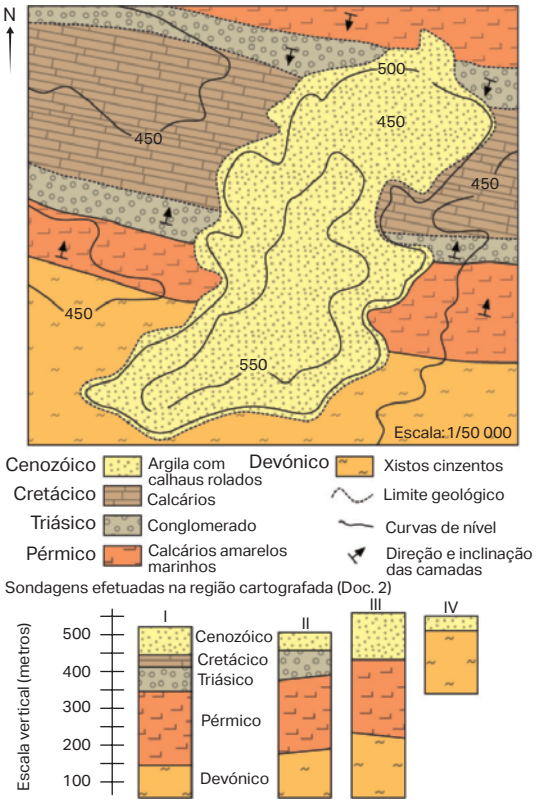


Fig. 6 Excerto de uma carta geológica.

Responde tu

1 **Estabelece uma relação entre a proximidade das curvas de nível numa carta topográfica e o declive do terreno.**

2 **Observa a carta geológica representada na figura 6.**

2.1. Indica se os terrenos do Cenozoico se encontram inclinados ou na horizontal. Apresenta os dados da carta geológica que te permitiram responder.

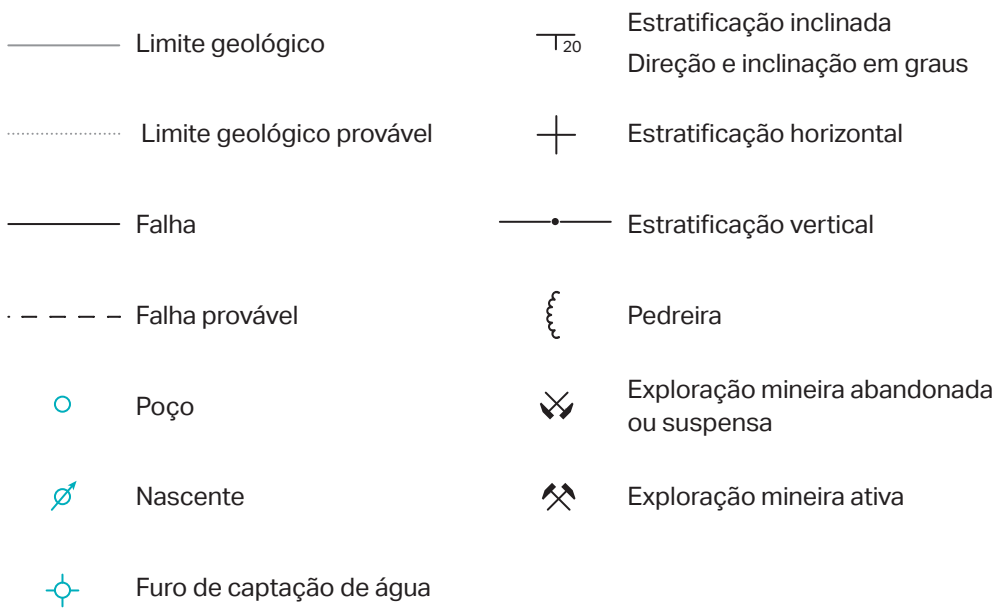
2.2. Os calcários do Cretácico, os conglomerados do Triásico, os calcários amarelos marinhos e os xistos cinzentos encontram-se deformados. Classifica a dobra em anticlinal ou sinclinal.

2.3. Estabelece a datação relativa do dobramento.

Elementos de uma carta geológica

As cartas têm em comum alguns elementos:

- Um **título** a indicar o tema ou a área representada (por exemplo: "Carta Geológica de Cabo Verde" ou "Carta Topográfica da Ilha do Sal".
- Uma **escala**, numérica ou gráfica, a definir a relação entre as dimensões no mapa e as dimensões reais.
- A **orientação,** através de uma seta que indica o norte.
- Uma legenda a explicar símbolos, cores e padrões utilizados na carta. Por exemplo:



- A indicação da **fonte** (quem produziu a carta) e a **data** de elaboração ou reformulação.

Perfil geológico

Um perfil geológico, ou corte geológico, é uma representação bidimensional da disposição e relação entre as diferentes litologias que se encontram em profundidade.

Para desenhar um perfil geológico, o primeiro passo é desenhar o perfil topográfico, preferencialmente perpendicular à direção das camadas. Depois, utilizando novamente a bitola, marcam-se as interseções com os limites geológicos, utilizando as cores correspondentes às diferentes formações geológicas intersetadas, e com eventuais falhas.

O prolongamento das camadas em profundidade, a partir dos limites respetivos, é feito com base na idade das formações, na direção e inclinação das camadas e nos dados referentes às deformações geológicas (caracterização das dobras e falhas).

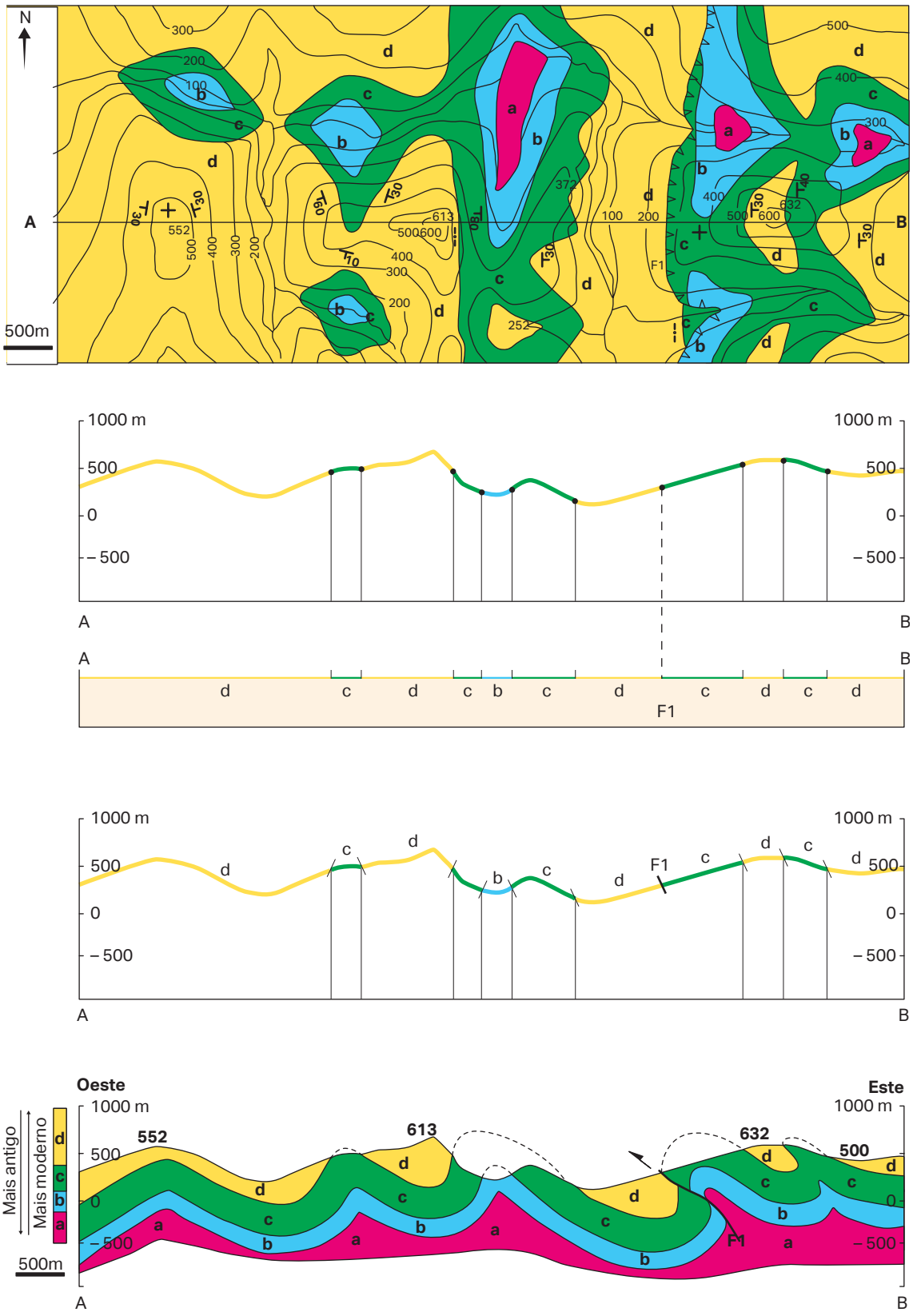


Fig. 7 Desenho de um perfil geológico.

Bloco-diagrama

Um bloco-diagrama é uma representação gráfica que permite visualizar, de forma tridimensional, a geologia de uma região. Obtém-se a partir de dois cortes verticais perpendiculares entre si e de uma carta geológica correspondente à área representada.

No bloco-diagrama apresentado na figura 8, os perfis geológicos (A'-B' e B'-C') constituem as faces verticais, enquanto a carta geológica da área delimitada por esses pontos constitui a face superior horizontal.

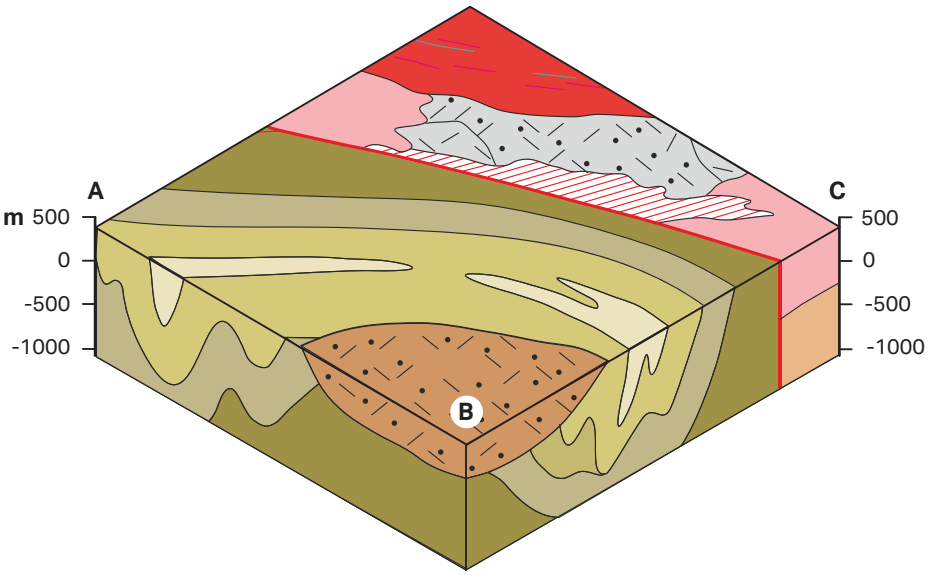


Fig. 8 Bloco-diagrama.

4.2. Técnicas de Cartografia Geológica

A cartografia geológica mobiliza conhecimentos de diferentes áreas científicas e envolve várias etapas, que combinam trabalho de campo, trabalho laboratorial e representação cartográfica dos dados obtidos.

Trabalho preliminar

Antes de iniciar um projeto de cartografia geológica, os geólogos estabelecem as fronteiras da área a estudar, incluindo áreas adjacentes que possam ser relevantes para a interpretação da geologia da região. Estas áreas vizinhas podem revelar estruturas com continuidade na região em estudo, como falhas ou dobras, cuja extensão e orientação ajudam a compreender a geologia da área a mapear.

Antes de iniciar o trabalho de campo, é ainda importante proceder à recolha e revisão de informação existente sobre a geologia da região, quer através do contacto com outros geólogos que desenvolvam ou tenham desenvolvido trabalhos no local, quer através de pesquisa bibliográfica.

Levantamento de campo

No terreno, os geólogos observam e localizam diretamente os afloramentos rochosos, assinalando-os num mapa topográfico ou em fotografias aéreas.



Fig. 9 Geólogos em trabalho de campo num afloramento rochoso.

Recolhem amostras representativas das diferentes unidades litológicas, procurando também fósseis. Com o auxílio de instrumentos como a bússola e o clinómetro, medem a direção e a inclinação de estratos, falhas e dobras. Ao longo do trabalho, registam todas as informações recolhidas – incluindo características das rochas e dados estruturais –, elaborando esboços cartográficos preliminares e reunindo dados essenciais para a interpretação geológica da área.

Cartografia digital

Nos primórdios da cartografia geológica (séc. XIX), o trabalho de mapeamento era inteiramente realizado a pé, sobre o terreno.

A evolução tecnológica transformou profundamente a produção cartográfica, tornando-a mais rápida, precisa, acessível e capaz de integrar dados geológicos, topográficos, climáticos e biológicos numa única plataforma.

Na cartografia digital, o uso de dados de satélite, sensores remotos, drones, GPS de alta precisão e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permite aos geólogos recolher, analisar e representar dados geológicos, criando mapas mais detalhados, atualizados e adaptados a diferentes finalidades. Os SIG permitem integrar dados de diferentes fontes e gerar representações espaciais de fenómenos complexos, enquanto o GPS assegura a geolocalização precisa em tempo real. O tratamento e organização de dados em ambiente digital facilita a sua visualização, interpretação, partilha e atualização contínua.



Fig. 10 Um drone equipado com câmara 3D pode ser utilizado no mapeamento da superfície terrestre.

Cartografia dos fundos oceânicos

O mapeamento do fundo oceânico é realizado recorrendo a duas técnicas principais: o sonar e os satélites.

- Sonar – emite ondas sonoras que se refletem no fundo do mar, permitindo determinar a profundidade (batimetria) e obter mapas muito detalhados de áreas específicas.
- Satélites – detetam pequenas variações na altura da superfície do oceano, resultantes de diferenças no campo gravítico associadas a estruturas submarinas, inferindo assim o relevo do fundo marinho à escala global. É um método menos preciso do que o sonar, mas permite mapear vastas áreas de forma mais rápida e eficiente.

4.3. Aplicações da Cartografia Geológica em Atividades Humanas

As cartas geológicas são um forte contributo para a sustentabilidade de diversas atividades humanas, permitindo, entre outros:

- planear infraestruturas com segurança;
- prevenir desastres;
- desenvolver sistemas de proteção de ecossistemas;
- valorizar património natural com potencial educativo e turístico;
- localizar e gerir recursos geológicos;
- apoiar o ordenamento do território.

Decisões relacionadas com construção, agricultura, exploração de recursos, instalação de indústrias, conservação ambiental ou prevenção de riscos só são eficazes e sustentáveis quando baseadas em informação cartográfica rigorosa. As cartas geológicas permitem conhecer a natureza das rochas, a estrutura do subsolo, a distribuição de recursos e a ocorrência de riscos geológicos, constituindo por isso ferramentas indispensáveis para o ordenamento do território e para a gestão sustentável do ambiente.

Responde tu

1. **Justifica a importância da utilização complementar de diferentes técnicas de cartografia geológica, relacionando-as com a sustentabilidade das atividades humanas.**

Atividade prática

Na figura 1 estão representados três blocos-diagrama (I, II e III) e três cartas (a, b e c).

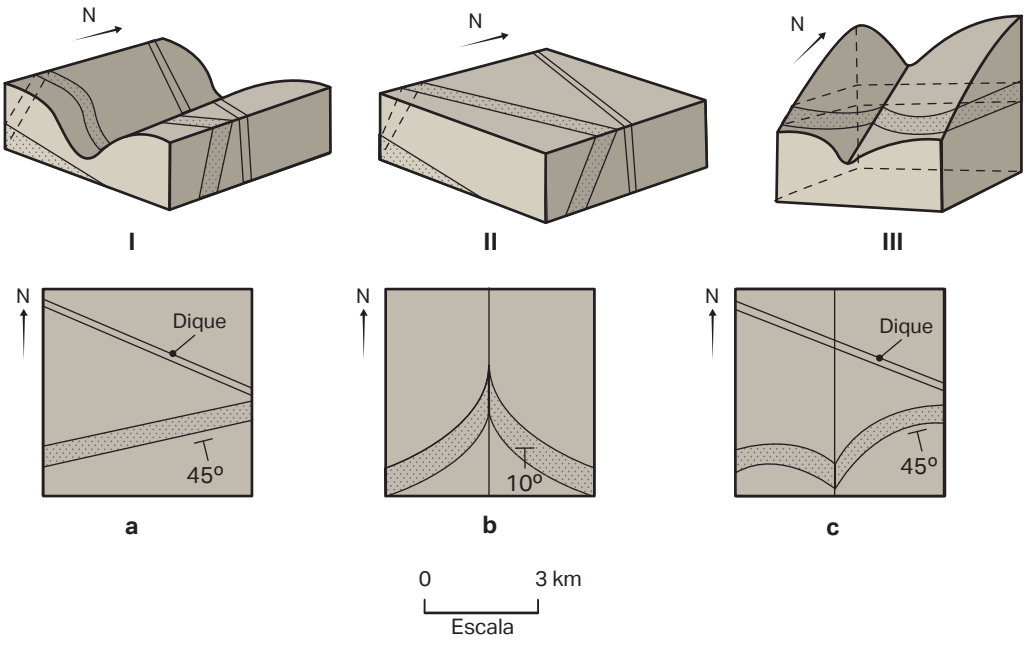


Fig. 1

1 **Indica, justificando, se as cartas (a, b e c) são cartas topográficas ou geológicas.**

2 **Determina a direção do dique.**

3 **Estabelece a correspondência entre os blocos-diagrama (I, II e III) e as cartas (a, b e c).**

4 **Ordena as afirmações de A a E, de forma a ordenar corretamente a sequência de etapas da construção de um bloco-diagrama.**

A. Elevação dos pontos, na vertical, segundo as altitudes indicadas.

B. Identificação e análise das curvas de nível e dos elementos topográficos presentes na carta.

C. Ligação dos pontos elevados para formar as superfícies do relevo.

D. Legenda e orientação do bloco-diagrama.

E. Marcação das projeções horizontais dos principais acidentes geográficos no plano de base.

Atividade prática

Parte A – Análise comparativa das cartas topográficas da ilha do Fogo e da ilha da Boa Vista.

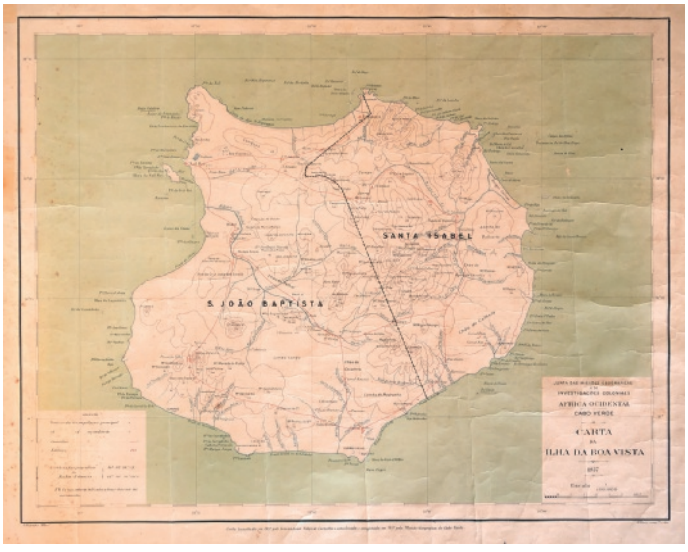


Fig. 2 Carta topográfica da ilha da Boa Vista.

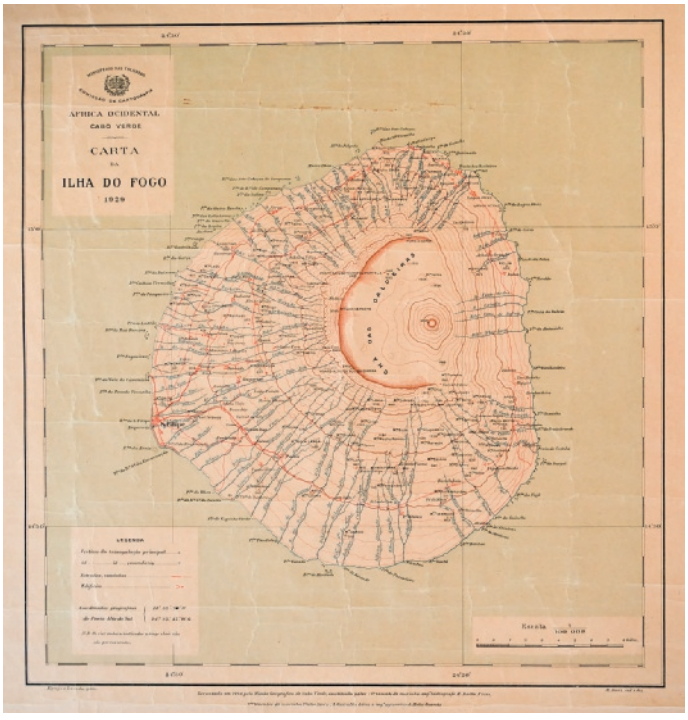


Fig. 3 Carta topográfica da ilha do Fogo.

1 **Qual das ilhas apresenta um relevo mais acentuado? Justifica com base nos dados das cartas topográficas.**

2 **Estabelece uma relação entre a topografia, a idade das ilhas e a atividade geológica no contexto do arquipélago de Cabo Verde.**

Parte B – Construção de uma carta topográfica e de um perfil topográfico.

Na figura 4 podes observar uma representação incompleta de uma carta topográfica, onde se encontram diversos pontos cotados e seis pontos assinalados pelas letras S, T, U, V, Y e Z.

1. Completa a carta, desenhando as curvas de nível.

2. Indica a equidistância das curvas de nível.

3. Identifica a letra correspondente ao ponto de maior cota.

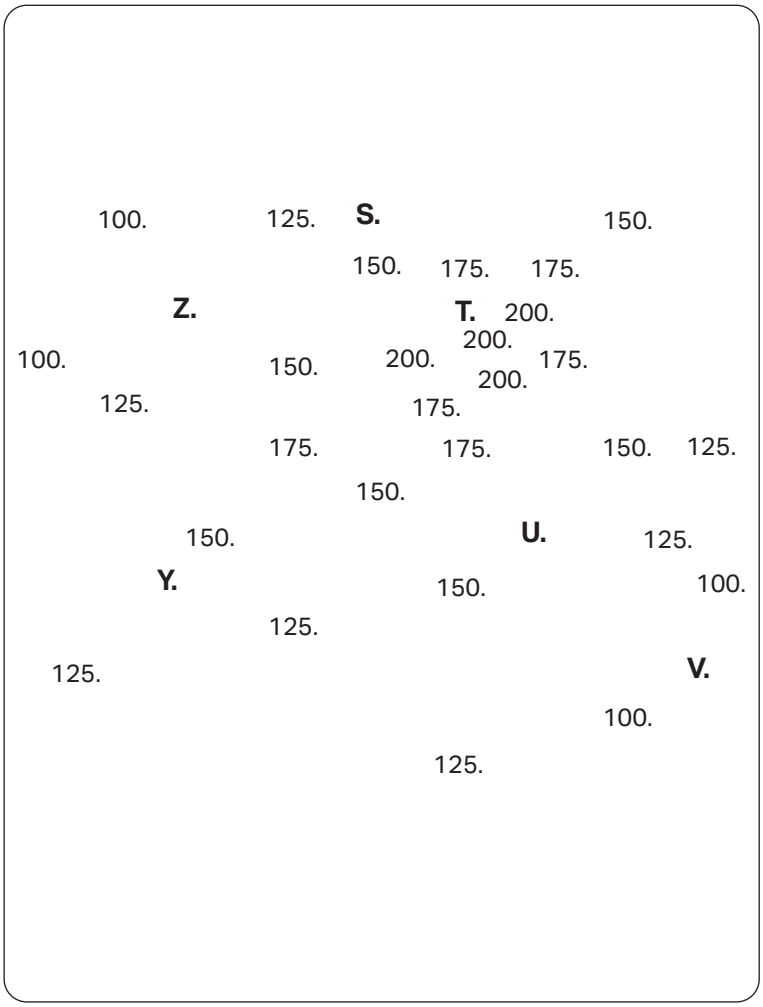
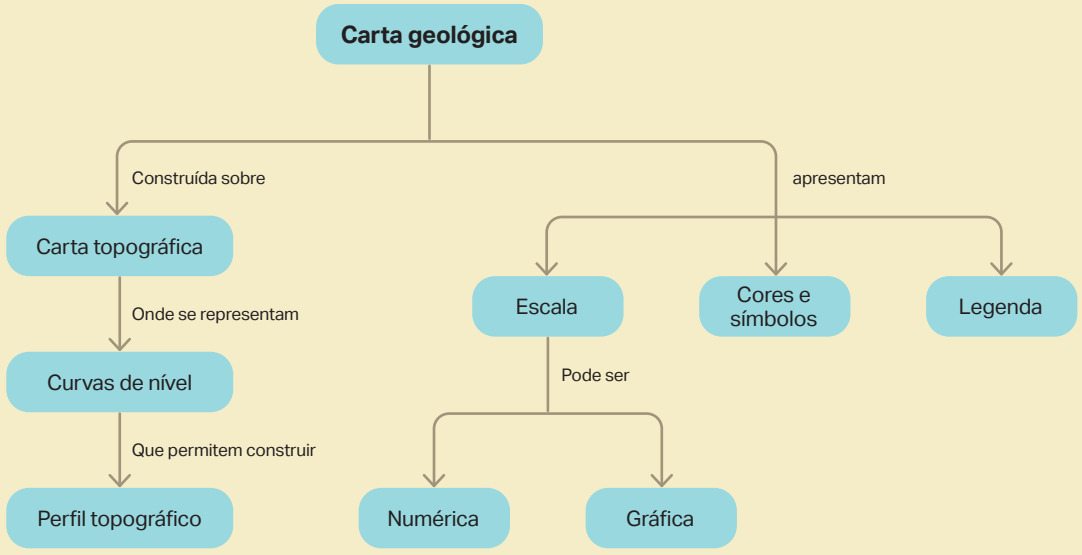


Fig. 4 Carta topográfica incompleta.

4. Desenha uma reta que una os cantos inferior direito e superior esquerdo da carta.

5. Constrói o perfil topográfico correspondente à reta traçada na questão 4.

Mapa de conceitos



Em resumo...

O que é uma carta topográfica?	Uma carta topográfica é uma representação bidimensional detalhada da superfície terrestre, mostrando relevo através de curvas de nível, bem como elementos naturais e humanos.
O que é uma carta geológica?	Uma carta geológica é um mapa que representa a distribuição, natureza, idade e relações entre as rochas e estruturas geológicas à superfície.
O que é um bloco-diagrama?	Um bloco-diagrama é uma representação tridimensional simplificada que mostra o relevo, as formações e as estruturas geológicas tanto à superfície como em profundidade.
Qual é a utilidade das cartas geológicas?	As cartas geológicas permitem, entre outros, identificar recursos naturais, orientar obras de engenharia, avaliar riscos naturais, apoiar o ordenamento do território e compreender a história geológica de uma região.

Teste formativo

Observa a carta geológica representada na figura 1.

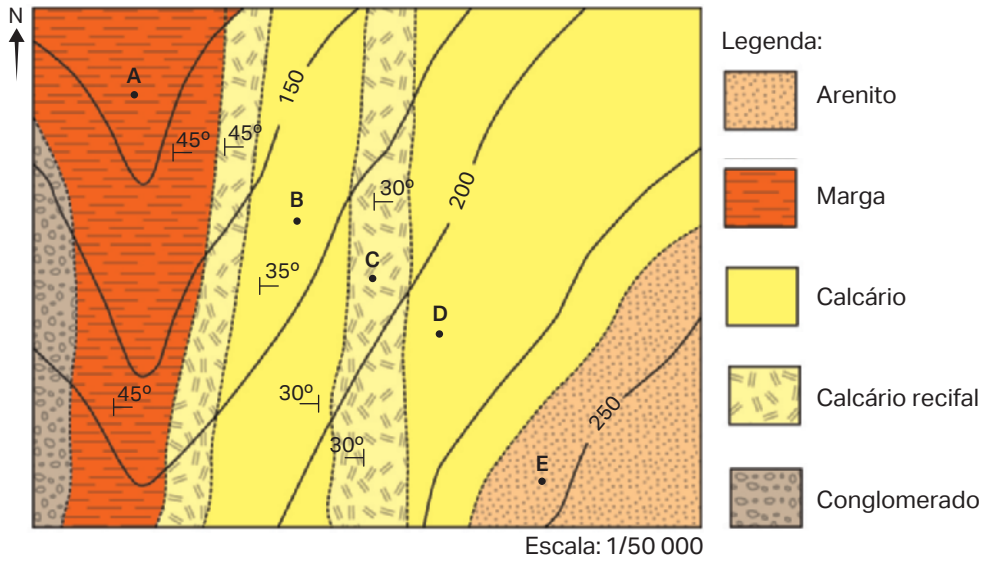


Fig. 1 Carta geológica.

1 Um milímetro na carta representada na figura 1 corresponde a _____ no terreno.

(A) 50000 cm
(B) 50000 mm
(C) 5 m
(D) 0,05 km

2 Apresenta dois dados da carta geológica representada na figura 1 que permitam concluir que os calcários se encontram deformados.

3 As curvas de nível apresentam uma equidistância de _____, um valor que _____ da escala utilizada.

(A) 10 m ... não depende
(B) 25 m ... depende
(C) 100 m ... não depende
(D) 150 m ... depende

4 Indica, justificando, qual dos pontos – B ou E – se localiza num terreno com maior declive.

5 Desenha uma escala gráfica para a carta geológica da figura 1.

6 Indica, justificando, se a área representada na figura 1 já esteve submersa.

Tema III
Georrecursos

Subtema 1
Recursos Geológicos

Subtema 2
Recursos Minerais

Subtema 3
Recursos Edáficos

Subtema 4
Recursos Hídricos

Subtema 5
Recursos Energéticos



Vista aérea de salinas. Ilha do Sal. Cabo Verde.



No final do Tema III, serás capaz de:

- Conhecer recursos geológicos, minerais, edáficos, hídricos e energéticos, a sua génese, os processos de exploração e os eventuais impactes dessa exploração. Reconhecer a importância de uma exploração sustentada dos recursos. Analisar dados e formular juízos críticos sobre a exploração e utilização dos recursos geológicos.

1



Olaria. Ilha de Santiago. Cabo Verde.



Recursos Geológicos

1.1. Recursos

Os materiais e alguns processos geológicos existentes na natureza há muito constituem recursos para o ser humano. Da construção à indústria, são inúmeros os setores da sociedade que dependem da sua exploração.

O arquipélago de Cabo Verde apresenta uma diversidade de recursos geológicos inerente à sua condição de arquipélago de origem vulcânica e aos processos de geodinâmica externa que nele atuam.

1.1. Recursos

Os **recursos naturais** são materiais que existem na natureza e que podem ser utilizados para satisfazer necessidades humanas. Na construção de cidades e vilas e de diversos objetos do dia-a-dia são utilizados materiais produzidos por processos geológicos – **recursos geológicos** – utilizados diretamente ou após processamento.



Fig. 1 Na construção da cidade de Santa Maria (A), na ilha do Sal, tal como em muitas outras cidades do mundo, foram utilizados diversos recursos geológicos.
1 – O basalto (B), formado pelo arrefecimento de magmas básicos à superfície, é extraído em pedreiras e utilizado na construção e pavimentação;
2 – A areia quartzosa (E), formada em resultado de processos de sedimentogénese, é utilizada na produção de vidro, cerâmica e *chips* de computadores;
3 – O ferro e outros metais, formados por processos magmáticos e hidrotermais, são extraídos de minerais metálicos como a hematite (C) e utilizados, por exemplo, na construção metálica, fabrico de máquinas e estruturas;
4 – A argila (F), um produto da meteorização química de rochas ricas em silicatos aluminosos, é utilizada na produção de telhas, azulejos, cerâmica e cimento;
5 – O gesso (D), formado em resultado de processos evaporíticos, é utilizado na construção civil – em placas de pladur – e na estatuária.

Os recursos geológicos podem ser classificados em quatro grandes grupos:

- **Recursos minerais** – minérios metálicos (ex.: ferro e cobre) e não metálicos (ex.: sal-gema, calcário, basalto e quartzo e minerais preciosos), aplicados na indústria e na construção;
- **Recursos edáficos** – relacionados com o solo, essenciais para a agricultura;
- **Recursos hídricos** – água subterrânea e superficial para consumo humano, agrícola e industrial;
- **Recursos energéticos** – materiais e processos geológicos utilizados na produção de eletricidade e combustíveis que fornecem energia, como carvão, petróleo, gás natural, urânio e geotermia.

O balanço à escala temporal do ser humano entre a taxa de consumo e a taxa de reposição permite classificar os recursos geológicos em:

- **Renováveis** – quando a reposição é mais rápida do que o consumo, viabilizando a sua utilização sustentável a longo prazo.
- **Não renováveis** – quando a formação é lenta e ocorre em condições e ambientes específicos, tornando provável o seu esgotamento.

Manual Digital

Vídeo
Natureza dos recursos geológicos

Os **recursos** geológicos consistem na totalidade dos materiais geológicos, já conhecidos ou não, cuja extração é, ou pode vir a ser, rentável. Desses recursos, constituem **reservas** os que são conhecidos e cuja exploração é economicamente rentável. Ao local onde se encontra uma reserva dá-se o nome de **jazigo**. Os geólogos descobrem, caracterizam e orientam a exploração sustentável dos recursos geológicos, procurando soluções para uma utilização eficiente, que minimize os impactes negativos nos subsistemas da Terra, tais como degradação do solo, poluição da água e do ar e perda de biodiversidade.

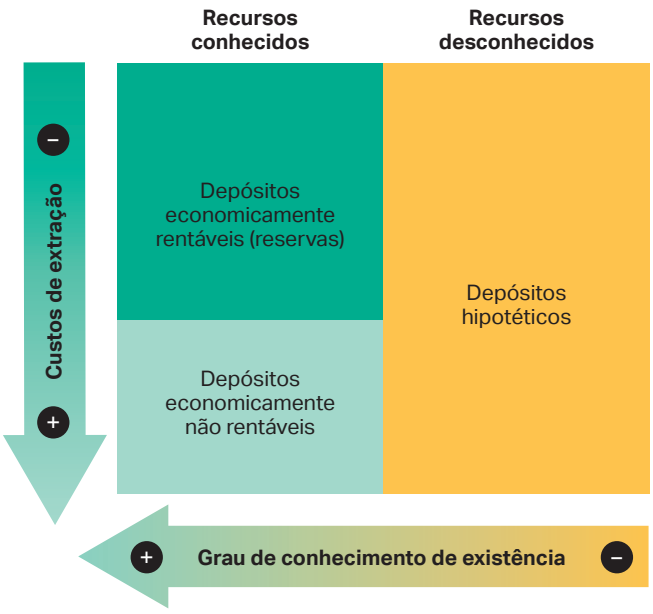


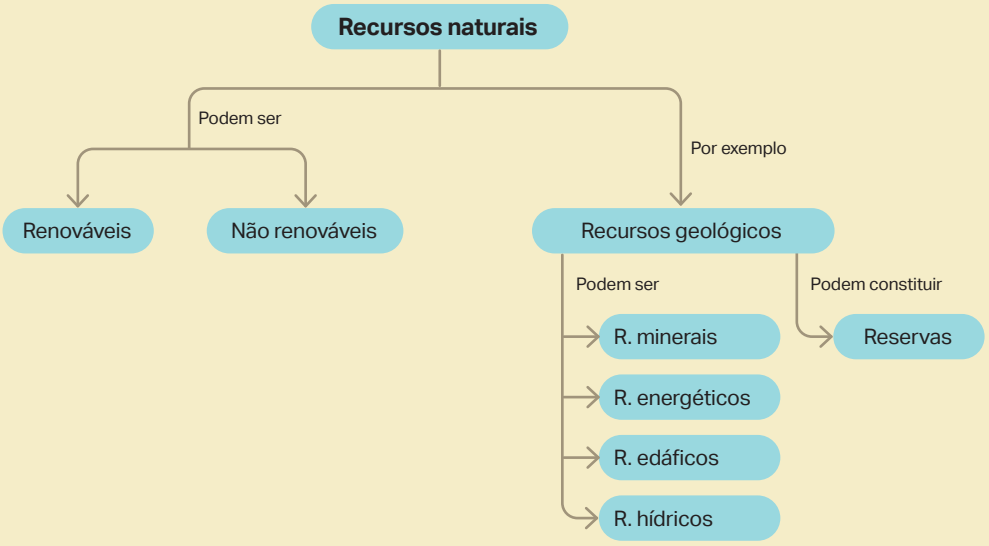
Fig. 2 Relação entre recursos e reservas.

Atividade prática

Na construção da tua escola foram utilizados, direta ou indiretamente, materiais geológicos.

1. **Em grupo, escolhe uma área da escola para observar.**
2. **Elabora uma listagem dos materiais geológicos que foram utilizados na construção da tua escola, na área em estudo.**
3. **Partilha com o grupo-turma o resultado das tuas observações.**
4. **Redige um artigo de divulgação científica sobre a importância dos materiais geológicos para a sociedade, destacando o papel dos geólogos na sua descoberta, caracterização e exploração sustentável.**

Mapa de conceitos



Em resumo...

Qual é a diferença entre recursos renováveis e recursos não renováveis?	Os recursos renováveis são repostos a uma velocidade igual ou superior à do seu consumo, enquanto os recursos não renováveis se formam muito lentamente e podem esgotar-se à escala humana.
O que são recursos geológicos?	Os recursos geológicos são materiais obtidos da geosfera – como minerais, rochas, combustíveis fósseis ou águas subterrâneas – que podem ser usados pelo ser humano.
O que são reservas?	As reservas correspondem à porção de um recurso geológico cuja existência, quantidade e possibilidade de exploração económica estão comprovadas.
O que é um jazigo mineral?	Um jazigo mineral é o local onde ocorre uma concentração natural de minerais de interesse económico, suficientemente abundante e acessível para permitir a sua exploração.

Teste formativo

Ao longo da vida, o ser humano consome inúmeros recursos geológicos.



Fig. 1 Necessidades médias de recursos geológicos durante a vida de uma pessoa. Valores de referência em 2020 para uma sociedade moderna.

1 **Dos recursos representados na figura 1, o gás natural constitui um recurso _____ e o sal é um recurso _____.**

(A) energético ... mineral
(B) energético ... edáfico
(C) renovável ... mineral
(D) não renovável ... renovável

2 **Um jazigo de ouro tem localização _____ e a sua exploração é economicamente _____.**

(A) definida ... rentável
(B) definida ... pouco rentável
(C) desconhecida ... rentável
(D) desconhecida ... pouco rentável

3 **Classifica os recursos representados na figura 1 tendo em consideração a taxa de consumo e a taxa de reposição dos mesmos na natureza.**

4 **Explica a diferença entre recurso e reserva.**

5 **Refere uma utilização para o ferro e uma para a argila.**

6 **Calcula a necessidade média total de recursos minerais de acordo com os dados da figura 1.**

2



Calceteiro. Ilha da Boa Vista. Cabo Verde.



Recursos Minerais

2.1. Recursos Metálicos

2.1.1. Génese dos Recursos Metálicos

2.2. Recursos Não Metálicos

2.3. Exploração Sustentada dos Recursos Minerais

Os recursos minerais resultam de processos geológicos que concentram substâncias de interesse económico. A sua exploração sustentável exige tecnologias e procedimentos que aumentem a eficiência, reduzam impactos ambientais e promovam a recuperação das áreas exploradas.

Em Cabo Verde, os recursos minerais incluem essencialmente rochas vulcânicas e depósitos sedimentares. A gestão sustentável destes recursos é essencial num território insular.

2.1. Recursos Metálicos

Um metal é um sólido opaco, brilhante e liso que conduz eletricidade e pode ser dobrado ou transformado em fios e folhas muito finas. As propriedades de cada metal dependem da sua estrutura cristalina e dos processos de arrefecimento e tratamento, que podem torná-lo mais resistente ou mais maleável.

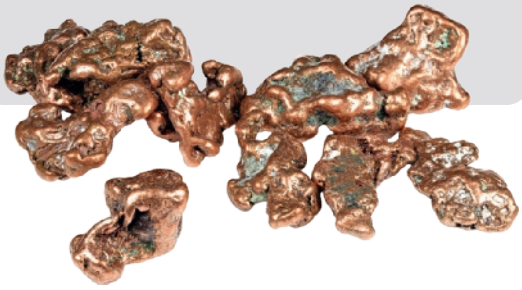


Fig. 1 Cobre nativo.

Embora alguns metais possam ocorrer naturalmente na sua forma nativa, a maioria é extraída de minerais metálicos. Um mineral utilizado na obtenção industrial de um metal constitui um **minério**. O cobre (figura 1), por exemplo, é extraído principalmente de calcopirite (figura 2), que é, por isso, um minério de cobre.

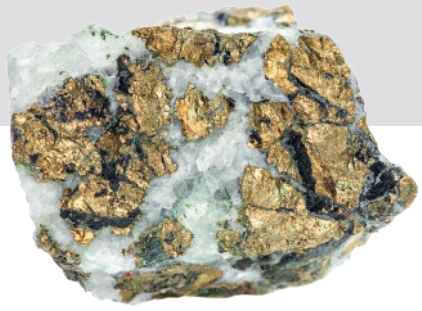


Fig. 2 Calcopirite sobre quartzo.

Para ser considerado minério, não basta que um mineral contenha o elemento químico que se pretende extrair. É necessário que dois critérios sejam cumpridos: o metal deve ocorrer numa concentração e num volume total suficientemente elevados e a sua extração deve ser tecnicamente viável e economicamente compensadora.

Responde tu

1. Dado o nome e a composição química dos seguintes minerais – hematite (Fe_2O_3), pirite (FeS_2), galena (PbS), calcopirite ($CuFeS_2$), magnetite (Fe_3O_4), azurite ($Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$), caulinite ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), rutilo (TiO_2), rodocrosite ($MnCO_3$), cassiterite (SnO_2) e esfalerite (ZnS) – identifica de que metal cada um é minério.
2. Tendo em conta a origem do arquipélago cabo-verdiano, indica quais dos minerais da lista da questão 1 são mais prováveis de aqui ocorrer. Justifica a tua resposta.
3. Refere dois fatores que devem ser considerados para que a extração de metais seja viável em Cabo Verde.
4. Observa os objetos existentes na sala de aula e identifica dois que contenham metais. Indica que metal poderá estar presente em cada um deles. Partilha com o grupo turma.

A identificação sistemática de regiões com minérios é realizada maioritariamente por geólogos cujos trabalhos se concentram na identificação e estudo de rochas formadas em ambientes favoráveis à mineralização. A recolha de dados de prospeção geofísica, como os valores do campo magnético e da gravidade local, e o estudo de amostras de rochas, solos e plantas – que podem acumular metais – permitem identificar a ocorrência de potenciais depósitos.

Para que um **jazigo mineral** seja confirmado, os elementos químicos de interesse devem ocorrer nesse local em concentrações várias vezes superiores ao seu **clarke**, ou seja, à sua abundância média na superfície terrestre. A análise destes materiais permite calcular o **teor médio**, que corresponde à concentração média do metal no depósito. Para avaliar a viabilidade económica da exploração, este teor médio é comparado com o **teor de corte** – concentração mínima do metal a partir da qual a sua extração é rentável. São considerados minérios economicamente exploráveis os depósitos cujo teor médio é superior ao teor de corte.

Trabalhos de perfuração permitem determinar a forma e a extensão do minério que, caso permita uma exploração economicamente viável e ambientalmente segura, será alvo de extração através do desenvolvimento de uma mina a céu aberto ou subterrânea (figuras 3, 4 e 5).

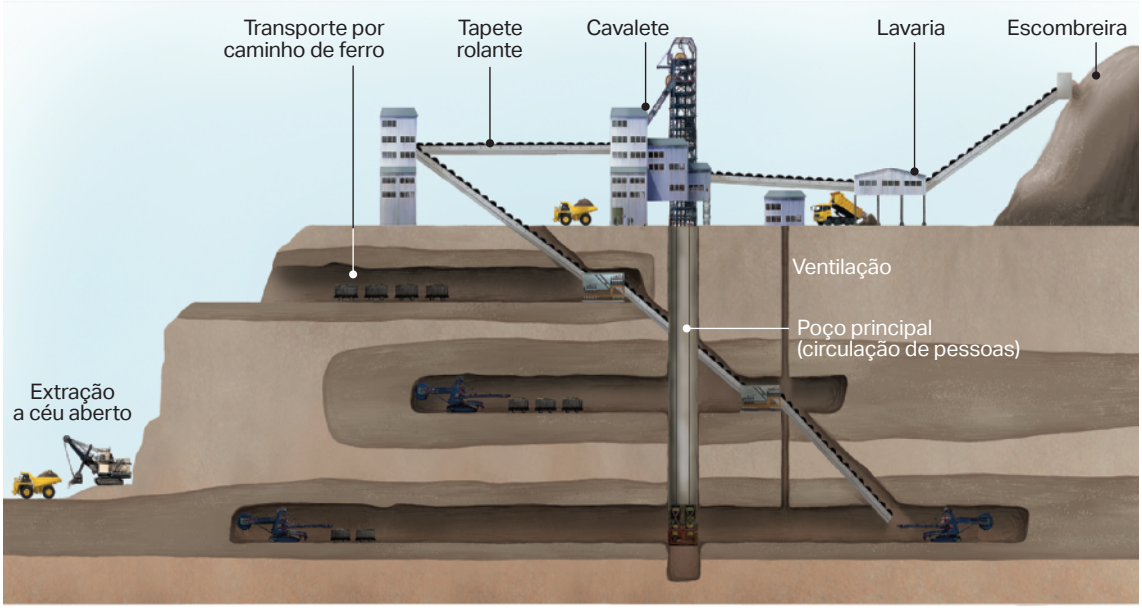


Fig. 3 Etapas de extração e processamento de minério. Nas minas a céu aberto, a superfície rochosa é perfurada e, quando necessário, explodida e o minério é transportado em camiões para ser triturado e separado. Nas minas subterrâneas, escavam-se túneis ou poços, removendo o minério, que é transportado até à superfície.

Após o processo de separação dos componentes do minério que são aproveitáveis, o material mineral rejeitado – por não ter interesse económico – constitui a **ganga**. Para separar os materiais úteis da ganga, as rochas são processadas em lavarias. Os materiais rejeitados (ganga) são, em muitos casos, depois acumulados em amontoados nas proximidades da exploração, formando as **escombreiras**.



Fig. 4 Mina de cobre a céu aberto.



Fig. 5 Mina de cobre subterrânea.

Além dos depósitos minerais explorados *in situ*, podem também explorar-se depósitos sedimentares designados por *placers*. Um ***placer*** forma-se quando minerais densos, libertados da rocha-mãe por meteorização e erosão, são transportados pelos cursos de água e, devido à sua elevada densidade, se acumulam em leitos não muito distantes, podendo atingir concentrações que os tornam economicamente exploráveis.

2.1.1. Génese dos Recursos Metálicos

A formação de jazigos minerais resulta da ação de diferentes processos geológicos incluídos no ciclo das rochas.



Por kevinzim / Kevin Walsh, CC BY 2.0

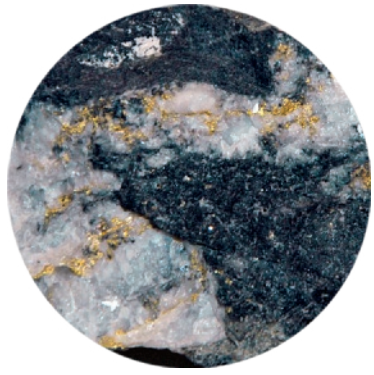
Fig. 6 Afloramento rochoso magmático, contendo cromite – minério de crómio (camadas escuras). África do Sul.

Processos magmáticos

Os depósitos magmáticos formam-se quando minerais – muitas vezes sulfuretos metálicos – cristalizam cedo durante o arrefecimento magmático, acumulando-se e originando concentrações ricas em minério. A formação destes depósitos depende de fatores como a temperatura, a composição, a densidade, a fluidez e a rapidez de arrefecimento do magma, que determinam que minerais cristalizam, afundam ou flutuam e a formação de camadas diferenciadas antes da solidificação completa.

Processos hidrotermais

Os depósitos hidrotermais resultam de soluções de água quente ricas em elementos metálicos que circulam através de rochas e dissolvem metais que, quando as condições mudam (ex.: a temperatura e a pressão), precipitam sob a forma de minerais metálicos que preenchem fraturas ou poros.



Por James St. John, CC BY 2.0

Fig. 7 Veio de quartzo com mineralização de ouro nativo. EUA.

Processos hidrotermais submarinos

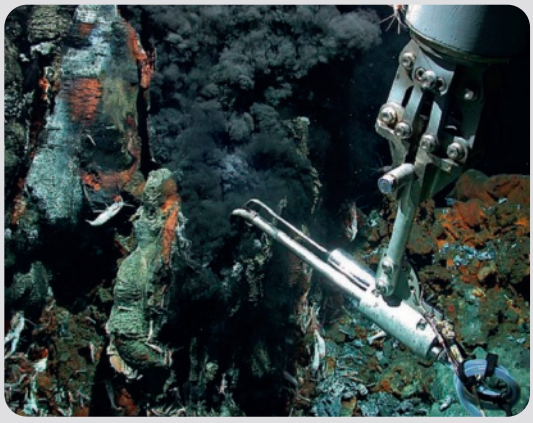
Os depósitos hidrotermais submarinos formam-se em fontes hidrotermais. Nas imediações das dorsais oceânicas, a água fria do mar infiltra-se e percorre o interior quente da crusta, sendo progressivamente aquecida. Durante este percurso, alguns elementos químicos são removidos da água (ex.: magnésio e sulfato) e outros são incorporados a partir da crusta oceânica (ex.: enxofre, cobre, zinco, ouro, ferro e hélio). Após o aquecimento, a água quente ascende à superfície, onde, ao contactar com a água gelada do fundo do mar, ocorre precipitação de enxofre e de diversos minerais metálicos. As ***black smokers*** são chaminés metálicas que se formam a partir da deposição de sulfuretos, sobretudo de ferro.



Por James St. John, CC BY 2.0

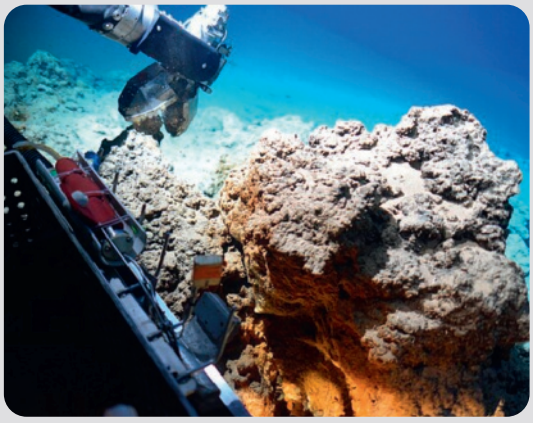
Fig. 8 *Black smoker* a 2980 m de profundidade na Dorsal Mesoatlântica.

Desde que estas estruturas geológicas foram identificadas, em 1977, têm sido realizadas várias campanhas oceanográficas dedicadas ao estudo das chaminés hidrotermais – *black smokers*. Utilizando ROVs (Veículos Operados Remotamente) e submersíveis, estas campanhas efetuam a amostragem sistemática de fluidos hidrotermais e de sulfuretos maciços, bem como medições *in situ* de parâmetros físico-químicos relevantes.



Por MARUM, CC BY 4.0

Fig. 9 O veículo submersível MARUM-QUEST mede a temperatura na Dorsal Mesoatlântica, a 3000 metros de profundidade.



CC BY 4.0

Fig. 10 Recolha de uma amostra pelo braço articulado do *Nautile,* durante a missão HERMINE 2017.

Processos sedimentares

Os depósitos sedimentares formam-se pelo transporte de clastos contendo minerais densos e resistentes à meteorização ou pela precipitação química de minerais a partir de soluções metalíferas em ambientes marinhos ou lacustres.

A origem dos mais importantes minérios de ferro remonta ao Pré-Câmbrico. O ferro dissolvido nas águas subterrâneas, numa época em que a atmosfera continha pouco oxigénio, era transportado até mares pouco profundos. A oxidação e precipitação de óxidos de ferro em camadas alternadas com sílex originou formações ferríferas bandadas (BIF). Devido à sua idade, a maioria destas formações foi submetida a um ou mais eventos orogénicos. Assim, a maioria das BIFs encontra-se dobrada e/ou metamorfizada.



Fig. 11 Formação ferrífera bandada. EUA.

Responde tu

1. Observa a figura 7 e identifica a ganga e o minério.
2. Apresenta uma justificação para as primeiras *black smokers* terem sido identificadas apenas em 1977.
3. Na fotografia da figura 11 identifica, justificando, os óxidos de ferro.

2.2. Recursos Não Metálicos

Os recursos minerais não metálicos são mais abundantes na natureza e, embora sejam comercializados a preços mais baixos, têm grande relevância económica, uma vez que deles dependem inúmeras atividades.

As rochas mais abundantes de uma região constituem usualmente um recurso não metálico e podem, geralmente, ser identificadas nas construções e nos pavimentos.



Fig. 12 Utilização de basalto, em Cabo Verde, na pavimentação de ruas (A) e na construção de casas (B).

Para além da sua utilização na construção civil – rochas ornamentais, britas, areias, argilas e gesso –, as características de algumas rochas permitem o seu aproveitamento em diversas indústrias, incluindo a produção de fertilizantes, vidro, cerâmica, componentes de automóveis, materiais elétricos e papel, entre outras.

Manual Digital

Vídeo
Exploração dos recursos litológicos

Recursos minerais não metálicos – aplicações

São recursos não metálicos comuns:

- Calcário – brita, fabrico de cimento, estatuária e indústria do papel;
- Siltito – fabrico de lajes;
- Granito – pedra ornamental, estatuária, construção, revestimento e pavimentação;
- Basalto e materiais piroclásticos – construção, pavimentação e estatuária;
- Mármore – pedra ornamental, revestimento e pavimentação;
- Xisto/Ardósia – lajes de cobertura;
- Gesso – construção civil, estatuária e medicina;
- Fosfato (mineral apatite) – fertilizantes;
- Pedra-pomes – cosmética, decoração de jardins e caminhos;
- Argila – cerâmica e fabrico de tijolos;
- Areia quartzosa – vidro, cerâmica e *chips* de computadores;
- Sal-gema – indústria química e culinária;
- Enxofre – indústria química e fertilizantes.

Nas ilhas do Sal e de Maio, a extração de sal tem sido uma atividade historicamente importante, utilizando métodos tradicionais baseados na evaporação solar da água do mar. O sal (NaCl) é, a nível mundial, matéria-prima em diversos setores de atividade.



Fig. 13 Etapas da produção de sal: extração nas salinas (A), embalamento industrial (B), aspeto dos cristais (C) e alguns dos principais setores de utilização.

2.3. Exploração Sustentada dos Recursos Minerais

A exploração mineira constitui uma importante fonte de emprego e contribui para o desenvolvimento económico regional. Contudo, práticas não sustentáveis de exploração dos recursos minerais podem gerar impactes significativos ao nível paisagístico e ambiental, bem como reduzir a disponibilidade dos recursos a médio e longo prazo.

A **exploração sustentável** dos recursos pressupõe a sua utilização de forma a satisfazer as necessidades da geração atual sem comprometer a sua disponibilidade para as gerações futuras. A sustentabilidade de uma exploração mineira assenta no desenvolvimento científico e tecnológico, permitindo:

– o aumento da produtividade da pedreira;
– a redução do desperdício de recursos explorados;
– a redução dos impactes da poluição ambiental nos domínios envolventes;
– a reutilização de resíduos resultantes da exploração;
– a reabilitação de minas abandonadas.

A pegada ambiental da mineração, quer a céu aberto quer subterrânea, é inquestionável. As áreas ocupadas pelas minas são geralmente extensas e, por vezes, implicam desflorestação para permitir o acesso aos recursos. Além disso, o processamento do minério pode libertar substâncias químicas nocivas que afetam os subsistemas terrestres. Entre as principais consequências da atividade mineira destacam-se:



Fig. 14 Pedreira abandonada reconvertida num jardim integrado no Jardim Botânico de Xangai. China.

– poluição sonora, resultante da utilização de explosivos e do funcionamento da maquinaria utilizada na exploração;
– contaminação de águas superficiais, dos solos e dos aquíferos, por partículas sólidas e elementos tóxicos. Muitos minérios são sulfuretos que, ao reagirem com a água da chuva, originam drenagem ácida, que pode causar danos significativos no ecossistema a jusante;
– impactes paisagísticos, decorrentes das alterações geomorfológicas inerentes ao desenvolvimento da mina.

A mineração e o processamento de minério acarretam consequências ambientais cuja dimensão depende das medidas implementadas para minimizar os danos e da eficácia da regulamentação. Neste contexto, a Geologia atual, assim como os geólogos, os engenheiros geólogos e os engenheiros de minas têm um papel fundamental na minimização dos impactes ambientais e na exploração sustentada dos recursos minerais.

Atividade prática

Projeto: Construção de um jogo de tabuleiro sobre recursos minerais

Para construir um jogo de tabuleiro sobre recursos minerais, tem em consideração as seguintes instruções:

Estrutura do jogo

O jogo deve ter: tabuleiro (circuito, percurso, mapa); peões para cada equipa/jogador; cartas de desafio (perguntas, ações, imprevistos ou tarefas); regras simples e claras (início, ordem de jogo, como avançar/retroceder, como vencer); objetivo final (chegar ao fim, recolher recursos, completar missões, etc.).

Conteúdos a incluir

As cartas ou casas do tabuleiro devem abordar:

a) Processos de formação dos recursos minerais;

b) Classificação dos recursos;

c) Exploração mineira;

d) Sustentabilidade (boas e más práticas na exploração dos recursos).

Tipos de desafios possíveis

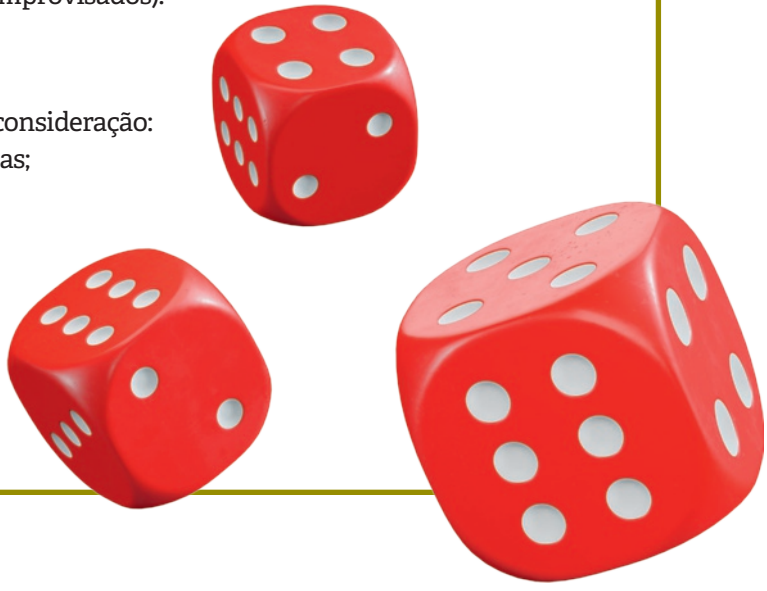
Perguntas de escolha múltipla; Verdadeiro/Falso; Situações-problema; Cartas de sorte/azar (ex.: "A tua mina apresenta drenagem ácida. Perdes uma jogada." ou "Inovaste tecnologicamente e diminuíste o desperdício. Avanças 2 casas.").

Materiais sugeridos

Cartolina ou papel A3 para o tabuleiro, lápis, marcadores, régua, cartões pequenos para as cartas, dados e peões (podem ser improvisados).

Avaliação

A avaliação desta atividade terá em consideração:
a criatividade do tabuleiro e das cartas;
o rigor científico dos conteúdos;
a clareza das regras;
a apresentação final do grupo;
a implementação do jogo.



Atividade prática

Alguns recursos minerais são considerados preciosos por corresponderem a materiais naturais raros e de elevado valor económico. Nesta categoria incluem-se gemas (como o diamante) e metais nobres (como o ouro), materiais que são valorizados pelas suas propriedades físicas e estéticas.
Os resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos constituem simultaneamente uma fonte de materiais perigosos e de recursos valiosos, uma vez que contêm diversos metais, incluindo matérias-primas críticas, como ouro (Au), prata (Ag), cobre (Cu), lítio (Li) e cobalto (Co), que podem ser recuperados e reutilizados.
A chamada mineração urbana baseia-se na recuperação de matérias-primas secundárias a partir desses resíduos, recorrendo a processos físicos, químicos ou biológicos. Esta abordagem inspira-se em princípios da economia circular, promovendo a valorização de materiais e contribuindo para uma gestão mais sustentável dos recursos.
Assim, a mineração urbana surge como uma alternativa à mineração tradicional, embora a sua viabilidade dependa de fatores técnicos, económicos e regulamentares.

Adaptado de Ouro-Salim, O. (2024). Urban mining of e-waste management globally: Literature review. Cleaner Waste Systems, 9, 100162. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2024.100162

1 **Pesquisa e reflete sobre as seguintes questões:**

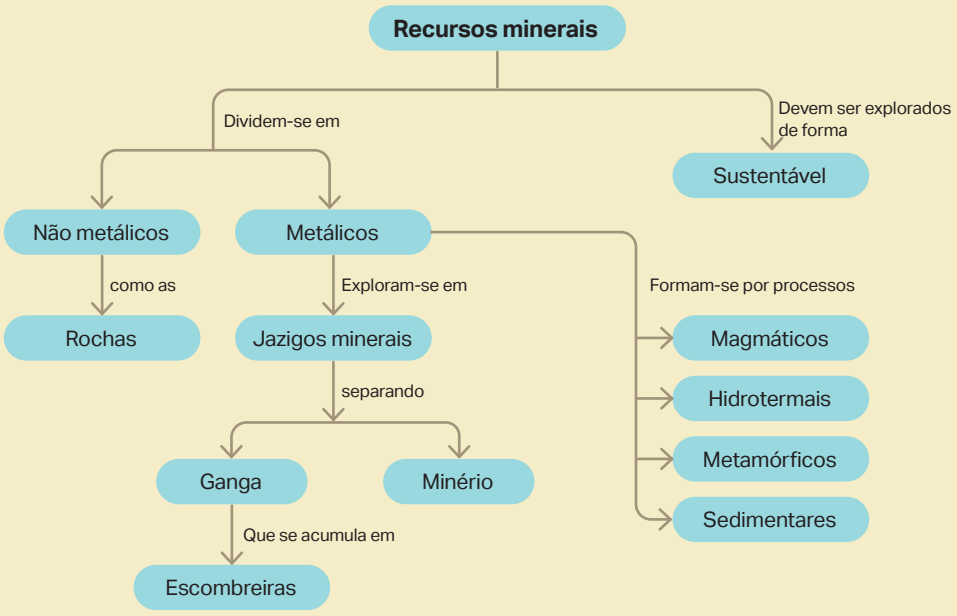
- Qual é a razão da utilização dos metais preciosos referidos no texto em componentes eletrónicos?
- Em que consiste a mineração urbana e qual é a sua relação com a exploração de recursos minerais?
- Como se justifica a afirmação: "Os resíduos eletrónicos podem constituir uma fonte mais rica de metais preciosos do que alguns minérios naturais."?
- Que fatores condicionam a viabilidade da mineração urbana?
- Em que medida a mineração urbana pode contribuir para a sustentabilidade na gestão de recursos minerais?
- Quais são as principais vantagens e limitações da mineração urbana?

2 **Apresenta as tuas conclusões sob a forma de um póster científico.**

Nota: Podes rever os elementos de estruturação e design de um póster nas páginas 82 e 83 do manual.

Sugestão: O poster deve incluir uma anotação que destaque a importância da mineração urbana na recuperação de metais e na redução do impacte ambiental, salientando também a necessidade de reduzir o consumo.
Deve ainda reforçar que evitar a compra compulsiva de equipamentos elétricos e eletrónicos e prolongar a sua vida útil é essencial para uma gestão mais sustentável dos recursos.

Mapa de conceitos



Em resumo...

Qual é a diferença entre recursos minerais metálicos e não metálicos?

Os recursos metálicos são maioritariamente minerais dos quais se extraem metais e os recursos não metálicos incluem materiais sem metal na sua composição dominante, usados sobretudo como matérias-primas industriais ou de construção.

Como se formam os recursos minerais metálicos?

Os recursos minerais metálicos formam-se por processos geológicos magmáticos, metamórficos, sedimentares ou de precipitação hidrotermal, que concentram metais em quantidades e concentrações economicamente exploráveis.

Qual é a diferença entre minério e ganga?

O minério é a parte do depósito com elevado teor do metal de interesse, enquanto a ganga corresponde aos minerais sem valor económico que o acompanham.

O que é a exploração sustentável dos recursos minerais?

A exploração sustentável dos recursos minerais consiste em extrair e gerir esses recursos de modo a satisfazer as necessidades atuais sem comprometer a sua disponibilidade e o equilíbrio ambiental para as gerações futuras.

Teste formativo

Grupo I

Um estudo avaliou, em ensaios em vaso, a eficácia de técnicas de fitorremediação em escombreiras de pirite através da aplicação de Tecnossolos enriquecidos com resíduos orgânicos e inorgânicos e da instalação de *Lavandula luisieri*. Os Tecnossolos melhoraram significativamente as propriedades químicas e estruturais dos materiais contaminados, promovendo maior germinação e crescimento das plantas, sem sinais de toxicidade. As concentrações de elementos químicos acumuladas nas plantas mantiveram-se abaixo dos limites tóxicos, demonstrando a sua adequação para fitoestabilização. A cobertura com Tecnossolos reduziu a oxidação dos sulfuretos e a geração de drenagem ácida, limitando a libertação de elementos contaminantes.

Adaptado de Santos, E., R., et al. *Fitorremediação assistida e combinada de escombreiras de pirite e gossan da mina de São Domingos*. [PDF].

1 **O estudo pretendeu encontrar uma solução para escombreiras**
(A) com uma percentagem muito elevada de inertes.
(B) com risco de contaminação de aquíferos por lixiviação ácida.
(C) de explorações de minerais não metálicos.
(D) que resultam apenas de mineração a céu aberto.

2 **A pirite é um minério de**
(A) cobre.
(B) alumínio.
(C) zinco.
(D) ferro.

3 **Com base no estudo apresentado, sugere uma estratégia de ação para recuperação de minas de pirite.**

4 **O clarke de um elemento químico corresponde à sua**
(A) abundância média na crusta terrestre.
(B) concentração numa escombreira.
(C) abundância média num jazigo mineral.
(D) concentração na astenosfera.

5 **A pirite constitui um recurso geológico porque**
(A) permite obter um material que é útil ao ser humano.
(B) pode ser extraída da crusta terrestre.
(C) pode ser explorada em minas e é renovável.
(D) é um material natural que pode ser útil ao ser humano.

Grupo II

A crescente preocupação ambiental no setor da construção tem impulsionado o desenvolvimento de betões ecoeficientes, com redução do teor de cimento Portland (cuja produção está associada a elevadas emissões de dióxido de carbono) e incorporação de materiais alternativos. Entre esses materiais, destacam-se as pozolanas naturais, materiais de natureza piroclástica que podem ser utilizadas como ligantes na produção de betão.

Num estudo recente, foram produzidos betões com diferentes dosagens de cimento (125 e 175 kg/m³), incorporando cinzas volantes ou pozolanas naturais provenientes de Cabo Verde e dos Açores. As designações dos betões refletem a sua composição: CV – betão com cinzas volantes; PC – betão com pozolana de Cabo Verde; PA – betão com pozolana dos Açores.

Foram avaliadas propriedades como a trabalhabilidade e as resistências mecânicas dos betões produzidos, nomeadamente a resistência à compressão (ver gráfico 1- DD130)

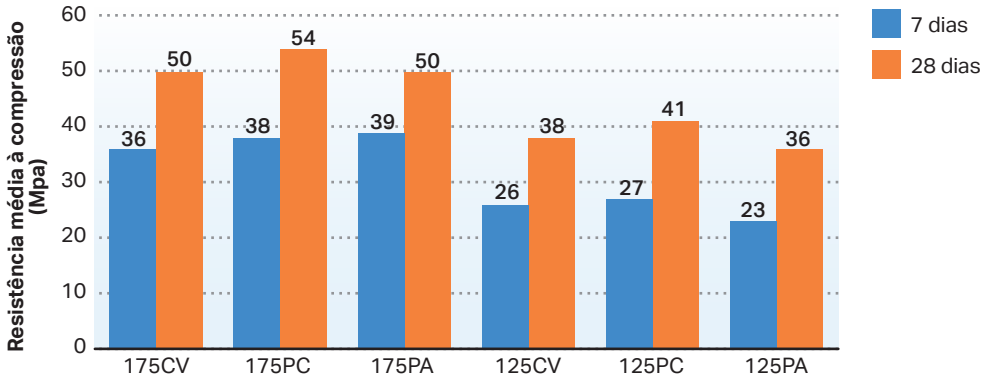


Fig. 1 Resistência média à compressão (fcm, em MPa) de diferentes betões, avaliada aos 7 e aos 28 dias após a sua produção.

1 **De acordo com os dados do estudo, é possível afirmar que**

(A) a resistência à compressão, independentemente da composição do betão, não varia de forma significativa com o tempo.

(B) maior substituição de cimento conduz sempre a maior resistência.

(C) nos betões com 175 kg/m³ de cimento, a substituição de cinzas volantes por pozolanas aumenta a resistência.

(D) a substituição de cinzas volantes por pozolanas conduz sempre a menor resistência.

2 **Discute a importância da utilização de materiais alternativos ao cimento na produção de betão, tendo em conta a sustentabilidade ambiental.**

3



Recolha de amostras de solo.



Recursos Edáficos

3.1. Formação do Solo

3.2. Exploração Sustentada dos Solos

Os solos formam-se pela alteração física e química das rochas e pela incorporação de matéria orgânica ao longo do tempo. São fundamentais para sustentar a vida terrestre, permitindo o crescimento das plantas e garantindo a produtividade e a continuidade dos ecossistemas.

Em regiões como Cabo Verde, a sua conservação é particularmente importante. Prevenir a erosão, manter a fertilidade e assegurar uma exploração sustentável dos solos permite responder às necessidades atuais sem comprometer as das gerações futuras.

3.1. Formação do Solo

Manual Digital

Vídeo
Formação do solo

O **solo** (substrato pedológico) é um material solto e móvel, de espessura variável, que se forma na interface entre os quatro subsistemas terrestres – pedogénese. Resulta da alteração física e química de rochas ou de sedimentos, em interação com a água da chuva e a matéria orgânica, originando um substrato capaz de suportar o desenvolvimento de plantas e de uma ampla diversidade de seres vivos.

Trata-se de um dos recursos mais valiosos do planeta, essencial para a agricultura, silvicultura, pecuária e jardinagem.



Fig. 1 Composição média dos solos.

O solo é constituído por matéria mineral, matéria orgânica, uma fase líquida e uma fase gasosa (figura 1). A proporção de ar e água nos poros do solo não é fixa, verificando-se um equilíbrio dinâmico entre pluviosidade, evaporação, drenagem e textura do solo.

A formação dos solos resulta de três processos principais que transformam o rególito e a rocha original, originando os diferentes horizontes (estratos ou camadas internas) de um solo (figura 2):

- Produção de detritos minerais – através de processos de meteorização física e química.
- Interação com a água – a água que se infiltra através dos detritos minerais transporta iões e flocos de argila em direção à rocha-mãe, onde os primeiros precipitam e os segundos se acumulam.
- Interação com organismos – microrganismos, fungos, plantas e animais presentes no solo movimentam-se, agitando e fragmentando o solo e produzem ácidos que alteram quimicamente os grãos. Quando os organismos morrem, ocorre a decomposição dos mesmos e a acumulação de detritos orgânicos decompostos – **húmus**.

A rocha e o rególito evoluem para solo com processos que ocorrem a diferentes profundidades, desenvolvendo zonas distintas – os **horizontes do solo** –, organizadas numa sequência vertical denominada **perfil de solo**.



Fig. 2 Perfil e horizontes de um solo.

Usando como exemplo um solo formado numa zona temperada, os horizontes do solo são os seguintes, de menor para maior profundidade:

Horizonte O

A letra O significa orgânico, uma vez que esta camada consiste quase inteiramente de matéria orgânica. Húmus, na base, coberto por folhas e outros resíduos orgânicos.

Horizonte A

Constituído por húmus que se mistura com uma grande percentagem de grãos minerais (argila, silte e areia). A água percolante desencadeia reações de meteorização química. A água que se desloca para baixo transporta substâncias químicas solúveis e minerais de argila.

Horizonte E

Ocorre lixiviação substancial, o que lhe confere a cor mais clara. Não se verifica mistura com matéria orgânica.

Horizonte B

Zona rica em fragmentos da rocha-mãe e de acumulação de argila e iões resultantes da lixiviação das camadas superiores.

Horizonte C

Região do solo onde se encontra a rocha-mãe parcialmente alterada.

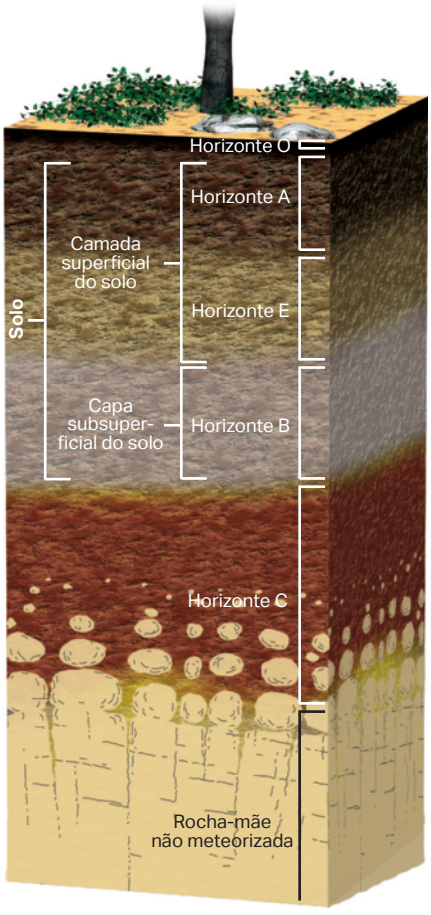


Fig. 3 Horizontes de um solo.

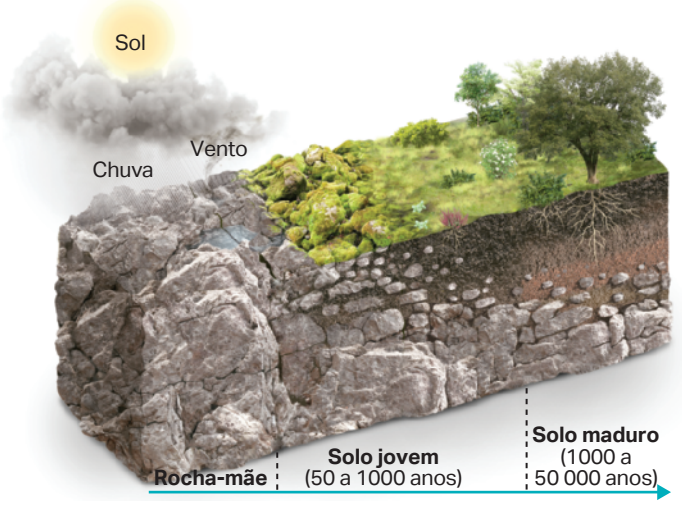


Fig. 4 Evolução do solo ao longo do tempo.

A espessura de um solo depende da idade do solo, mas também em larga escala de fatores como:

- Clima – o solo é mais espesso em climas que favorecem a meteorização química.
- Natureza da rocha-mãe – rochas menos resistentes à alteração supergénica favorecem a formação de solos mais espessos.

Tipos de solo

A classificação dos solos é uma tarefa complexa. A grande diversidade de solos do planeta depende da sua evolução e composição e traduz-se numa variedade de composições, texturas, estruturas e cores. A diversidade de solos no arquipélago de Cabo Verde parece dever-se, além da natureza dos materiais originários, ao relevo, à drenagem, à proximidade dos níveis freáticos e à deposição atmosférica.



Fig. 5 Diferentes solos.

Quanto à origem, os solos são classificados em **eluviais,** quando se formam a partir de rochas encontradas no mesmo local do solo, e **aluviais**, quando se formam a partir de rochas localizadas em outros lugares, tendo depois sofrido transporte por ação da água ou do vento.

Os solos podem apresentar diversas texturas, de acordo com a percentagem em argila, areia e silte, sendo classificados como argilosos (60% de argila, 25% de silte e 15% de areia), arenosos (5% de argila, 5% de silte e 90% de areia) e francos (30% de argila, 25% de silte e 45% de areia).

A textura de um solo condiciona a sua porosidade (relação entre o volume dos poros e o volume de uma amostra de solo) e a sua permeabilidade (medida da facilidade que um solo oferece ao deixar-se atravessar pela água).

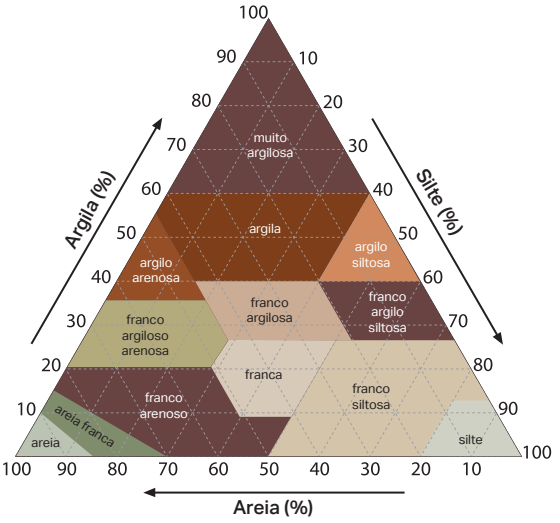


Fig. 6 Diagrama para determinação da textura dos solos.

Os solos arenosos apresentam porosidade e permeabilidade elevadas, permitindo rápida drenagem da água, mas retêm poucos nutrientes. Os solos argilosos têm poros mais finos, menor permeabilidade e, consequentemente, maior retenção de água e nutrientes. Solos francos apresentam equilíbrio entre as frações de areia, silte e argila, apresentam porosidade e permeabilidade moderadas e são, geralmente, ideais para a agricultura.

A cor de um solo reflete a sua composição. Solos ricos em matéria orgânica tendem a ser mais escuros, solos pobres em matéria orgânica e ricos em quartzo e moscovite são mais claros e solos ricos em ferro tendem a ser vermelhos a amarelos.

Os solos podem ser classificados como **incipientes**, quando representam formas muito pouco evoluídas. Os solos **litólicos** e os solos **calcários** resultam da meteorização de rochas não carbonatadas e carbonatadas, respetivamente. Os **barros** constituem solos muito argilosos e bastante evoluídos, e os solos **mólicos** distinguem-se por apresentarem um horizonte superficial escuro e fértil. Os solos **argiluviados** são típicos dos ambientes mediterrânicos e apresentam acumulação de argila em profundidade. Os solos **podzolizados** caracterizam-se pela migração de matéria orgânica e óxidos metálicos, ao passo que os solos **halomórficos** se formam em ambientes com excesso de sais solúveis. Os solos **hidromórficos** desenvolvem-se em zonas com encharcamento permanente ou temporário, e os solos **orgânicos hidromórficos** distinguem-se pelo elevado teor de matéria orgânica acumulada em condições de saturação. Os **antropossolos** são solos antropofizados, ou seja, que apresentam características modificadas por atividades humanas, como a agricultura ou a urbanização, podendo adquirir maior fertilidade ou, pelo contrário, sofrer degradação.

3.2. Exploração Sustentada dos Solos

O desgaste e transporte da camada superficial do solo – erosão do solo – em resultado da água da chuva, vento e atividade humana é significativo em Cabo Verde. O escoamento superficial causado pelas chuvas fortes e esporádicas arrasta nutrientes e sedimentos, deixando o solo menos fértil.

A erosão é mais intensa em áreas agrícolas com declives acentuados.



Fig. 7 Agricultura em socalcos. Santo Antão. Cabo Verde.



Fig. 8 Terrenos agrícolas. Cabo Verde.

Num ecossistema natural, embora as plantas retirem nutrientes do solo, quando morrem, transformam-se em húmus e a sua decomposição devolve os nutrientes ao solo.

Na agricultura, a depleção de nutrientes ocorre em consequência da remoção de matéria orgânica, pois o ser humano planta para colher. Alguns ciclos agrícolas podem esgotar os nutrientes do solo, comprometendo o crescimento das culturas seguintes.



Fig. 9 Mercado Municipal de Mindelo. Ilha de S. Vicente. Cabo Verde.

A carência de nutrientes de um solo pode ser corrigida com a utilização de fertilizantes. Contudo, esta solução implica investimento em produtos químicos, aumentando o custo de produção.

A desflorestação e a agricultura diminuem o coberto vegetal de uma região, favorecendo a erosão dos solos.

Atividade prática

A figura 1 representa a evolução da infiltração da água ao longo do tempo, em três situações: meio rural (A), alteração do meio rural (B) e meio urbanizado (C).

1 **Observa:** Descreve o que observas na figura 1.

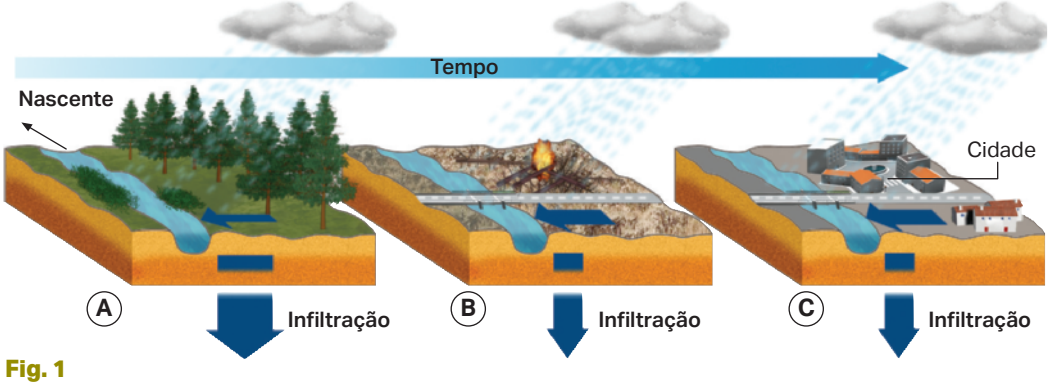


Fig. 1

2 **Comunica:** Redige um pequeno texto explicativo (5–8 linhas) em que comuniques as conclusões sobre a infiltração da água no solo ao longo do tempo, relacionando-as com as alterações do uso do solo.

3 **Planifica:** Propõe um desenho experimental simples que permita comprovar, em laboratório, as conclusões retiradas da observação do esquema.

Atividade laboratorial Permeabilidade de diferentes tipos de solo

Os solos apresentam características diferentes consoante a sua composição, nomeadamente no que diz respeito à permeabilidade, isto é, à facilidade com que a água se infiltra e atravessa o solo. Solos arenosos, francos e argilosos apresentam poros com tamanhos e disposições distintas, o que condiciona a circulação da água.
Nesta atividade experimental vais comparar a permeabilidade de três tipos de solo, analisando a influência do tipo de solo na infiltração da água.

Material

- Funil (3);
- Papel de filtro (3);
- Proveta graduada (3);
- Colher;
- Gobelé (3);
- Água;
- Tipos de solo diferentes (ex.: arenoso, franco e argiloso);
- Cronómetro.



Fig. 1

Procedimento A

1. Coloca um papel de filtro no interior de cada funil (A, B e C) e monta-os de acordo com o dispositivo representado na figura 1.
2. Introduz o mesmo volume de solo em cada funil (A, B e C), sem o compactar.
3. Mede um volume igual de água (por exemplo, 100 mL).
4. Verte lentamente esse volume de água sobre o solo do funil A, iniciando simultaneamente o cronómetro.
5. Mede o tempo necessário para a água atravessar o solo e o volume de água recolhido no recipiente.
6. Repete os passos 4 e 5 para os funis B e C.
7. Regista os resultados obtidos numa tabela.

Discussão

1. Qual dos solos apresentou maior permeabilidade? Justifica com base nos resultados obtidos.
2. Em que solo a água demorou mais tempo a infiltrar-se? O que indica esse resultado?
3. De que forma o tamanho dos poros dos solos pode explicar os resultados observados?
4. Identifica:
   (a) a variável independente;
   (b) a variável dependente;
   (c) duas variáveis de controlo.
5. Explica a importância de manter constantes as variáveis de controlo.

Comunicação

Elabora o relatório da atividade.

Atividade laboratorial Propriedades dos solos argilosos

Os solos argilosos são constituídos por partículas muito finas e caracterizam-se por uma elevada capacidade de retenção de água e por variações significativas de volume quando molhados e quando secos. Estas propriedades explicam a sua utilização em contextos como a impermeabilização de reservatórios, mas também problemas associados a fissuras no solo e instabilidade de construções.
Nesta atividade experimental pretende-se observar e compreender o comportamento da argila quando em contacto com a água e durante a secagem, relacionando essas observações com as propriedades dos solos argilosos.

Material

- Argila em pó;
- Copo de papel ou plástico;
- Proveta graduada ou copo medidor;
- Água;
- Colher ou vareta de agitação;
- Película aderente ou plástico.



Fig. 1 Argila.

Procedimento A

1. Coloca uma colher de argila seca num copo.
2. Adiciona água lentamente, em pequenas quantidades, mexendo sempre.
3. Observa a absorção da água e a variação no volume da argila.
4. Adiciona água até obter uma pasta espessa que flui lentamente.
5. Regista a quantidade de água utilizada e o aspeto da mistura.

Procedimento B

1. Coloca a pasta de argila num recipiente raso, formando uma camada.
2. Deixa uma amostra a secar ao ar durante 1–2 dias.
3. Cobre uma amostra idêntica com película aderente e aguarda 1-2 dias.
4. Observa o aspeto final da argila após a secagem.

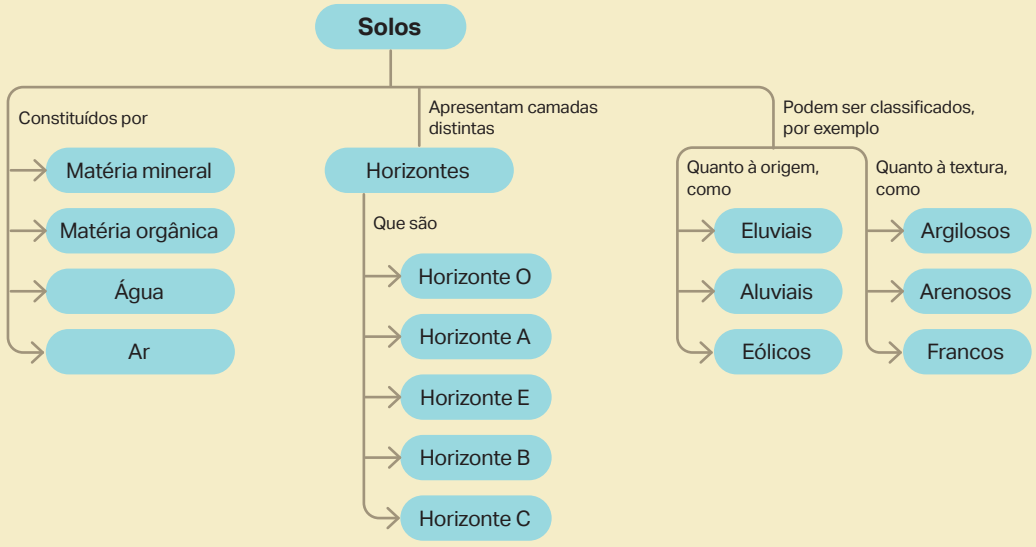
Discussão

1. O que acontece ao volume da argila quando entra em contacto com a água?
2. Que alterações são observadas na argila após a secagem?
3. Identifica:
   (a) a variável independente;
   (b) a variável dependente.
4. Explica de que forma as propriedades identificadas influenciam o uso dos solos argilosos no quotidiano.

Comunicação

Elabora o relatório da atividade.

Mapa de conceitos



Em resumo...

O que é o solo? → O solo é um sistema natural que evolui à superfície terrestre, resultante da interação entre a rocha-mãe, o clima, os organismos, o relevo e o tempo, constituído por uma fase sólida mineral e orgânica, sujeito à circulação de uma fase líquida e de uma fase gasosa.

Em que consiste o perfil de um solo? → O perfil de um solo corresponde à sucessão vertical de horizontes pedológicos – que diferem uns dos outros quanto às propriedades físicas, químicas e biológicas -, desde a superfície até à rocha-mãe, pouco alterada. Evidencia os processos de formação e evolução do solo.

Como se classificam os solos? → Os solos classificam-se segundo critérios morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos, tendo em conta a textura, a estrutura, a composição, o grau de diferenciação dos horizontes e os processos pedogenéticos dominantes.

Que tipos de solos existem? → Existe uma grande diversidade dos solos, de acordo com as rochas que estão na sua origem. A classificação dos solos depende do critério adotado, o qual varia frequentemente em função das características consideradas e da utilização que se pretende dar ao solo em estudo.

Teste formativo

Grupo I

Cabo Verde tem reconhecido a degradação dos solos e a desertificação como ameaças significativas ao seu ambiente, com impactos diretos no bem-estar humano e no desenvolvimento socioeconómico. O país passou de uma situação marcada por falhas frequentes das colheitas e insegurança alimentar para um exemplo de gestão de um ambiente adverso e de recursos naturais escassos, assegurando a segurança alimentar e melhorando as condições de vida das populações.

Os solos em Cabo Verde são maioritariamente pouco evoluídos, de reduzida espessura, resultantes da alteração de rochas de origem vulcânica e desenvolvidos sob condições climáticas secas. Estas características tornam os solos particularmente vulneráveis à erosão e à degradação, favorecendo processos de desertificação com impacto significativo no território. A conjugação entre precipitação irregular, relevo acentuado e fraca cobertura vegetal intensifica a perda de solo por erosão hídrica, comprometendo a sua capacidade de retenção de água e nutrientes e limitando a utilização agrícola.

A implementação de medidas de conservação do solo e da água tem contribuído para atenuar os processos erosivos e aumentar a resiliência dos solos face a períodos prolongados de seca, embora a avaliação sistemática dos impactos biofísicos dessas medidas permaneça limitada, evidenciando a necessidade de um enquadramento científico mais robusto para a gestão sustentável dos solos.

Adaptado de:Baptista, I., Fleskens, L., Ritsema, C., Querido, A., Tavares, J., Ferreira, A. D., Reis, E. A., Gomes, S., & Varela, A. (2015). Soil and Water Conservation Strategies in Cape Verde (Cabo Verde in Portuguese) and Their Impacts on Livelihoods: An Overview from the Ribeira Seca Watershed. Land, 4(1), 22-44. https://doi.org/10.3390/land4010022

1 **Refere duas características dos solos de Cabo Verde mencionadas no documento.**

2 **No perfil de um solo de Cabo Verde, a camada onde se encontra, frequentemente, _____ como rocha-mãe parcialmente alterada corresponde ao horizonte _____.**

(A) basalto … B
(B) arenito … B
(C) basalto … C
(D) arenito … C

3 **Explica de que forma as condições climáticas contribuem para a vulnerabilidade dos solos à desertificação em Cabo Verde.**

4 **A reduzida espessura dos solos de Cabo Verde deve-se, sobretudo,**

(A) à elevada taxa de sedimentação marinha.
(B) à intensa atividade biológica do solo.
(C) à conjugação entre origem vulcânica, clima seco e erosão.
(D) à abundância de matéria orgânica.

5 **Ordena, de forma lógica, os seguintes processos relacionados com a degradação dos solos em Cabo Verde, do primeiro para o último.**
A. Perda da capacidade de retenção de água e nutrientes.
B. Alteração das rochas de origem vulcânica.
C. Intensificação da erosão hídrica.
D. Formação de solos pouco evoluídos.
E. Desenvolvimento de solos de reduzida espessura.

6 **As medidas de conservação do solo e da água contribuem para**
(A) aumentar a taxa de erosão superficial.
(B) reduzir a espessura do solo.
(C) aumentar a resiliência dos solos à seca.
(D) eliminar totalmente os processos de desertificação.

Grupo II

Na figura 1 observam-se amostras de solos com características distintas.

1 **Com base nas características observáveis dos solos (A a D), identifica os que apresentam maior percentagem de matéria orgânica.**

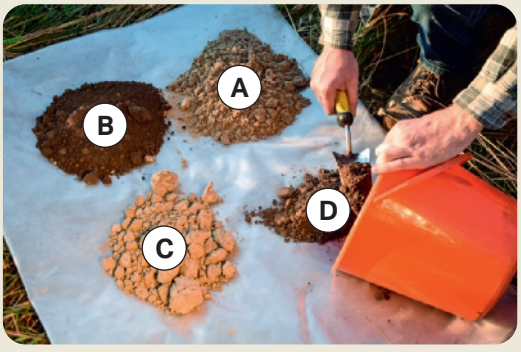


Fig. 1

2 **Estabelece a correspondência entre a característica do solo (coluna I) e a consequência associada (coluna II). Utiliza todas as letras e todos os números. A cada número pode corresponder mais do que uma letra.**

Coluna I	Coluna II
1. Elevada percentagem de matéria orgânica **2.** Textura predominantemente arenosa **3.** Textura argilosa	**A.** Maior capacidade de retenção de água e nutrientes **B.** Drenagem rápida e baixa retenção de nutrientes **C.** Elevada fertilidade natural

3 **Explica por que razão solos com textura muito arenosa ou muito argilosa podem ser menos favoráveis à agricultura, mesmo quando apresentam alguma matéria orgânica.**

4



Ribeira. Ilha de Santiago.



Recursos Hídricos

4.1. Ciclo Hidrológico

4.2. Águas Subterrâneas

4.3. Exploração Sustentada dos Recursos Hídricos

Os recursos hídricos correspondem ao conjunto das águas disponíveis à superfície e no subsolo, sendo fundamentais para a manutenção da vida, o funcionamento dos ecossistemas e o desenvolvimento das atividades humanas.
A sua disponibilidade resulta, em larga medida, do ciclo da água e é condicionada por fatores climáticos, geológicos e pela ação humana.

Em Cabo Verde, uma região caracterizada por clima árido e precipitação atmosférica irregular e reduzida, a gestão sustentável dos recursos hídricos é particularmente importante. A proteção das águas subterrâneas, o uso eficiente da água e o recurso a soluções como a dessalinização são essenciais para satisfazer as necessidades da população, garantindo simultaneamente a preservação e a renovação deste recurso para as futuras gerações.

4.1. Ciclo Hidrológico

Para além do seu inegável papel como agente modelador da superfície, a água constitui um recurso natural essencial para a existência de vida. A **hidrologia** é a ciência que se ocupa do estudo da circulação e distribuição das massas de água terrestres, das suas propriedades químicas e físicas, da sua hidrodinâmica e das suas interações com o meio. Ao longo da sequência cíclica do ciclo hidrológico (figura 1), a água desloca-se entre os vários subsistemas da Terra, permanecendo, por períodos de duração variável, em reservatórios tão diversificados como os oceanos, a atmosfera, os rios e lagos, reservatórios subterrâneos, o solo, os seres vivos e os glaciares. Parte da água que precipita sobre os continentes infiltra-se, penetrando no solo e no subsolo onde, ao encontrar materiais geológicos suficientemente porosos e permeáveis, capazes de permitir a sua acumulação e circulação adjacentemente a uma barreira impermeável, constitui **aquíferos**. Estes reservatórios de água são alvo de estudo de um ramo da Geologia – a **hidrogeologia**.

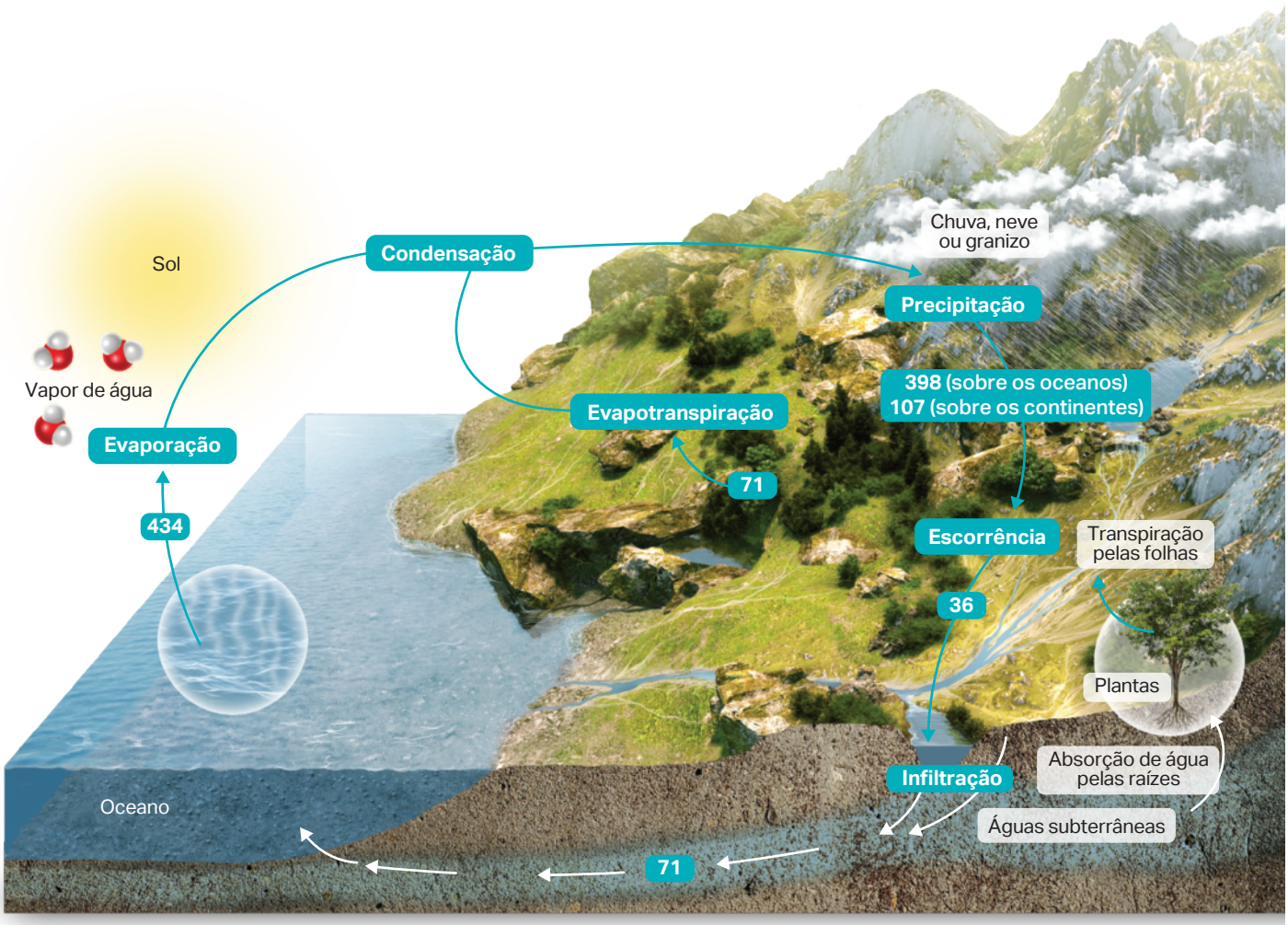
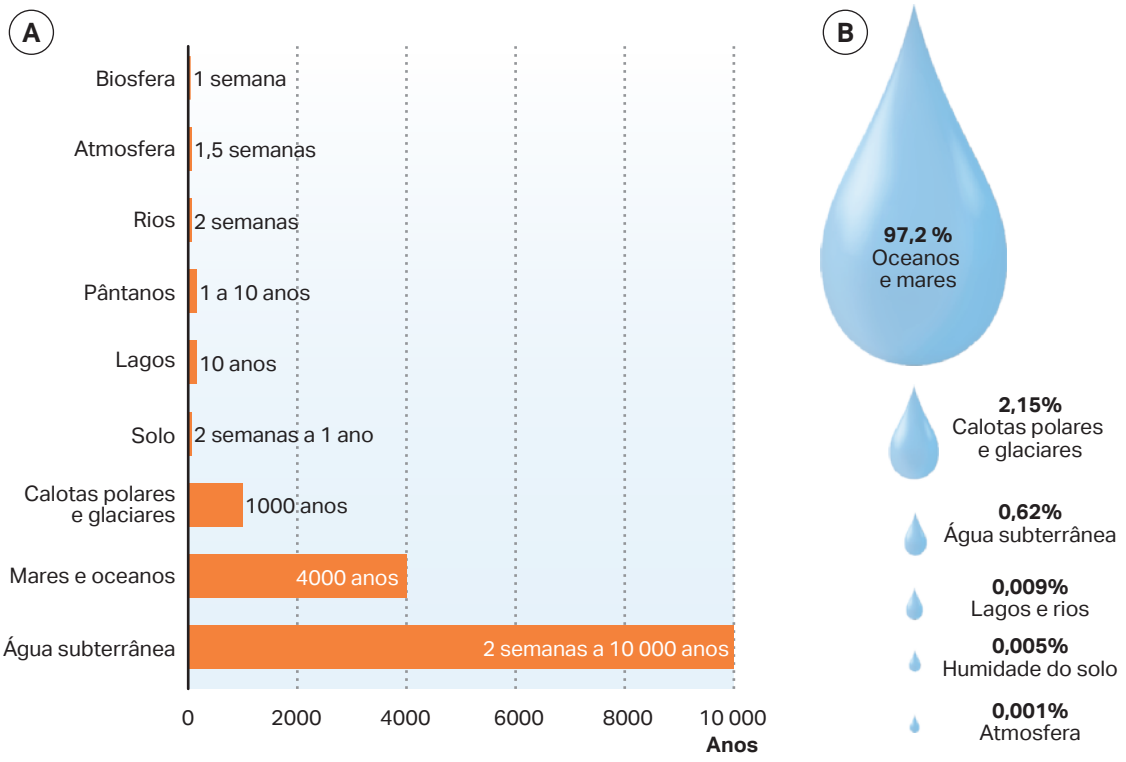


Fig. 1 Ciclo hidrológico. Os valores numéricos assinalados correspondem aos volumes de água transferidos nas diversas etapas do ciclo, em milhões de quilómetros cúbicos por ano.

Embora seja renovável, a água pode ser considerada um recurso finito. Apenas uma pequena fração da água existente na Terra está disponível para uso humano. A distribuição de água doce no espaço e no tempo é desigual (figura 2) e a sua disponibilidade pode ser comprometida pela sobre-exploração, poluição e alterações climáticas.



Baseado em UNEP (2002). Disponível em https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8556/UNEP_Annual_Report_2002.pdf?sequence=4&amp%3BisAllowed=[consult. nov 2021]

Fig. 2 Tempo de permanência (A) e volumes estimados (B) da água nos diversos reservatórios naturais.

Responde tu

1. Identifica a fonte de energia que torna possível o ciclo da água.
2. Com base nos valores apresentados na figura 1, compara a precipitação média anual sobre os oceanos e sobre os continentes e explica a diferença observada, relacionando-a com os processos do ciclo hidrológico.
3. Explica de que forma os processos de infiltração e escoamento superficial influenciam a recarga das águas subterrâneas e a disponibilidade de água doce nos continentes.
4. Justifica a classificação da água como um recurso renovável.
5. Explica, com base na distribuição da água pelos seus reservatórios (figura 2), o facto de esta ser considerada um recurso limitado.

4.2. Águas Subterrâneas

A porosidade e a permeabilidade de um aquífero – formação geológica com capacidade para armazenar e ceder água – são condicionadas pelo tipo de rocha. Nas rochas e depósitos sedimentares detríticos e nos depósitos piroclásticos, a porosidade está diretamente relacionada com a granulometria e o grau de seleção dos clastos. Em rochas carbonatadas, a porosidade é determinada pela meteorização química por dissolução. Já nas rochas magmáticas e metamórficas, a porosidade está associada à fraturação que, frequentemente, é intensificada por processos de meteorização física.

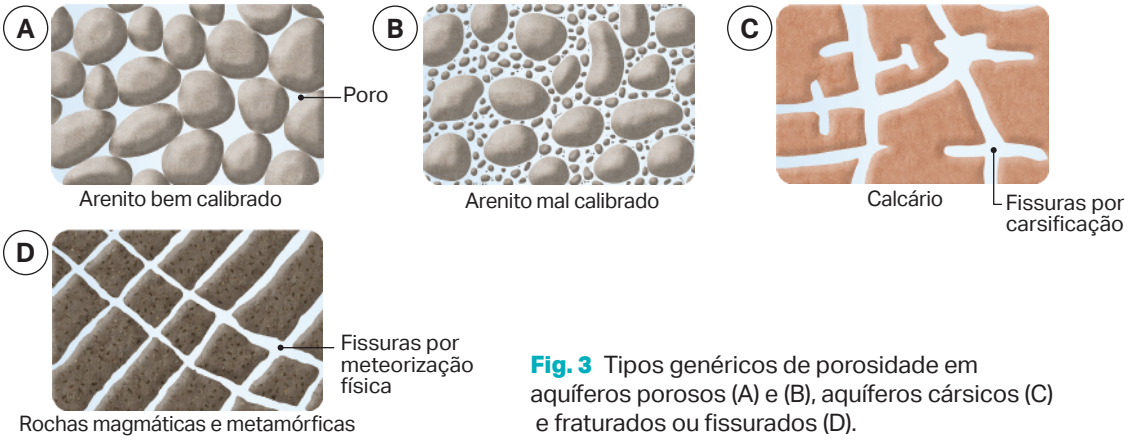


Fig. 3 Tipos genéricos de porosidade em aquíferos porosos (A) e (B), aquíferos cársicos (C) e fraturados ou fissurados (D).

A infiltração da água nos terrenos ocorre até atingir uma barreira impermeável, acima da qual se forma uma zona saturada em água – a **zona de saturação** – em equilíbrio dinâmico, devido às oscilações do **nível freático** ou **nível hidrostático do aquífero freático**, superfície em que a pressão da água iguala a pressão atmosférica. Sobre esta desenvolve-se uma zona não saturada – a **zona de aeração (ou zona não saturada)**. A atração das moléculas de água entre si e a sua adesão às superfícies minerais faz com que esta suba a partir da zona saturada, formando a chamada **franja capilar** (com uma espessura variável entre 5 a 30 cm), imediatamente acima do nível freático.

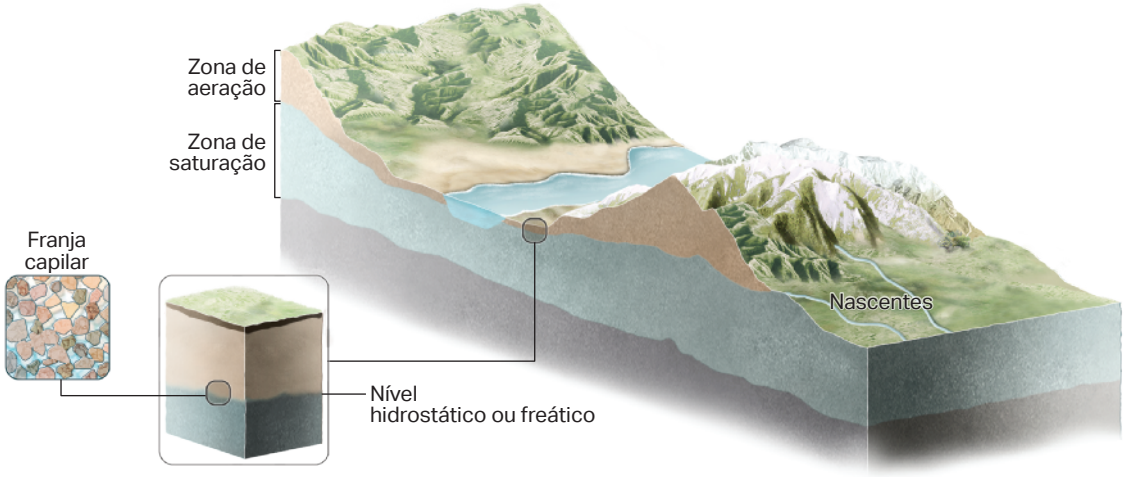


Fig. 4 Enquadramento de um aquífero superior ou freático.

O nível freático oscila verticalmente em resposta à precipitação, localizando-se mais próximo da superfície em regiões com clima mais húmido. Em regiões montanhosas ou de superfície irregular, a superfície freática acompanha aproximadamente a topografia, alimentando nascentes e formando linhas de água ou lagos quando interseta vales ou depressões.

Manual Digital
Atividade
Formação de aquíferos

Tipos de aquíferos

Os aquíferos são limitados, lateralmente, por rochas ou estruturas geológicas (falhas, contactos, diques, etc.) que não se deixam atravessar pela água – barreiras impermeáveis – como, por exemplo, estratos de argilito. O tipo de barreira que limita um aquífero superiormente permite a sua classificação como **aquífero livre ou não-confinado** – sem cobertura impermeável – ou como **aquífero confinado** ou **cativo** – limitado superiormente por uma camada impermeável (figura 5).

A recarga dos aquíferos não confinados é feita maioritariamente em toda a sua extensão lateral por infiltração através da zona de aeração e, por isso, a pressão de água no aquífero (pressão hidrostática) é igual ou próxima da pressão atmosférica. Nos aquíferos confinados, a rocha impermeável de cobertura não permite a recarga vertical, sendo esta realizada lateralmente numa região permeável. A pressão da água num aquífero confinado é, assim, consideravelmente superior à pressão atmosférica.

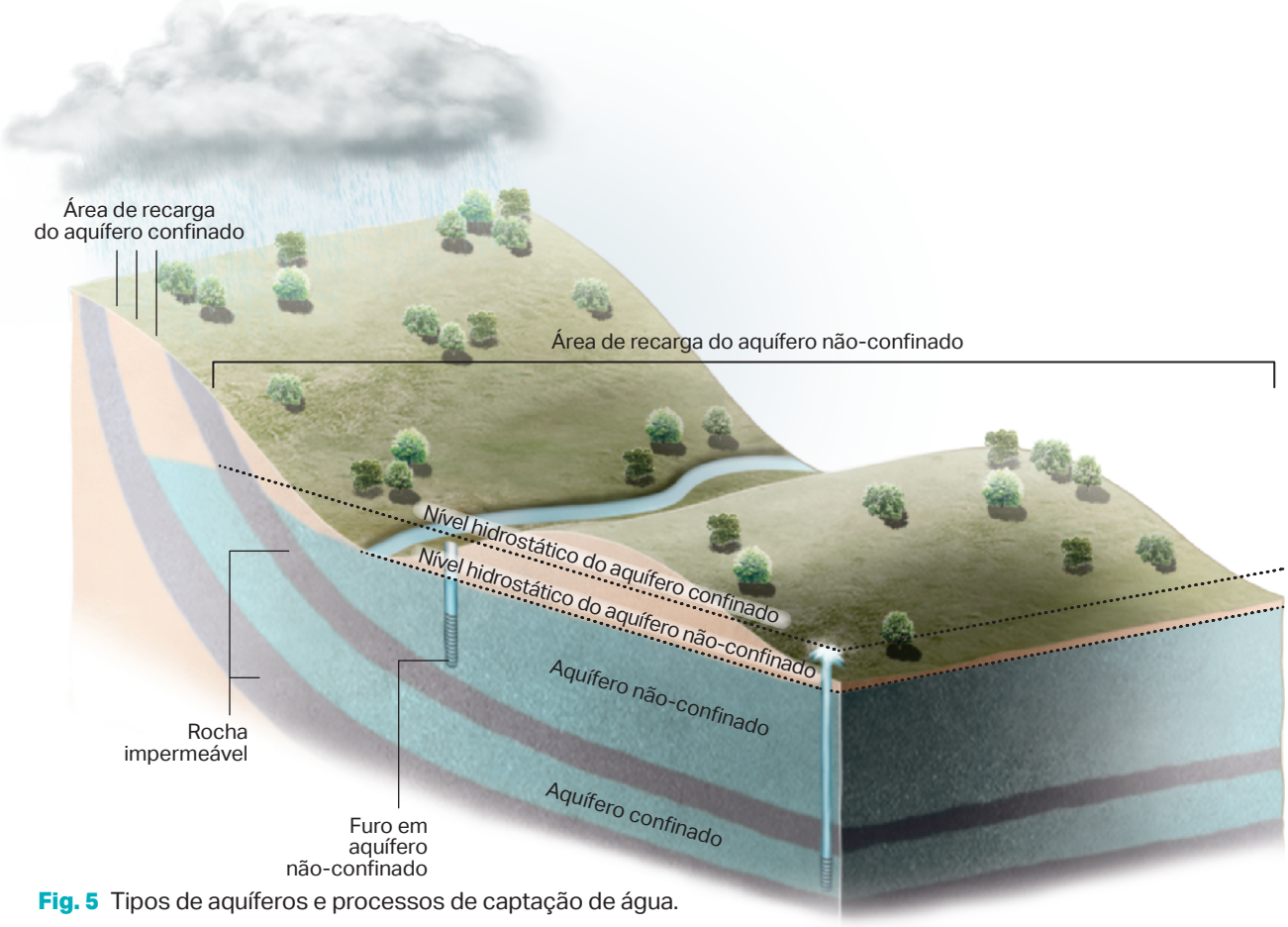


Fig. 5 Tipos de aquíferos e processos de captação de água.

A pressão da água nos aquíferos (pressão hidrostática) manifesta-se nos furos, nos poços e nos charcos. Quando a base de um poço ou furo atinge um aquífero livre, a água eleva-se até à profundidade do nível freático.

Quando os aquíferos confinados são atravessados por um furo, a água sob pressão eleva-se até níveis superiores à superfície da zona de saturação, originando um furo artesiano. Quando a captação se localiza abaixo do nível hidrostático do aquífero, a água pode atingir a superfície, jorrando, dando origem a um furo artesiano repuxante.

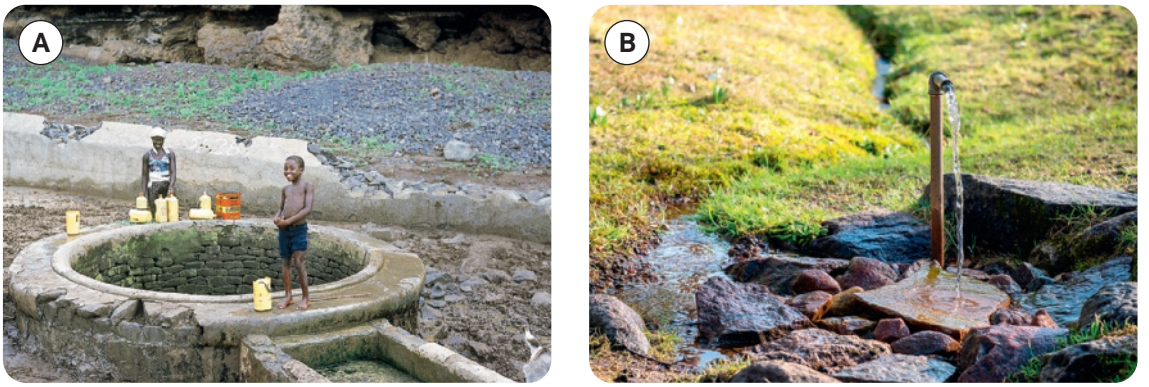


Fig. 6 Poço de captação com extração manual de água, em Cabo Verde (A), e furo artesiano repuxante na Estónia (B).

A água de uma determinada captação tem características físico-químicas que lhe são conferidas pelo tipo de rochas através das quais circula, pela temperatura do aquífero e pelo tempo de permanência em profundidade. O grau de mineralização da água subterrânea é superior em águas mais quentes e que permanecem mais tempo em profundidade.

Uma composição mineral estável permite a captação, o engarrafamento e a comercialização da água como água mineral. Embora ambas tenham origem subterrânea, a água mineral natural distingue-se da água de nascente por apresentar uma composição mineral estável, não podendo sofrer tratamentos químicos previamente ao seu engarrafamento.

Responde tu

1. **Com base nos dados da figura 6, classifica os aquíferos associados às captações de água fotografadas em Cabo Verde e na Estónia, indicando o tipo de aquífero representado em cada caso.**
2. **Relaciona o tempo de permanência da água em profundidade e a temperatura do aquífero com características da água subterrânea, como a mineralização e a temperatura.**

Tipos de água

De acordo com a sua composição química, as águas podem ser classificadas em:

- **Bicarbonatada** – Água rica em bicarbonatos, resultantes da dissolução de minerais das rochas carbonatadas ou de minerais silicatados ricos em cálcio.
- **Silicatada** – Água que resulta da interação com rochas silicatadas, apresentando geralmente baixa a moderada mineralização.
- **Cloretada** – Água com elevado teor de cloretos, frequentemente associada à influência marinha ou à dissolução de sais.
- **Gasocarbónica** – Água com dióxido de carbono dissolvido, o que lhe confere efervescência natural.
- **Hipossalina** – Água com baixo teor de sais dissolvidos, apresentando fraca mineralização.
- **Sulfatada** – Água rica em sulfatos, resultantes da dissolução de minerais como o gesso.
- **Sulfúrea** – Água que contém compostos sulfurados, como o sulfureto de hidrogénio, responsável pelo odor característico.

A água diz-se **dura** quando é rica em cálcio e magnésio. Durante a utilização desta água, a nível doméstico ou industrial, pode ocorrer a formação de incrustações de calcário que entopem as canalizações.

Em Cabo Verde, a composição química das águas subterrâneas resulta maioritariamente da interação da água com rochas vulcânicas, originando águas geralmente com mineralização moderada a elevada. Em zonas costeiras, a intrusão e mistura de água do mar e a elevada evaporação favorecem o aumento da salinidade e da concentração de cloretos. As águas subterrâneas têm composição química frequentemente variável no tempo e no espaço, em função das condições geológicas, climáticas e do grau de recarga dos aquíferos.

Responde tu

1. **Uma água pode ser classificada simultaneamente em mais do que uma categoria. Explica o que significa afirmar que uma água é bicarbonatada gasocarbónica.**
2. **Justifica a afirmação: "As águas de Cabo Verde são classificadas, na maioria dos casos, como águas de nascente e não como águas minerais naturais."**
3. **Em regiões onde a água é dura, há quem adicione gotas de vinagre ao champô. Apresenta uma explicação para este gesto.**
4. **Justifica por que razão a intrusão salina nos aquíferos costeiros afeta inicialmente as zonas mais profundas do aquífero.**

4.3. Exploração Sustentada dos Recursos Hídricos

Manual Digital

Vídeo
Medidas para a sustentabilidade da água

A qualidade e a quantidade da água destinada ao consumo humano é objeto de controlo rigoroso, de modo a garantir o fornecimento regular e a proteção da saúde pública (figura 7).

Concentrações elevadas de substâncias dissolvidas podem tornar a água subterrânea imprópria para consumo humano ou para rega. Esta degradação da qualidade da água pode ocorrer naturalmente, como resultado de maior tempo de contacto com as rochas em profundidade, favorecendo a incorporação de elementos químicos, ou resultar da ação antrópica (figura 8).



Fig. 7 Unidade de engarrafamento de água natural de nascente. Cabo Verde

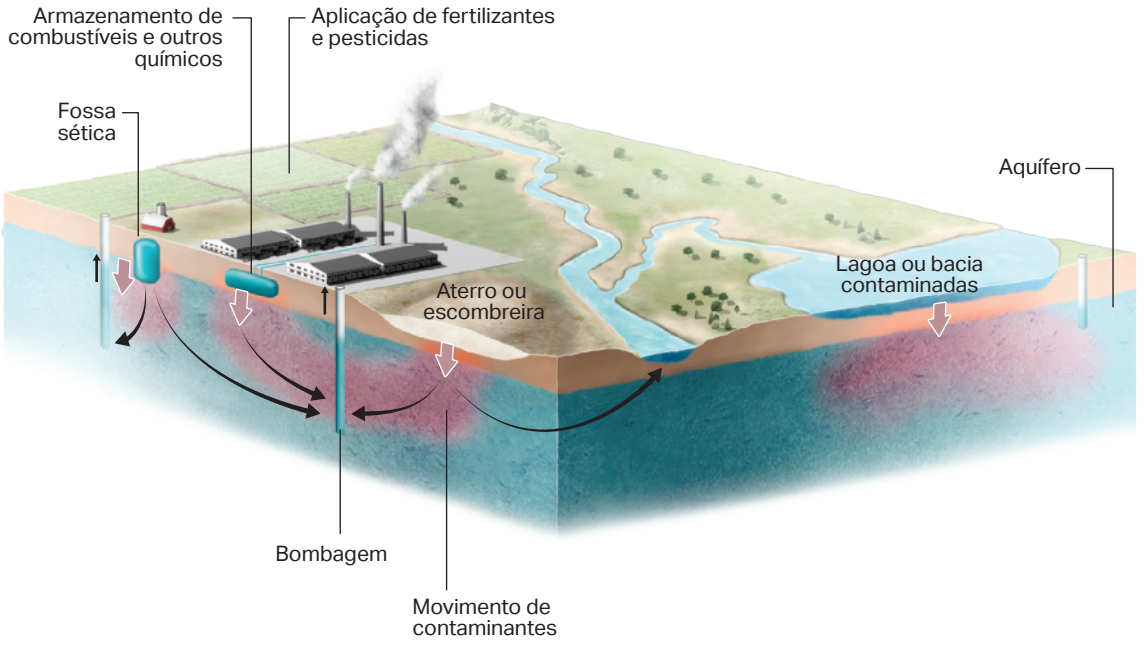


Fig. 8 Fontes de origem antrópica de contaminação de aquíferos.

Os recursos hídricos em Cabo Verde são escassos e suscetíveis à poluição antrópica (essencialmente esgotos, fossas séticas mal isoladas e uso de fertilizantes agrícolas), que pode infiltrar-se no solo e atingir as zonas de recarga, introduzindo nitratos e outros poluentes nos aquíferos superiores. Estas fontes de contaminação tornam necessária a monitorização contínua e a gestão integrada dos recursos hídricos para garantir a qualidade da água subterrânea.

A composição química das massas de água que evoluem dos aquíferos vulcânicos é fortemente influenciada pela interação da água com as rochas, o que contribui para a mineralização da água subterrânea. Em zonas costeiras, a formação de aerossóis marinhos e a intrusão salina podem também adicionar iões dissolvidos, que elevam a salinidade da água. Nestas regiões, a água doce subterrânea, menos densa, flutua sobre a água salgada infiltrada a partir do oceano, formando uma interface cuja profundidade pode ser pequena junto à costa. A exploração excessiva destes aquíferos, com a consequente depleção de água doce, pode favorecer o avanço da intrusão salina até à captação, tornando a água imprópria para consumo humano ou para rega (figura 9).

Manual Digital

Vídeo
Descomplica: É mesmo necessário poupar água?

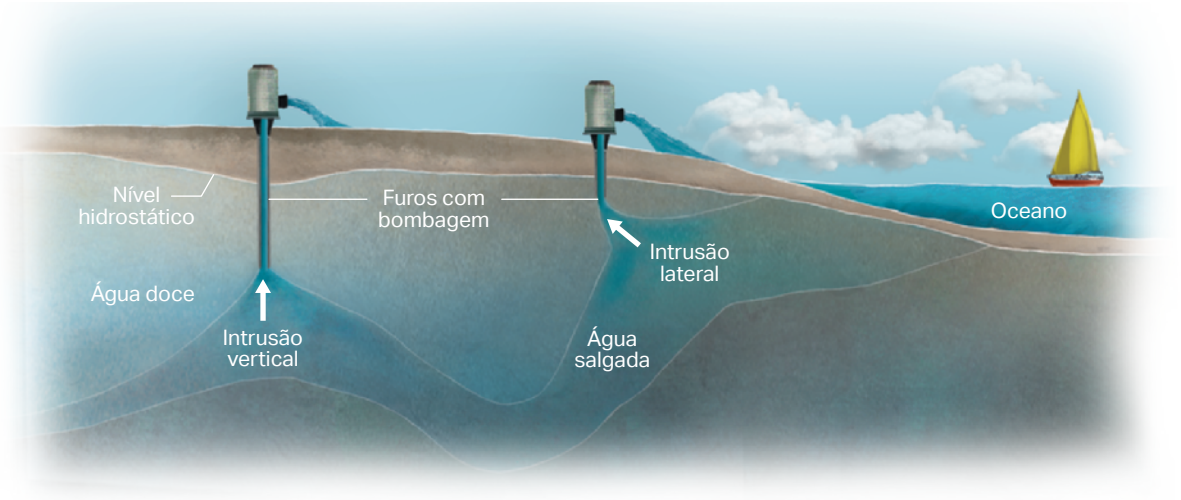


Fig. 9 Processos de intrusão salina em aquíferos costeiros.

Em países com escassez de fontes naturais de água doce, clima árido e grande disponibilidade de água salgada como os associados ao contexto insular, a **dessalinização** constitui uma opção que não pode ser negligenciada no suprimento das necessidades hídricas da população. Em Cabo Verde, cerca de 80% da água consumida pela população provém da dessalinização, realizada essencialmente através da técnica de osmose reversa. A dessalinização permite converter água salgada ou salobra em água doce através da remoção dos sais dissolvidos. Neste caso, a água é forçada a atravessar uma membrana semipermeável que retém os sais.

Responde tu

1. **Explica por que razão a exploração excessiva de aquíferos costeiros pode favorecer a intrusão salina.**
2. **Explica o papel da dessalinização no abastecimento de água em países insulares com clima árido na diminuição do risco de contaminação dos aquíferos por intrusão salina.**

Atividade prática

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são metas globais definidas pelas Nações Unidas.
A lista apresentada corresponde ao ODS 6 – Água Potável e Saneamento.

- Alcançar o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos.
- Alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e raparigas e daqueles que estão em situação de vulnerabilidade.
- Melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, os despejos e a libertação de substâncias perigosas, aumentando o tratamento, a reciclagem e a reutilização das águas residuais.
- Aumentar a eficiência no uso da água, assegurar extrações sustentáveis de água doce, reduzir a escassez hídrica e implementar a gestão integrada dos recursos hídricos, incluindo a cooperação entre territórios.
- Proteger e restaurar os ecossistemas relacionados com a água, como rios, aquíferos, lagos, zonas húmidas, florestas e montanhas.
- Reforçar a cooperação internacional e a capacitação dos países em desenvolvimento, promovendo tecnologias como a dessalinização, o tratamento de efluentes e a reutilização da água.
- Apoiar a participação das comunidades locais na melhoria da gestão da água e do saneamento.



Fig. 1

Em grupo, responde às seguintes questões:

1. Identifica dois objetivos ou indicadores do ODS 6 que estejam diretamente relacionados com a realidade de Cabo Verde.
2. Explica por que razão a escassez de recursos hídricos naturais constitui um desafio ao desenvolvimento sustentável de Cabo Verde.
3. Explica de que forma a exploração excessiva dos aquíferos costeiros pode comprometer a qualidade da água subterrânea.
4. Justifica a importância da dessalinização para a concretização do ODS 6 em Cabo Verde.
5. Explica de que forma a concretização do ODS 6 contribui para o cumprimento de outros ODS.
6. Elabora um *slogan* que evidencie a importância da água como fator central do desenvolvimento sustentável em Cabo Verde.

Atividade laboratorial Filtração

A água doce disponível à superfície e no subsolo pode conter partículas sólidas em suspensão resultantes de processos naturais ou de atividades humanas. A filtração é um método físico de separação que permite remover partículas sólidas de uma mistura líquida, sendo um processo essencial na formação da água subterrânea e no tratamento de água para consumo humano. Nesta atividade, vais simular um sistema de filtração através da construção de um filtro com diferentes camadas de materiais.

Material

- Garrafa de plástico transparente (1,5 L ou 2 L);
- Tesoura ou x-ato;
- Algodão ou gaze;
- Carvão ativado (ou carvão vegetal triturado e lavado);
- Areia fina lavada;
- Cascalho ou seixos pequenos;
- Copo ou gobelé;
- Água turva (água com terra ou sedimentos).

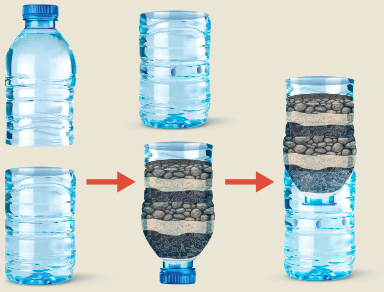


Fig. 1

Procedimento

1. Cortar a garrafa aproximadamente a meio.
2. Inverter a parte superior e colocá-la como funil sobre a parte inferior.
3. Colocar algodão ou gaze no gargalo.
4. Adicionar sucessivamente carvão ativado, areia fina e cascalho.
5. Colocar o recipiente de recolha por baixo do filtro.
6. Verter lentamente a água turva no filtro.
7. Observar e registar o aspeto da água antes e após a filtração.

Discussão

1. Qual é o papel de cada camada do filtro na remoção das partículas presentes na água?
2. De que forma este sistema de filtração se assemelha aos processos naturais de infiltração da água no solo?
3. Por que razão a água obtida após a filtração não pode ser considerada potável?
4. Que limitações apresenta este método de filtração quando comparado com os sistemas de tratamento de água utilizados para consumo humano?

Comunicação

Comunica os resultados da atividade através de um póster que inclua a descrição do filtro construído, as observações efetuadas e um alerta sobre as limitações deste processo no que diz respeito à segurança da água para consumo humano.

Atividade laboratorial Construção de um modelo de aquífero

A água subterrânea acumula-se e circula no subsolo em materiais com diferentes propriedades físicas, como a porosidade e a permeabilidade. A organização das camadas geológicas condiciona o movimento da água, a sua pressão e a forma como pode ser captada à superfície. Nesta atividade vais construir um modelo físico que permita simular a captação de água num aquífero.

Material

- Recipiente transparente;
- Sedimentos: areia fina e argila;
- Folha de alumínio;
- Tubo fino rígido ou palhinha;
- Cola;
- Água;
- Copo graduado ou regador pequeno;
- Espátula ou colher;
- Papel absorvente.

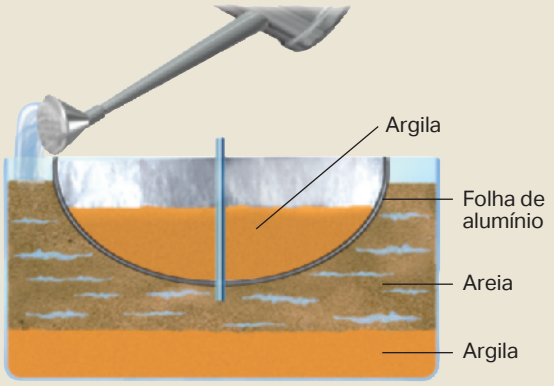


Fig. 1

Procedimento

1. Coloca no fundo do recipiente uma camada uniforme de argila ligeiramente comprimida e, sobre esta, uma camada de areia até cerca de 2 cm do topo do recipiente.
2. Com os dedos ou com uma espátula, modela uma concavidade na camada de areia, sem atingir a camada de argila e forra-a com uma folha de alumínio (figura 1).
3. Introduz verticalmente um tubo no centro da concavidade, atravessando a folha de alumínio até atingir a camada de areia inferior.
4. Veda cuidadosamente o tubo junto à folha de alumínio, utilizando cola.
5. Após a vedação estar estável, deposita uma nova camada de argila na cavidade.
6. Verte lentamente água sobre a superfície de areia, de modo a saturar esta camada.
7. Observa e regista o comportamento da água no interior do tubo.

Discussão

1. Qual é o papel das camadas de argila e da folha de alumínio no comportamento da água no interior do modelo?
2. Como se explica o comportamento da água no interior do tubo?
3. Com base nas observações realizadas, como classificas o tipo de aquífero representado neste modelo? Justifica.
4. O que aconteceria se o tubo estivesse cortado abaixo da superfície da camada de areia? Justifica.

Comunicação

Elabora o relatório da atividade.

Atividade laboratorial Dessalinização

Em regiões do planeta onde a disponibilidade de água doce é limitada, quer por condições climáticas, quer pela intrusão de água salobra ou salgada nos sistemas de água doce, a dessalinização constitui uma estratégia tecnológica que permite obter água doce a partir de água salgada. Esta solução tecnológica reveste-se de particular importância em regiões costeiras e países insulares.
Nesta atividade vais simular um sistema simples de dessalinização utilizando energia solar.

Material

- Tina de vidro (15-20 cm de diâmetro);
- Copo de vidro;
- Pequena base que permita elevar o gobelé;
- Água do mar;
- Película aderente transparente;
- Fita adesiva;
- Pequeno peso (ex.: pedra pequena);
- Fonte de calor natural (luz solar) ou lâmpada de aquecimento.

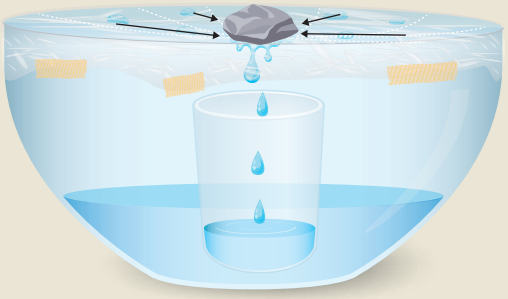


Fig. 1

Procedimento

1. Enche a tina com água salgada até cerca de metade da sua capacidade.
2. Coloca o copo no centro da tina, sobre a base, de forma a elevá-lo acima do nível da água salgada.
3. Cobre a tina com película aderente e fixa-a com fita adesiva às paredes da tina, de forma a vedar o dispositivo.
4. Coloca o peso no centro da película, diretamente acima do copo (figura 1).
5. Colocar o dispositivo ao sol ou sob uma fonte de calor.
6. Observa e regista, ao longo do tempo, as alterações observadas.
7. Quando a água encher o copo, retira cuidadosamente a película, substitui o copo e volta a repetir os passos 3 a 6 até se esgotar a água salgada.

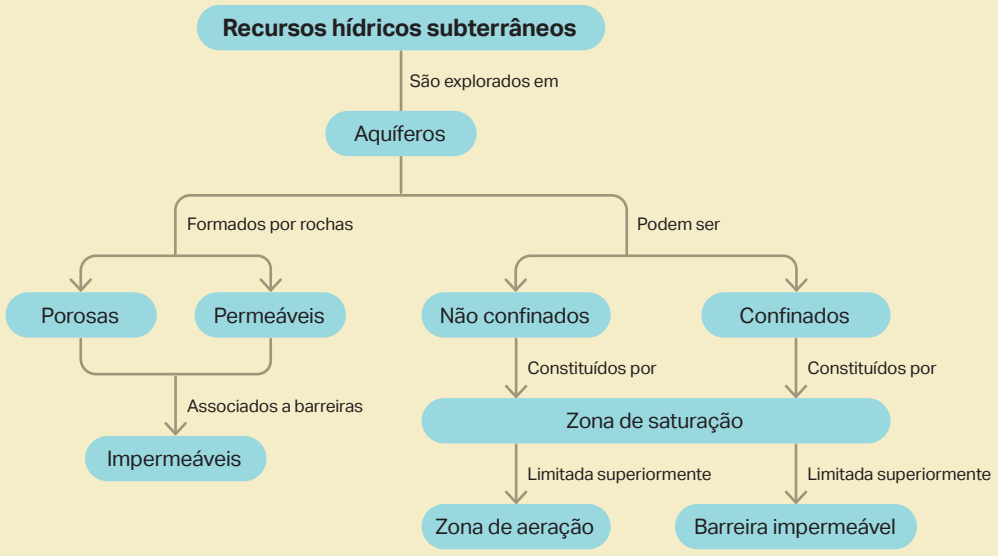
Discussão

1. Que processos do ciclo da água estão representados neste modelo de dessalinização?
2. A água recolhida no copo tem sabor salgado? justifica.
3. Qual é a função da película aderente e do peso colocado sobre esta?
4. A dessalinização é uma solução importante para a escassez de água, mas pode ter impactes ambientais. Indica impactes ambientais associados à dessalinização observáveis durante a realização desta atividade.

Comunicação

Elabora o relatório da atividade.

Mapa de conceitos



Em resumo...

Qual é a diferença entre hidrologia e hidrogeologia?	A hidrologia estuda a circulação e distribuição das águas terrestres, enquanto a hidrogeologia se dedica fundamentalmente ao estudo da água subterrânea e da sua circulação no subsolo.
O que caracteriza um aquífero?	Um aquífero é uma formação ou uma estrutura geológica porosa e permeável capaz de armazenar e permitir a circulação de água subterrânea.
Qual é a diferença entre um aquífero livre e um aquífero confinado?	Num aquífero não confinado a pressão hidrostática é igual ou próxima da pressão atmosférica, enquanto num aquífero confinado a água encontra-se a uma pressão superior à atmosférica devido à presença de camadas impermeáveis suprajacentes.
Qual é a diferença entre água mineral natural e água de nascente?	A água mineral natural apresenta uma composição química estável e propriedades específicas reconhecidas, enquanto a água de nascente é uma água subterrânea potável sem obrigatoriedade de composição química estável.

Teste formativo

Grupo I

1 **Na figura 1, a zona saturada do aquífero corresponde à**

(A) região acima do nível freático, onde os poros estão preenchidos por ar.

(B) região abaixo do nível freático, onde os poros estão totalmente preenchidos por água.

(C) área onde ocorre precipitação intensa.

(D) camada impermeável à circulação da água.

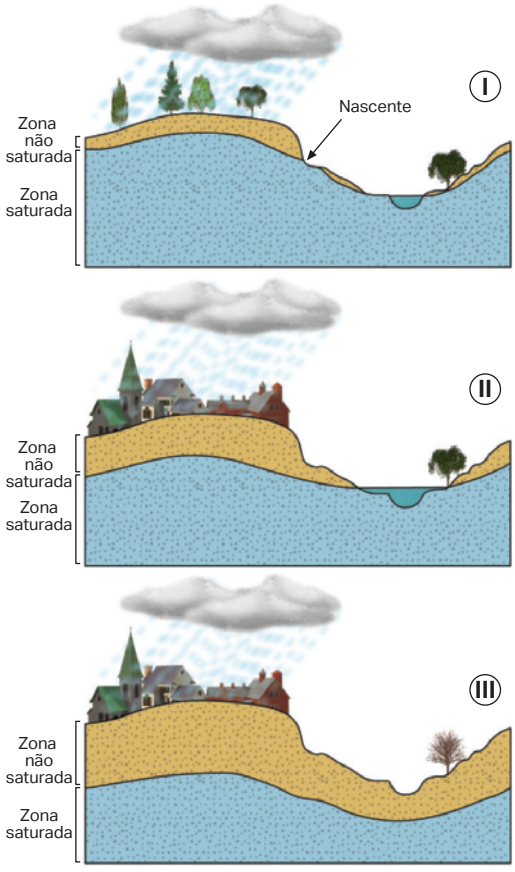


Fig. 1

2 **Relaciona, justificando, as situações I, II e III representadas com a disponibilidade de água subterrânea.**

3 **Nas situações II e III, a ausência de uma nascente deve-se ao facto de**

(A) o solo ser impermeável.

(B) o nível freático se encontrar acima da superfície.

(C) o nível freático se encontrar abaixo da superfície do terreno.

(D) não existir zona saturada.

4 **A exploração excessiva de água subterrânea pode conduzir a uma situação semelhante à representada em III porque**

(A) aumenta a taxa de precipitação.

(B) reduz a recarga do aquífero.

(C) provoca a descida do nível freático.

(D) transforma um aquífero livre num aquífero confinado.

5 **Indica, justificando com dados da figura, se o aquífero representado na figura 1 é um aquífero não confinado ou confinado.**

Teste formativo

Grupo II

Na ilha de Santiago, em Cabo Verde, a água subterrânea constitui a principal fonte de água doce para o abastecimento da população e para a agricultura. Os aquíferos da ilha desenvolvem-se em formações vulcânicas, apresentando uma estrutura complexa e uma forte vulnerabilidade à salinização, sobretudo nas zonas costeiras. A sobre-exploração dos aquíferos, associada ao aumento da procura de água, tem contribuído para a intrusão de água salgada do oceano, comprometendo a qualidade da água subterrânea.

Para avaliar a origem, a recarga e a evolução da qualidade da água subterrânea, foram utilizados métodos hidroquímicos e isotópicos, incluindo a análise de isótopos estáveis da água e datação por radiocarbono. Estes estudos, efetuados em diferentes pontos de amostragem, permitiram identificar diferentes idades da água subterrânea e confirmar que a recarga ocorre essencialmente durante episódios de precipitação intensa.

Os resultados evidenciam a necessidade de uma gestão sustentável dos aquíferos, de forma a garantir a disponibilidade de água doce a longo prazo, reduzir os riscos de intrusão salina e assegurar o abastecimento às populações num contexto de escassez hídrica.

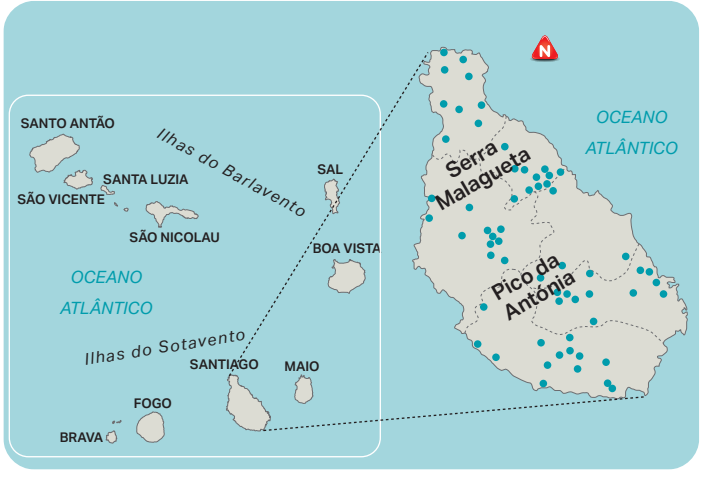


Fig. 2 Localização da ilha de Santiago (a) e localização dos pontos de amostragem na ilha de Santiago (b).

Adaptado de: Fonseca, C., Monteiro Santos, F. A., Paiva, I., & Henriques, M. J. (2022). *Radiocarbon dating and stable isotopes content in the assessment of groundwater recharge at Santiago Island, Republic of Cape Verde.* Water, 14(15), 2339. https://doi.org/10.3390/w14152339

1 **A intensa exploração de um aquífero na ilha de Santiago pode ter como consequência**

(A) a entrada de água do mar no aquífero.
(B) um aumento da pressão da água no aquífero.
(C) a diminuição da profundidade de captação da água.
(D) um alargamento da área de recarga.

2 **Os métodos isotópicos utilizados no estudo permitem**

(A) medir diretamente a quantidade de água disponível.
(B) identificar a idade da água subterrânea e os processos de recarga.
(C) remover sais dissolvidos da água.
(D) aumentar a recarga artificial dos aquíferos.

3 **Seleciona a opção que classifica corretamente as afirmações seguintes, relacionadas com os aquíferos.**

I. Num aquífero livre, em períodos de elevada precipitação, verifica-se um aumento da espessura da zona de aeração.
II. As camadas argilosas apresentam elevada permeabilidade.
III. Quanto maior for a superfície da zona de recarga, mais fácil será a contaminação do aquífero.

(A) I e II são falsas; III é verdadeira.
(B) I e III são falsas; II é verdadeira.
(C) I é falsa; II e III são verdadeiras.
(D) III é falsa; I e II são verdadeiras.

4 **Na ilha de Santiago, a principal fonte de água doce é**

(A) a água superficial armazenada em barragens.
(B) a precipitação direta.
(C) a água subterrânea armazenada em aquíferos.
(D) a água proveniente exclusivamente da dessalinização.

5 **Associa cada tipo de aquífero (coluna I) à característica correspondente (coluna II). Utiliza cada elemento da coluna II uma única vez.**

Coluna I	Coluna II
1. Aquífero livre **2.** Aquífero confinado **3.** Aquífero costeiro	**A.** Água subterrânea sob pressão muito superior à atmosférica. **B.** Nível freático próximo da superfície. **C.** Vulnerável à intrusão salina. **D.** Formação geológica impermeável. **E.** Exploração por minas subterrâneas.

6 **Relaciona a precipitação atmosférica com a recarga dos aquíferos na ilha de Santiago.**

7 **Justifica a importância da gestão sustentável dos aquíferos em Cabo Verde.**

5



Central Solar. Cabo Verde.



Recursos Energéticos

5.1. Combustíveis Fósseis

5.2. Energia Nuclear

5.3. Energia Geotérmica

5.4. Outras Fontes Energéticas

5.5. Exploração Sustentada dos Recursos Energéticos

Os recursos energéticos são fundamentais para o funcionamento das sociedades, o desenvolvimento económico e a melhoria da qualidade de vida. Estes recursos podem ser renováveis ou não renováveis à escala humana, dependendo da sua capacidade de regeneração, e a sua disponibilidade é condicionada por fatores naturais, tecnológicos e pela ação humana.

No arquipélago de Cabo Verde, um país insular com escassez de recursos energéticos fósseis, a aposta numa gestão sustentável da energia, com aproveitamento de fontes de energia renováveis, assume particular relevância.

5.1. Combustíveis Fósseis

Os combustíveis fósseis – carvão, petróleo e gás natural – provêm de organismos que viveram há milhões de anos.

Carvão

O **carvão**, uma rocha sedimentar maioritariamente constituída por carbono, é um combustível fóssil formado a partir de material vegetal que se acumulou abundantemente em ambientes anóxicos (pobres em oxigénio).

No passado, climas húmidos e quentes permitiram o desenvolvimento de extensos pântanos com densa vegetação. A vegetação morta que caía na água estagnada e anóxica desses pântanos não se decompunha totalmente, ficando acumulada e progressivamente soterrada por novas camadas de matéria vegetal. Essa acumulação de matéria orgânica parcialmente decomposta, com cerca de 50% de carbono, constitui a **turfa**.

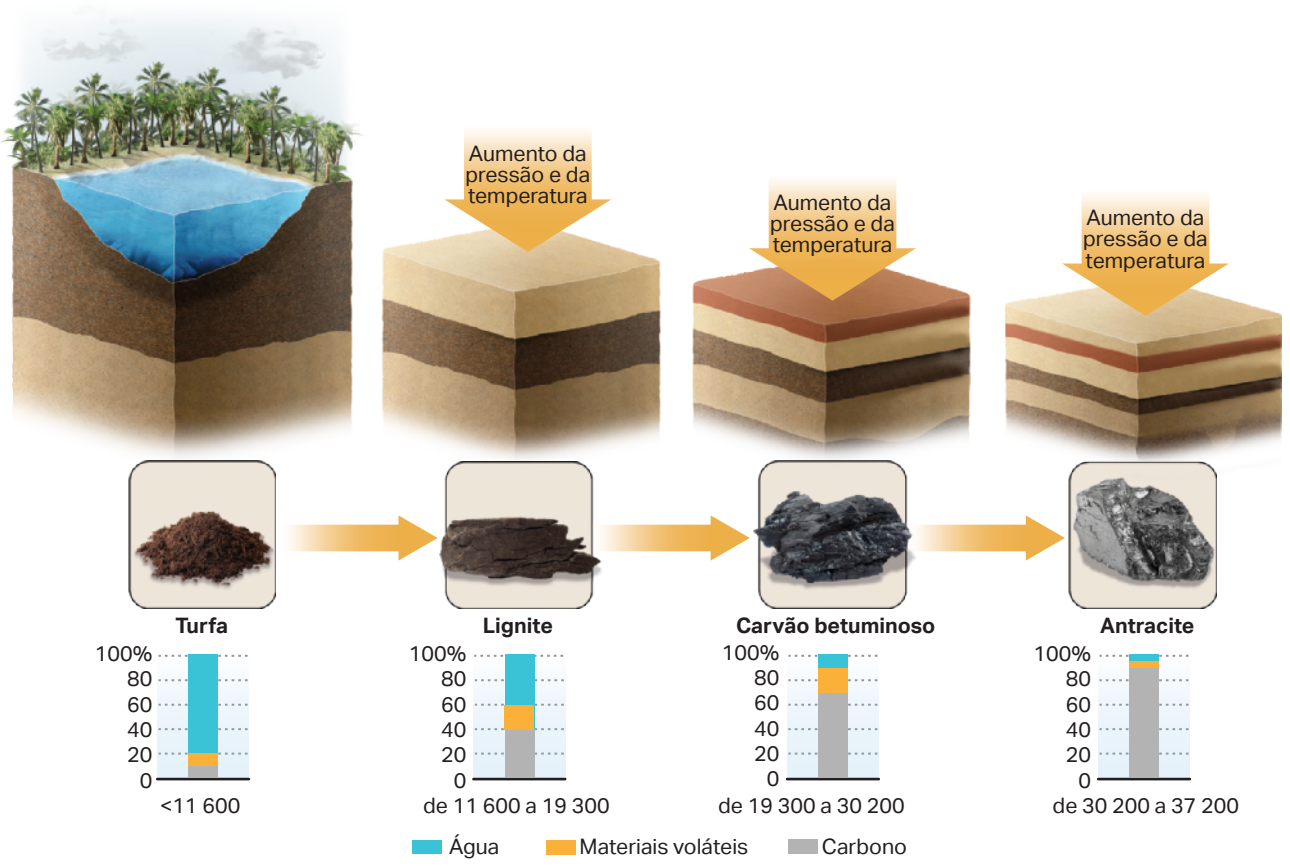


Fig. 1 Evolução dos carvões durante o processo de incarbonização. Os valores indicados na base de cada gráfico representam o valor calorífico de cada carvão, expresso em kJ/kg.

A turfa, quando sujeita a enterramento progressivo (4 a 10 km), sofre compactação e desidratação, sendo gradualmente aquecida e perdendo substâncias voláteis. Como resultado, o material residual torna-se progressivamente mais rico em carbono, num processo designado por **incarbonização** (figura 1).

A concentração de carbono no carvão reflete a temperatura à qual esteve sujeito durante a sua formação em profundidade – correspondendo maiores percentagens de carbono a temperaturas de formação mais elevadas (figura 2).



Fig. 2 Evolução da matéria orgânica vegetal durante o processo de incarbonização. A turfa, sujeita a soterramento progressivo, com aumento de pressão e temperatura, transforma-se sucessivamente em lignite, carvão betuminoso e antracite, verificando-se um aumento gradual da percentagem de carbono e da temperatura de formação.

Petróleo

O petróleo resulta da transformação de matéria orgânica, principalmente a componente lipídica proveniente do plâncton, após a deposição conjunta com sedimentos no fundo de mares e lagos, em ambientes pobres em oxigénio. A cobertura por sedimentos, que confere proteção contra a ação de organismos aeróbios, associada ao aumento da profundidade, da pressão e da temperatura, permite a lenta evolução dos restos orgânicos. Formam-se, assim, xistos negros, nos quais a matéria orgânica se converteu em querogénio.

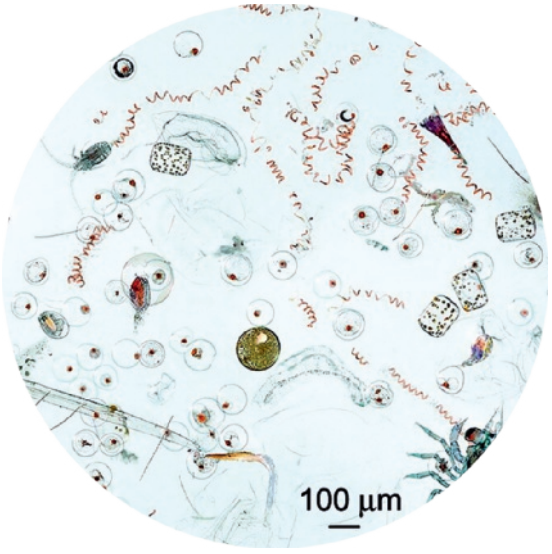


Fig. 3 Plâncton marinho. Havai. EUA.

Por Jay Nadeau, Chris Lindensmith, Jody W. Deming, Vicente I. Fernandez, and Roman Stocker. Image courtesy of David Liittschwager – CC BY-SA 4.0

A formação de petróleo ocorre quando estes materiais são sujeitos, em profundidade, a um intervalo relativamente estreito de temperaturas, geralmente superiores a 90 ºC, designado por janela do petróleo. A profundidade a que esta "janela" ocorre é variável, sendo maior em regiões com gradiente geotérmico baixo.

O querogénio transforma-se em hidrocarbonetos na **rocha-mãe**. Estes, devido à sua baixa densidade, migram para camadas superiores, até locais que permitem o seu armazenamento, designadas armadilhas petrolíferas. As armadilhas petrolíferas são constituídas por uma **rocha-armazém**, que contém os hidrocarbonetos, e são limitadas superiormente por uma rocha impermeável, designada por **rocha de cobertura** (figura 4).

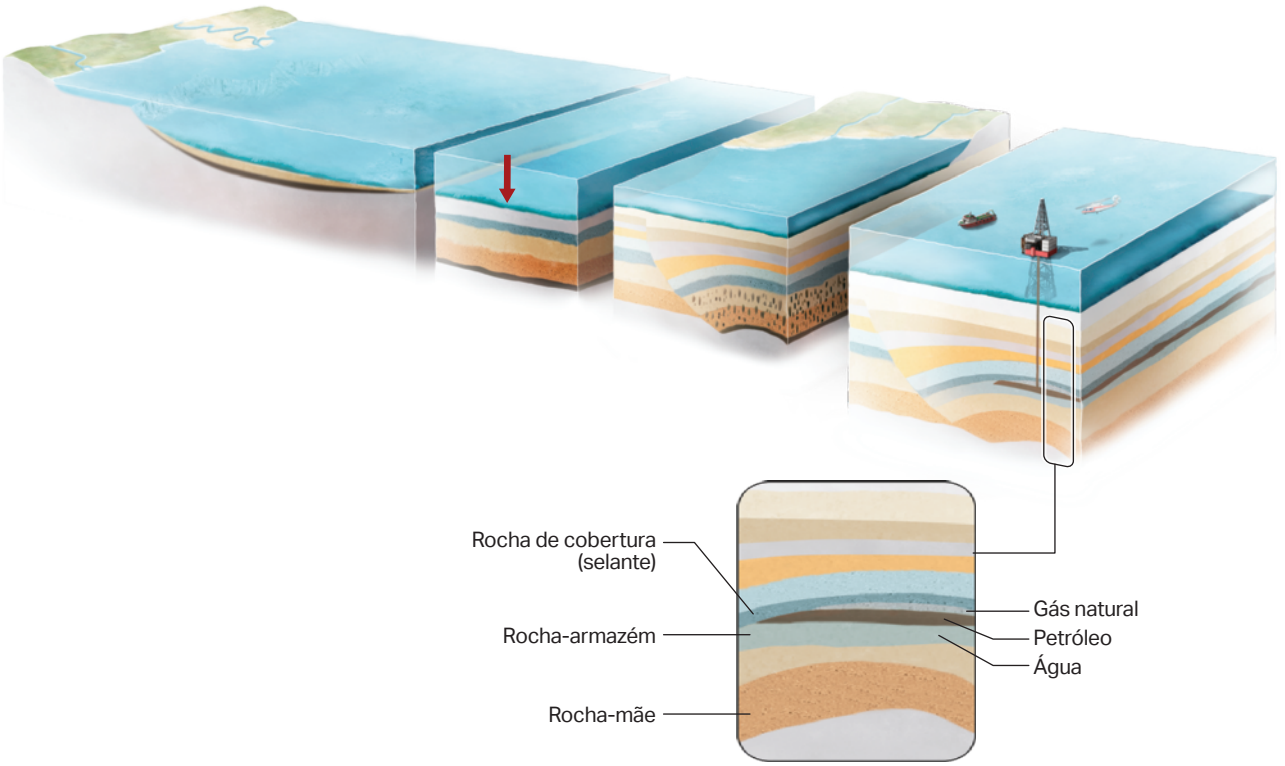


Fig. 4 Esquema simplificado da formação de depósitos de hidrocarbonetos.

Gás natural

O gás natural é constituído essencialmente por hidrocarbonetos voláteis. Tal como o petróleo, tem origem na transformação de matéria orgânica, sobretudo planctónica, depositada em ambientes sedimentares pobres em oxigénio. Contudo, a sua formação ocorre a temperaturas mais elevadas do que as do petróleo, correspondendo a estádios mais avançados da maturação térmica do querogénio. Após a sua formação, o gás natural pode acumular-se em reservatórios sedimentares de hidrocarbonetos ou permanecer retido em rochas de baixa permeabilidade, como os xistos argilosos – gás de xisto (*shale gas*).

A formação e a utilização dos combustíveis fósseis estão intimamente relacionadas com o ciclo do carbono. O carbono presente na atmosfera ou dissolvido na água é fixado pelos seres fotossintéticos, integrando a matéria orgânica que, ao longo de milhões de anos e em condições geológicas específicas, pode originar carvão, petróleo e gás natural. Através da sua combustão, sobretudo por ação antrópica, estes combustíveis devolvem à atmosfera o carbono previamente armazenado.

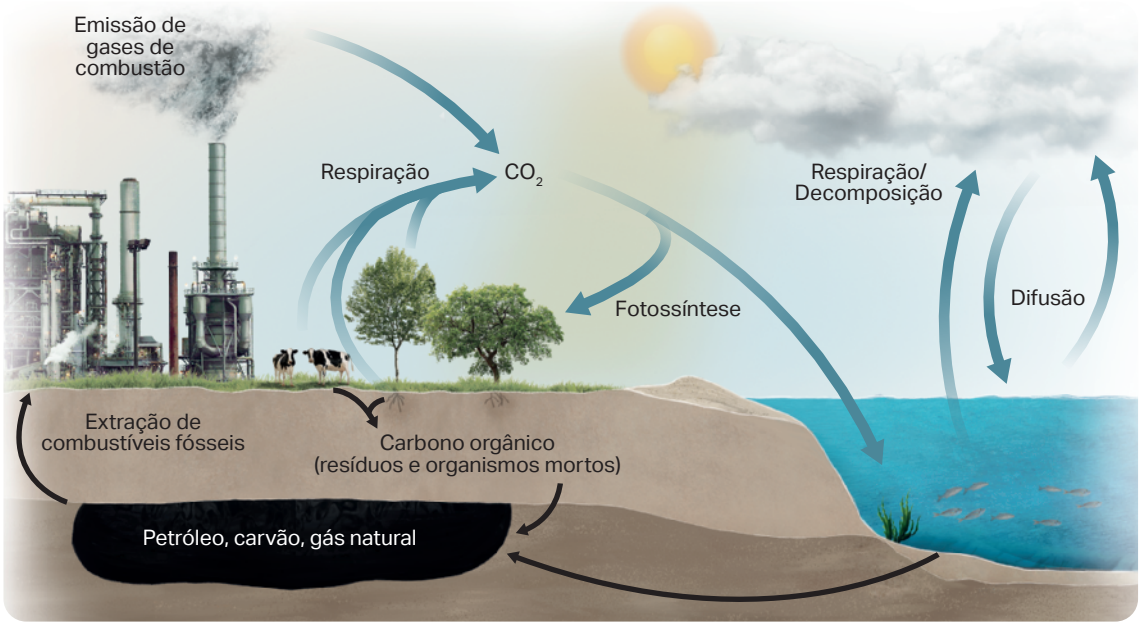


Fig. 5 Ciclo do carbono.

Os combustíveis fósseis não são os únicos recursos energéticos, mas são os únicos que correspondem a materiais derivados de organismos que viveram no passado geológico.

Responde tu

1. **Discute a natureza (orgânica ou inorgânica) do carbono nos diferentes reservatórios do ciclo do carbono.**
2. **Explica a relação entre a formação e a utilização dos combustíveis fósseis e o ciclo do carbono.**
3. **Explica de que forma a ação humana pode provocar um desequilíbrio no ciclo do carbono, considerando as diferenças de escala temporal entre os processos naturais e antrópicos.**
4. **Justifica a classificação dos combustíveis fósseis como recursos energéticos não renováveis.**

5.2. Energia Nuclear

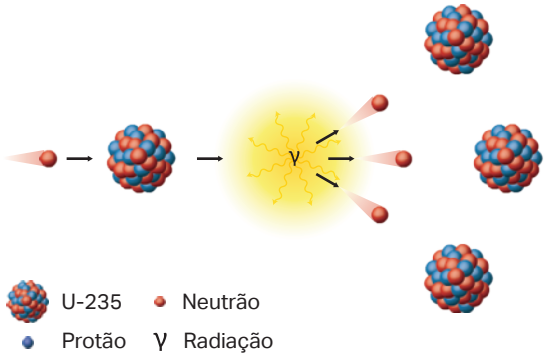


Fig. 6 Fissão nuclear.

A energia nuclear resulta da fissão de átomos de urânio-235 radioativo, obtido através de minerais como a autunite. Durante a fissão nuclear, uma pequena quantidade de massa transforma-se numa grande quantidade de energia – energia nuclear. O calor libertado é utilizado na produção de vapor a alta pressão, utilizado em turbinas para produção de eletricidade.

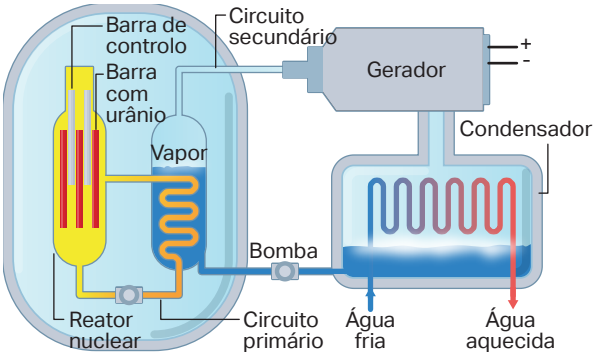


Fig. 7 Esquema de um reator nuclear.



Fig. 8 Central nuclear. Grécia.

5.3. Energia Geotérmica

A libertação do calor interno da Terra – geotermia – é mais intensa em regiões onde o gradiente geotérmico é elevado, ou seja, regiões de vulcanismo ativo e zonas de rifte.

A energia geotérmica resulta do aproveitamento do calor do interior da Terra, transportado até à superfície por um fluido, geralmente água.

De acordo com a temperatura dos fluidos à superfície, a energia geotérmica pode ser classificada como:

- **energia geotérmica de alta entalpia**, explorada em regiões vulcânicas para produção de eletricidade e calor, com temperaturas do fluido geotérmico superiores a 150 °C.
- **energia geotérmica de baixa entalpia**, que utiliza um fluido geotérmico muito inferior a 150 °C e permite o aquecimento e arrefecimento de edifícios.



Fig. 9 Central geotérmica de Larderello, Itália, a mais antiga do mundo, está em funcionamento desde 1911.

O aquecimento da água em profundidade pode resultar da proximidade de corpos magmáticos e da circulação da água para zonas mais profundas através de falhas e fissuras.

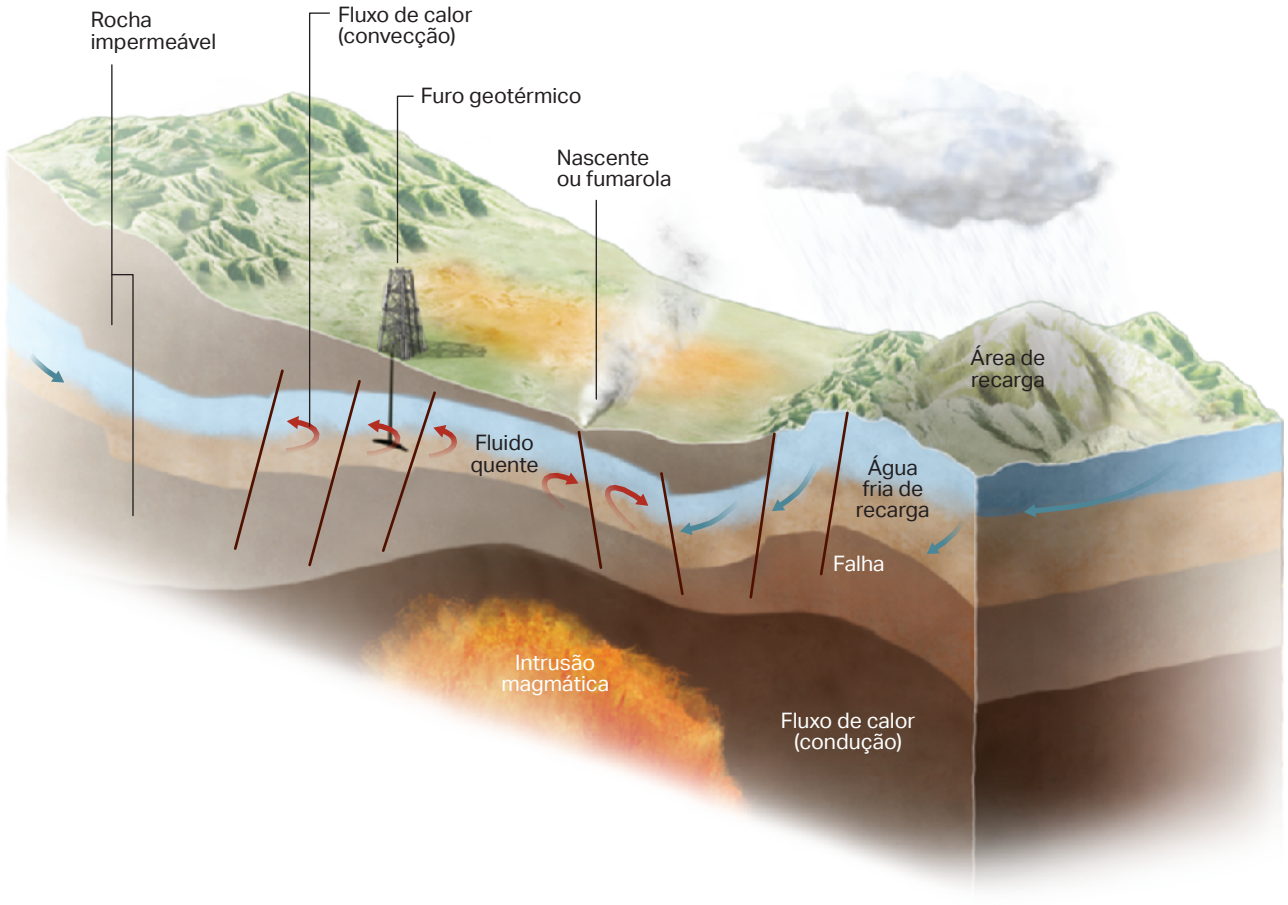


Fig. 10 Circulação e aquecimento da água em profundidade.

5.4. Outras Fontes Energéticas

A humanidade há muito utiliza a água e o ar em movimento para produzir energia. São disso exemplo os moinhos de vento e de água. Contudo, no último século, os avanços científicos e tecnológicos permitiram utilizar estas fontes de energia para acionar geradores de produção de energia elétrica (energia eólica e energia hidroelétrica). A energia assim obtida é considerada energia limpa, ou verde, no sentido em que a sua produção não liberta poluentes químicos ou radioativos e não consome recursos limitados, sendo, por isso, renovável. Não obstante, a sua utilização não é totalmente isenta de impactes ambientais. Por esse motivo, o aproveitamento destas fontes de energia deve ser planeado de forma sustentável, conciliando a produção de energia com a proteção do ambiente.

A **energia das ondas** resulta do movimento das ondas do mar, que é gerado essencialmente pela ação do vento à superfície dos oceanos. Trata-se de uma forma de energia renovável irregular e variável, uma vez que depende da intensidade e duração do vento.

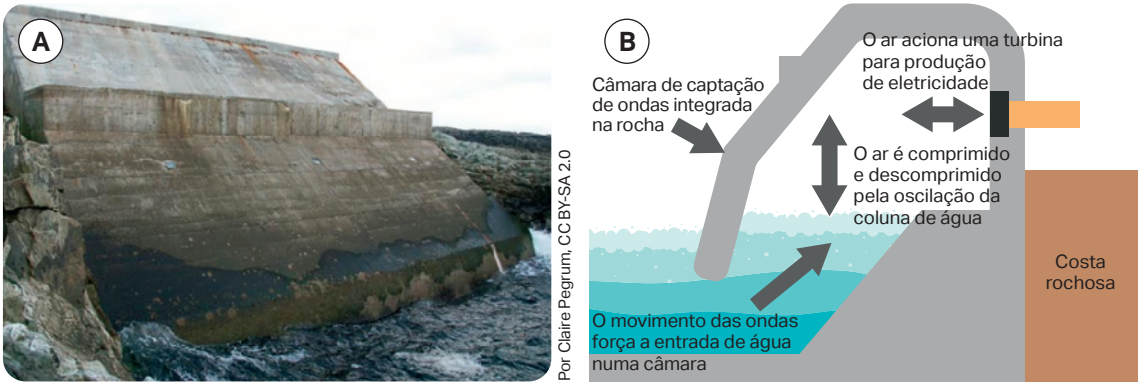


Fig. 11 Central de energia das ondas LIMPET, situada na ilha de Islay (Escócia), a primeira instalação do mundo à escala comercial para aproveitamento da energia das ondas, com uma potência máxima de cerca de 500 kW e ligação à rede elétrica nacional. Fotografia (A) e esquema representativo do modo de funcionamento (B).

A **energia das marés** resulta das variações periódicas do nível do mar, provocadas principalmente pela atração gravitacional da Lua. Trata-se de uma forma de energia renovável regular e previsível, uma vez que depende de ciclos astronómicos bem definidos.

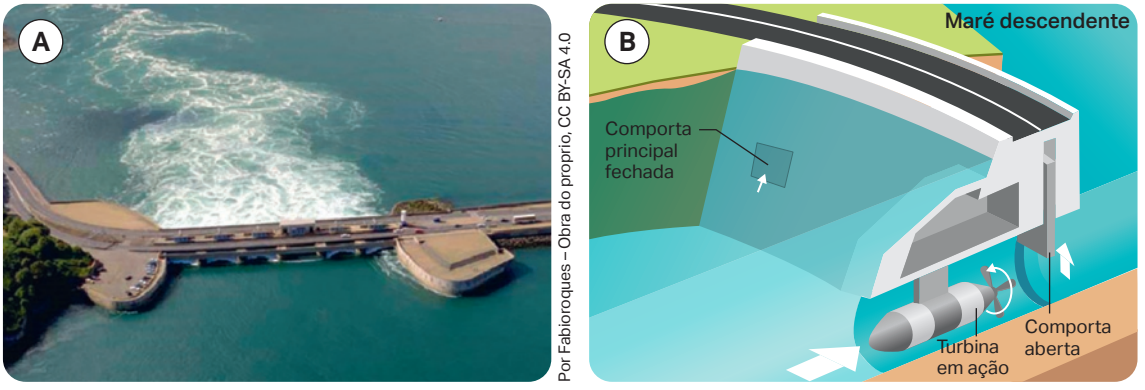


Fig. 12 Central de energia maremotriz de La Rance, França. Quando a maré sobe, a água passa por uma turbina e enche um reservatório e, quando baixa, a água sai, movimentando a mesma turbina, diretamente ligada a um sistema de conversão de produção de energia elétrica. Fotografia (A) e esquema representativo do modo de funcionamento (B).

Responde tu

1. Classifica a energia das ondas e a energia das marés quanto à sua renovabilidade.
2. Compara a energia das ondas e a energia das marés.

A produção de energia a partir do vento – energia eólica – requer a identificação de regiões, em terra ou ao largo da costa, com ventos constantes, para construção de parques eólicos. Estes parques são constituídos por torres equipadas com turbinas eólicas.

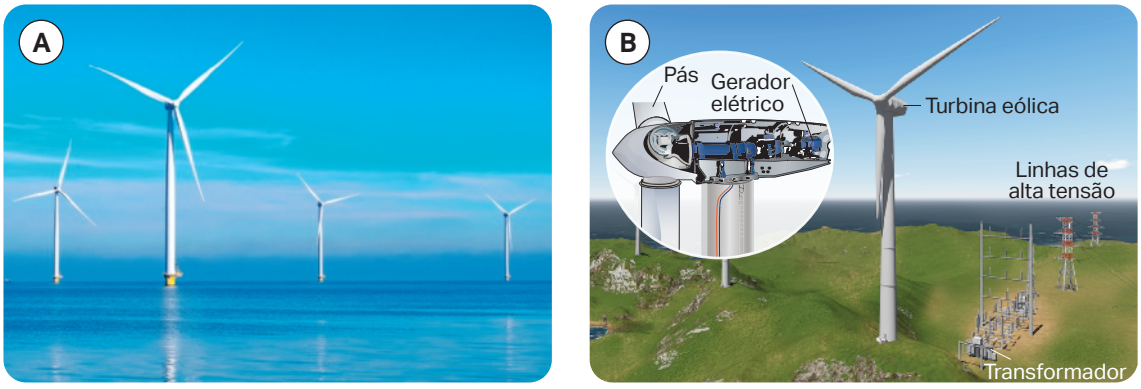


Fig. 13 Parque eólico *offshore*. Países Baixos – fotografia (A) e esquema representativo do modo de funcionamento geral de um parque eólico (B).

O Sol fornece à Terra uma enorme quantidade de energia, contudo, embora a quantidade total de energia solar que incide na Terra seja muito superior às necessidades energéticas da humanidade, a sua conversão eficiente em energia elétrica continua a ser um desafio.

A energia solar pode ser transformada em energia elétrica através de duas formas principais: a utilização de painéis fotovoltaicos, que convertem diretamente a radiação solar em eletricidade, e a utilização de centrais solares termoelétricas, que utilizam o calor do Sol para produzir eletricidade.

As células fotovoltaicas são feitas de materiais semicondutores, geralmente cristais de silício. É o fluxo de eletrões através destas células que gera eletricidade.

Cabo Verde tem vindo a investir cada vez mais em energia solar fotovoltaica como parte da sua transição energética e para reduzir a dependência de combustíveis fósseis importados. Existem condições naturais favoráveis à produção de eletricidade a partir do Sol, uma vez que é um país que possui forte radiação solar ao longo de todo o ano.

Até ao final de 2023, a capacidade instalada de energia solar em Cabo Verde era de aproximadamente 26 megawatts (MW). O país tem, atualmente, metas de alcançar, primeiro, 30 % de energia renovável até 2026 e, mais ambiciosamente, 50 % até 2030.



Fig. 14 Central fotovoltaica. Cabo Verde.

As instalações solares termoelétricas utilizam várias técnicas para concentrar a energia do Sol como fonte de calor. Em linhas gerais, o calor é utilizado para ferver água, de modo a acionar uma turbina a vapor que gera eletricidade.

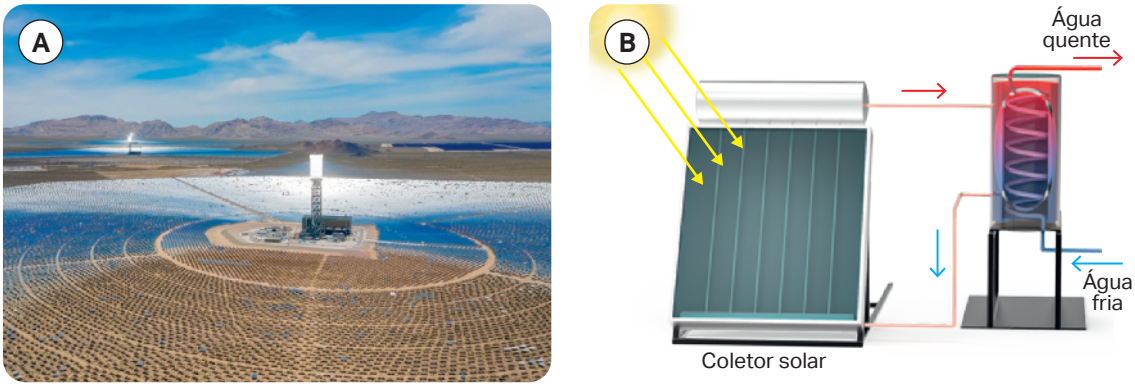


Fig. 15 Ivanpah – a maior central solar térmica do mundo, EUA – fotografia (A) e esquema representativo do modo de funcionamento geral de um coletor solar (B).

5.5. Exploração Sustentada dos Recursos Energéticos

A exploração dos recursos energéticos tem acompanhado o desenvolvimento das sociedades e a consequente crescente exigência energética necessária às atividades diárias das populações.

Tanto a exploração como a transformação e utilização dos recursos energéticos acarretam consequências que se traduzem, por vezes, em impactes negativos para o ambiente:

- **Combustíveis fósseis** – estão na origem da poluição do ar, da água e dos solos e contribuem para o aumento do efeito de estufa com consequente aquecimento global.
- **Energia nuclear** – em caso de acidente, a fuga de radioatividade pode contaminar os ecossistemas, provocando graves danos ambientais e redução da biodiversidade.
- **Energia eólica** – pode provocar poluição visual e sonora e, em alguns casos, causar a morte de aves e morcegos.
- **Energia solar** – implica a ocupação de extensas áreas naturais, podendo conduzir à fragmentação ou destruição de *habitats*.
- **Energia geotérmica** – a hipermineralização dos fluidos geotérmicos pode contaminar águas superficiais ou subterrâneas aquando da sua rejeição após uso, podendo ainda ocorrer libertação de gases sulfurosos para a atmosfera.

Outra consequência resultante da exploração dos recursos energéticos é a diminuição da disponibilidade ou, eventualmente, o esgotamento dos recursos não renováveis.

Atividade prática

Analisa o potencial de diferentes recursos energéticos em Cabo Verde e reflete sobre a sua viabilidade e sustentabilidade.

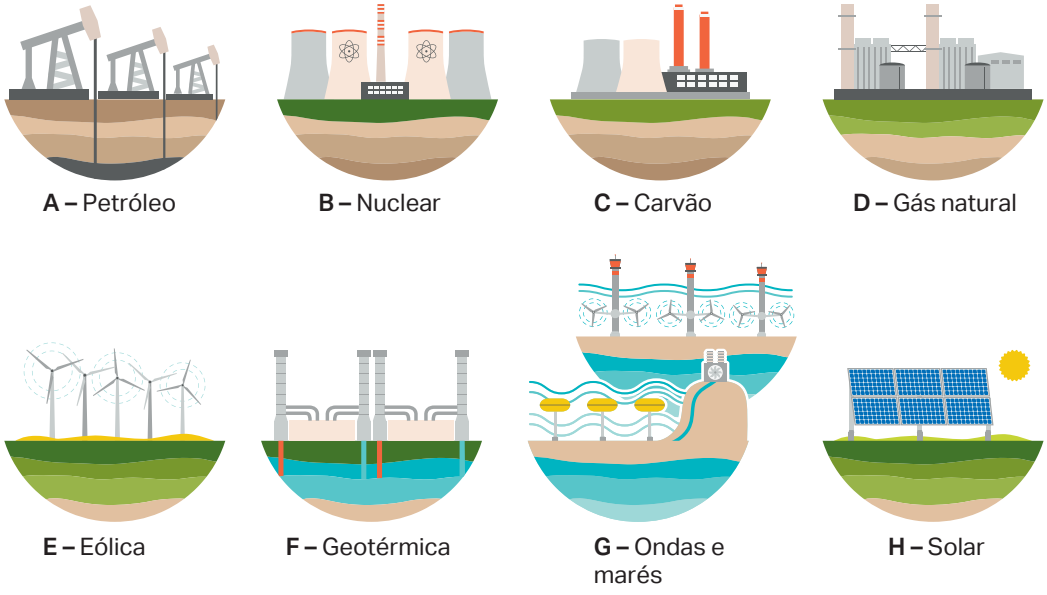


Fig. 1 Fontes de energia.

1. **Organização da turma em 8 grupos, de modo que cada grupo analise uma das fontes de energia (de A a H).**

2. **Cada grupo segue as seguintes etapas de trabalho/pesquisa:**

   (a) Modo de funcionamento associado à produção de energia elétrica.

   (b) Potencial da fonte de energia em Cabo Verde, tendo em conta:
   – condições naturais (clima, geologia, posição geográfica);
   – disponibilidade do recurso;
   – existência (ou não) de exploração atual.

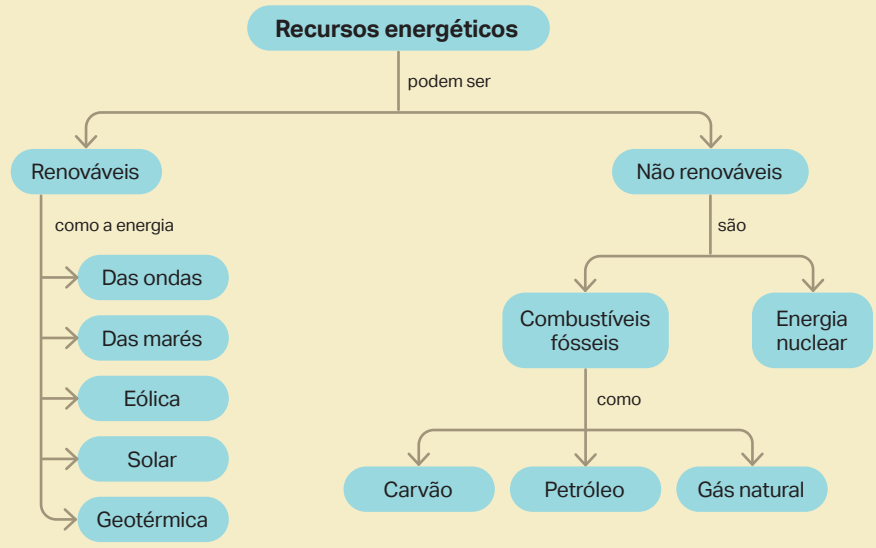
   (c) Limitações técnicas ou económicas e impactes ambientais associados à exploração.

   (d) Papel da fonte de energia no desenvolvimento sustentável de Cabo Verde e contribuição para a redução da dependência energética externa.

3. **Comunicação à turma.**

4. **Organização dos dados recolhidos por todos os grupos sob a forma de um folheto informativo ou de um documentário.**

Mapa de conceitos



Em resumo...

O que são combustíveis fósseis?	Os combustíveis fósseis são recursos energéticos de origem orgânica, formados a partir da transformação de organismos que viveram há milhões de anos, como o carvão, o petróleo e o gás natural.
O que é a energia nuclear?	A energia nuclear é a energia libertada durante reações nucleares, como a fissão de núcleos atómicos, utilizada para produzir energia elétrica.
O que é a energia geotérmica?	A energia geotérmica é a energia obtida a partir do calor interno da Terra.
O que é a energia das ondas?	A energia das ondas é a energia aproveitada a partir do movimento das ondas geradas pelo vento à superfície dos oceanos.
O que é a energia das marés?	A energia das marés é a energia resultante do movimento periódico das massas de água provocado pela atração gravitacional da Lua e do Sol.
O que é a energia eólica?	A energia eólica é a energia produzida a partir do movimento do ar, convertida em eletricidade por aerogeradores.
O que é a energia solar?	A energia solar é a energia obtida a partir da radiação emitida pelo Sol, podendo ser convertida em energia térmica ou elétrica.

Teste formativo

No arquipélago dos Açores, o campo geotérmico do vulcão do Fogo desenvolve-se no flanco norte do vulcão do Fogo, na ilha de São Miguel. As centrais geotérmicas da Ribeira Grande e do Pico Vermelho exploram um reservatório geotérmico profundo (a cerca de 800 m de profundidade no setor CL) – com temperaturas de reservatório entre 220° e 250°C -, convertendo o seu calor em eletricidade. Com uma produção conjugada de 23 MWe nas duas centrais, a energia geotérmica contribui com cerca de 42% da produção de energia elétrica da ilha de São Miguel, representando cerca de 22% a nível do arquipélago. Para além do aproveitamento de um recurso endógeno, a energia geotérmica contribui para o fortalecimento da economia regional, fomenta a criação de emprego e contribui, ainda, para a divulgação e promoção dos Açores por via da tecnologia e inovação associadas. Constitui, ainda, um polo de atração para turistas e grupos escolares.

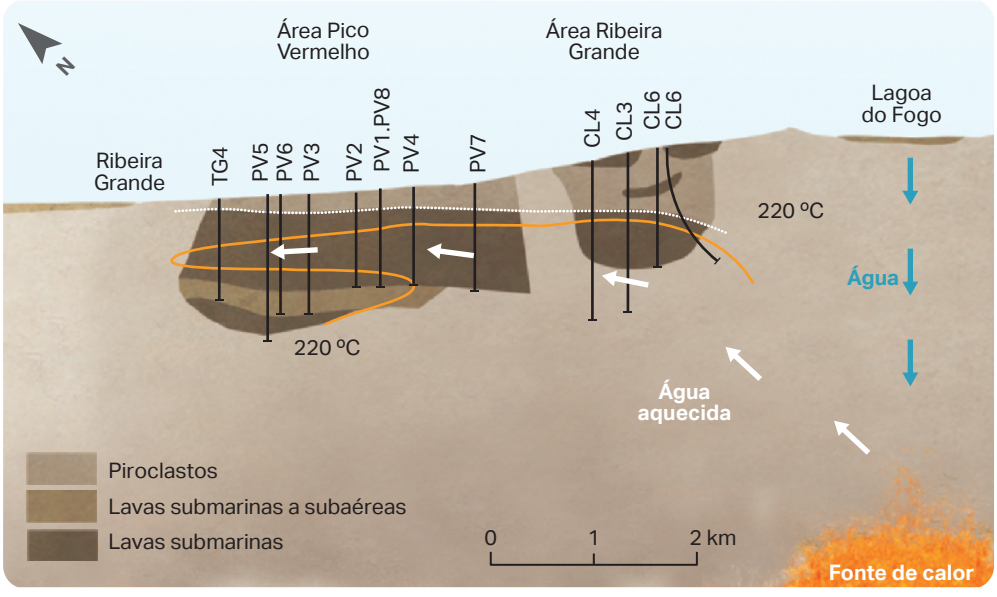


Fig. 1 Corte geológico simplificado do sistema geotérmico da Ribeira Grande. A linha cor de laranja representa pontos cuja temperatura é 280 ºC.

Adaptado de: Associação Geoparque Açores. (2025). *Campo Geotérmico do Vulcão do Fogo* (Geossítio 109). Azores Geopark.

1 **O recurso energético explorado pelas centrais geotérmicas referidas é classificado como**

(A) não renovável e de baixa entalpia.
(B) renovável e de baixa entalpia.
(C) não renovável e de alta entalpia.
(D) renovável e de alta entalpia.

Teste formativo

2 **A existência de um campo geotérmico produtivo na ilha de São Miguel está diretamente relacionada com**

(A) a presença de rochas sedimentares recentes.
(B) a ação erosiva do oceano.
(C) o contexto vulcânico ativo da região.
(D) a elevada pluviosidade anual.

3 **As centrais geotérmicas como a do Pico Vermelho**

(A) apresentam baixos custos de instalação e de manutenção.
(B) localizam-se em locais de elevado fluxo térmico.
(C) podem ser instaladas em qualquer local do mundo.
(D) são altamente poluentes.

4 **Comparativamente a outras fontes renováveis, a energia geotérmica apresenta como principal vantagem**

(A) a inexistência de impactes ambientais.
(B) a produção apenas durante o dia.
(C) a independência face às condições meteorológicas.
(D) a possibilidade de instalação em qualquer região.

5 **O aproveitamento da energia geotérmica nos Açores contribui para a redução**

(A) da atividade vulcânica.
(B) da dependência energética externa.
(C) da temperatura do reservatório.
(D) da mineralização da água subterrânea.

6 **Associa cada tipo de recurso energético (coluna I) à característica correspondente (coluna II). Utiliza cada elemento da coluna II uma única vez.**

Coluna I	Coluna II
1. Combustíveis fósseis **2.** Energia geotérmica **3.** Energia eólica	**A.** Resulta do calor interno da Terra. **B.** Baseia-se na atração gravitacional da Lua. **C.** Recurso energético não renovável de origem orgânica. **D.** Depende do movimento do ar. **E.** Depende diretamente da radiação solar.

7 **A produção de energia elétrica não é a única vantagem da instalação de uma central geotérmica. Explica porquê, utilizando o exemplo associado à exploração da energia geotérmica no campo geotérmico do vulcão do Fogo.**

Atividade prática

As saídas de campo são incontornáveis no trabalho de um geólogo ou estudante de Geologia, permitindo a observação direta de materiais, estruturas e processos em ambiente natural. É no terreno que se recolhem dados fundamentais para compreender a história geológica e a dinâmica atual de uma região.

Com o objetivo de estudar as características geológicas de uma área da ilha onde se localiza a tua escola, vais planificar e realizar uma saída de campo. Vais realizar esta atividade em três etapas: pré-saída, saída e pós-saída.

1 Pré-saída

1.1. Escolha da área a estudar.

1.2. Definição de aspetos a observar (por exemplo: tipos de rochas, estruturas geológicas, formas de relevo, evidências de processos geológicos, possíveis riscos naturais).

1.3. Seleção de materiais adequados (por exemplo: caderno de campo, lápis/caneta, telemóvel, régua/bússola).

1.4. Definição da metodologia a usar na observação e registo.

1.5. Planificação do percurso no terreno.

2 Saída

2.1. Observação e registo.

2.2. Interpretação preliminar (o que identificas e como se relaciona com os conteúdos estudados?).

3 Pós-saída

3.1. Interpretação e elaboração de um texto/síntese esquemática onde apresentes as conclusões do teu grupo de trabalho.

3.2. Avaliação de risco (identifica possíveis riscos geológicos na área, justificando com base nas observações).

3.3. Comunicação do resultado da saída de campo na forma de um relatório, póster, vídeo, exposição, etc.



Não te esqueças de levar:

- Água;
- Uma refeição ligeira (de acordo com a duração da saída);
- Chapéu;
- Caixa pequena de primeiros socorros;
- Proteção para a chuva (caso necessário);
- Caderno de campo;
- Telemóvel;
- ...

Riscos Naturais

A origem vulcânica do arquipélago de Cabo Verde, aliada à sua localização geográfica e às suas características climáticas, torna-o exposto a diversos riscos naturais, com impactes sociais, económicos e ambientais.

Cheias / inundações
Sem rios permanentes, as cheias resultam de chuvas intensas e de curta duração. São agravadas por encostas íngremes, solos impermeáveis e pouca vegetação. Provocam fortes enxurradas, destruição de infraestruturas e perdas humanas.

Seca
Fenómeno frequente, que é o risco natural com maior impacte socioeconómico, resultante da diminuição prolongada da precipitação. Associada à variabilidade climática do Sahel, afeta a agricultura e a água disponível, podendo intensificar-se com as alterações climáticas.

Vulcanismo
O arquipélago tem origem vulcânica associada a um *hotspot*, com atividade mais recente nas ilhas ocidentais (Fogo, Brava, Santo Antão).





Incêndios florestais
Podem causar impactes sociais, económicos e ambientais elevados, resultando de causas naturais (trovoadas) e, sobretudo, de ações humanas. O risco depende da meteorologia (temperatura, vento, humidade), topografia (declive) e vegetação (combustível).

Sismos
Associados ao contexto vulcânico intraplaca *hotspot*, podem ocorrer: sismos vulcânicos (frequentes e de baixa magnitude) e sismos tectónicos. No *hotspot* de Cabo Verde, a elevação do fundo oceânico e a proximidade da margem africana podem alterar o campo e tensões regionais.

Movimentos de vertente
Ocorrem em todo o arquipélago, sobretudo em ilhas de relevo acidentado, sob a forma de quedas, deslizamentos e escoadas. São favorecidos por chuvas intensas, declives acentuados, solos pouco coesos e pouca vegetação, podendo evoluir para fluxos de detritos.

Erosão costeira
Nas zonas costeiras atuam processos de erosão e acumulação marinha e continental. A pressão antrópica no litoral torna-o vulnerável a fenómenos extremos e alterações climáticas. A ação das ondas, tempestades e a reduzida plataforma continental favorecem a erosão costeira e o recuo da linha de costa.

Atividade prática

A Geologia em Cabo Verde tem sido alvo de diversos estudos científicos, envolvendo geólogos, instituições e projetos de investigação que contribuem para o conhecimento do arquipélago e para a mitigação de riscos naturais.

1. **Realiza uma pesquisa sobre investigação geológica em Cabo Verde, incluindo:**
   - geólogos ou investigadores relevantes;
   - instituições (universidades, laboratórios, etc.);
   - projetos de investigação;
   - estudos e publicações científicas;
   - áreas de estudo (ex.: vulcanismo, riscos naturais, recursos geológicos).

2. **Apresenta o resultado da tua pesquisa à comunidade escolar através da organização de uma exposição ou de um pequeno vídeo/documentário.**



Sónia Silva Victória nasceu a 28 de dezembro de 1970 na cidade de Luanda, Angola e é filha de pais cabo-verdianos. Viajou para Portugal em criança, tendo realizado os seus estudos primários a universitários. Frequentou a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (Portugal), acabando por concluir a Licenciatura em Geologia em 1997. Em 2002, iniciou as funções de docência na área da Geologia no Instituto Superior de Educação e, em 2006, realizou o curso de Mestrado em Geociências, na Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra (Portugal). Prestou com êxito provas de Doutoramento em Engenharia Geológica – ramo Ambiente e Ordenamento – na Universidade de Coimbra. Ao longo de mais de duas décadas tem vindo a impulsionar a sua área científica, tendo publicado vários artigos de pesquisa e participado em projetos de pesquisa e extensão universitária. Foi a coordenadora científica nacional da erupção vulcânica na ilha do Fogo em 2014/15. Desde 2008 é docente e investigadora da Universidade de Cabo Verde e, atualmente, é diretora do Centro de Investigação em Desenvolvimento Local e Ordenamento do Território,

Ser geólogo é...



Por Sowjaka – Obra do próprio, CC BY 4.0

Fig. 1 Património estratigráfico do Pérmico no geoparque Yangan-Tau. República do Bascortostão.



Fig. 2 Tarolo de sondagem.



Fig. 3 Desfiladeiro. Jordânia.



Fig. 4 Cratera Barringer. Formada há 50 000 anos por um siderito. EUA.

Ser geólogo é...

Saber onde construir em segurança.



Fig. 5 Alicerces de construção de turbina eólica. Alemanha.

Explorar os recursos da Terra de forma sustentável.



Fig. 6 Mina subterrânea. Austrália.

Prevenir e, por vezes, prever riscos naturais.



Fig. 7 Erupção na proximidade de uma localidade. Canárias.

Proteger o ambiente e o património natural.



Fig. 8 *Prismatic eye pool*, Yellowstone. EUA.

...ser formador, educador, professor... para a constituição de bons cidadãos e as boas práticas de cidadania! E muito, muito mais...

Geologia 12.º ano

Criação intelectual
Maria João Drumond

Revisão
Universidade
de Cabo Verde

Design
Porto Editora

Créditos fotográficos
© Stock.Adobe.com
Porto Editora
Pedro Moita

Edição
2026

Este manual segue
o programa da disciplina,
publicado pelo Ministério
da Educação.

Cabo Verde



Brasão



Bandeira



Hino Nacional

Cântico da Liberdade

Canta, irmão
Canta, meu irmão
Que a liberdade é hino
E o homem a certeza.

Com dignidade, enterra a semente
No pó da ilha nua;
No despenhadeiro da vida
A esperança é do tamanho do mar
Que nos abraça,
Sentinela de mares e ventos
Perseverantes
Entre estrelas e o Atlântico
Entoa o cântico da liberdade.

Canta, irmão
Canta, meu irmão
Que a liberdade é hino
E o homem a certeza!

Este livro foi aprovado pelo Ministério da Educação para utilização obrigatória nas escolas