

Explorando as geociências ao redor do globo



Chris King

Aprovado por:
the International Geoscience Education Organisation
the International Union of Geological Sciences
the European Geosciences Union
for the teaching of the International Geoscience Syllabus

Tradução da 1a edição inglesa, agosto 2021



International
GeoScience
Education
Organisation



Explorando as geociências ao redor do globo - Tradução da 1 edição inglesa
Chris King
1 edição brasileira, 2021

Coordenação editorial: Roberto Greco & Carolina Zabini, Unicamp, Brasil.

Título Original: Exploring Geoscience Across the Globe

ISBN: 978-1-9996264-7-1

Publicado pela primeira vez: 2019

Tradução: Alexandre Pedroso do Prado, Arcanjo Miguel Jama António, Beatriz Derisso Faitanini, Carlos Jardel Araújo Soares, Carolina Reame Santos, Daniel Fernando Matsuzaki da Silva, Eduardo Alves Rodrigues, Erica Rodrigues Soares, Jessica Patricia de Oliveira, Fábio Gabriel Nascibem, Fabio Guilhermino de Castro, Fernanda Cristina de Souza Montija, Francisca Ranielly de Brito Macêdo, Hugo Levy da Silva de Melo, Manuel Taque, Natália Santo Lisboa, Suelen Nonata de Souza Marques, Thiago Scaquetti de Souza Lopez.

Revisão: Ana Alexandre Santos Rodrigues, Kezia Andrade dos Santos, Juliana de Oliveira Machado, Larissa Vieira Zezzo, Marcia Vieira da Silva.

Revisão técnica: Caroline Ramos Araújo, Dayane Gomes da Silva, Elis Miguele de Sá, Pedro Cunha.

Copyright: Chris King da Organização Internacional de Educação em Geociências

- O material original publicado incluído nesta publicação só pode ser reproduzido com a permissão prévia por escrito do autor ou conforme expressamente permitido para uso educacional ou em pesquisa, nos termos acordados com a organização de direitos de reprografia apropriada.
- Se a permissão para reproduzir o material original publicado aqui for concedida pelo autor, o devido reconhecimento deve ser dado.
- O material copyright reproduzido aqui com a permissão de outras publicações pertence ao editor original.

Publicado em:

<http://www.igeoscied.org/teaching-resources/geoscience-text-books/>

books/

Copyright:

Chris King em nome da Organização Internacional de Educação em Geociências



Prefácio

No segundo semestre de 2020 ofertamos uma nova disciplina intitulada: “Ensino e comunicação em geociências”. Ela foi ofertada de forma simultânea para os cursos de pós-graduação de Ensino e História de Ciências da Terra (PPG EHCT/Unicamp), Geografia (PPG Geografia/Unicamp) e Ensino de Ciências e Matemática Multiunidades da Unicamp (PECIM/Unicamp). Com o desenvolvimento dessa disciplina, realizada durante a pandemia do coronavírus Sars-CoV-2, e a partir dos diálogos com os estudantes participantes, surgiu a proposta de realizar como trabalho final uma atividade de extensão que pudesse ser útil, especialmente durante essa fase de ensino *online*. O que o leitor irá encontrar aqui é o resultado deste trabalho, ou seja, a tradução do livro *Exploring Geoscience Across the Globe* para a língua portuguesa brasileira.

A versão original do *Exploring Geoscience Across the Globe* foi escrito pelo professor emérito Chris King, um dos maiores especialistas em ensino de geociências no mundo. Esta publicação teve o apoio da Organização Internacional para Educação em Geociências (IGEO - *International Geoscience Education Organization*) e da Comissão para Educação em Geociências (COGE - *Commission on Geoscience Education*) da União Internacional das Ciências Geológicas (IUGS - *International Union of Geological Sciences*). Trata-se de um livro criado para ser um projeto colaborativo: o autor convida a todos a traduzir o texto em seu próprio idioma e inserir imagens e exemplos locais.

Este livro é escrito em linguagem simples e têm o objetivo principal de ser uma ferramenta à disposição de professores e estudantes de educação básica, especialmente nos países que não dispõem de livros escolares de geociências.

O livro original e traduzido para o português está disponível e podem ser baixado gratuitamente como PDF no website do IGEO. O endereço do arquivo é: <http://www.igeosci.org/teaching-resources/geoscience-text-books/>

Esperamos que esse trabalho possa ser útil para alunos, docentes da educação básica e aos curiosos em entender um pouco melhor as dinâmicas e os processos do planeta Terra.

Boa leitura!

Roberto Greco, Carolina Zabini

Sumário

Objetivo do livro

- 0 Por que explorar geociências?
- 1 A Terra como um sistema em mudança
 - 1.1 Atributos
 - 1.2 Interações
 - 1.3 Feedback
 - 1.4 Processos e Produtos
 - 1.4.1 Ciclos
 - 1.4.2 O ciclo da água
 - 1.4.3 Fluxos, estoques e tempo de residência
 - 1.4.4 O ciclo das rochas
 - 1.4.5 O ciclo do carbono
 - 1.5 Fontes de energia
- 2 A Terra é um sistema, dentro do sistema solar, dentro do universo
 - 2.1 Origens
 - 2.2 O Sol
 - 2.3 Sol, Terra e lua
 - 2.3.1 Dia/noite
 - 2.3.2 As estações
 - 2.3.3 As fases da lua
 - 2.3.4 Eclipses
- 3 A Terra é um sistema que mudou ao longo do tempo
 - 3.1 Extensão do tempo geológico
 - 3.2 Datação relativa
 - 3.3 Datação absoluta
 - 3.4 Taxas de processos
- 4 O sistema Terra compreende esferas que interagem
 - 4.1 Geosfera
 - 4.1.1 Materiais terrestres e suas propriedades
 - 4.1.1.1 Minerais
 - 4.1.1.2 Rochas
 - 4.1.1.3 Fósseis
 - 4.1.1.4 Rochas sedimentares
 - 4.1.1.5 Rochas ígneas
 - 4.1.1.6 Rochas metamórficas
 - 4.1.1.7 Solo
 - 4.1.2 Os processos da Terra e as características observadas
 - 4.1.2.1 Processos de superfície

- 4.1.2.2 Processos sedimentares
- 4.1.2.3 Processos ígneos
- 4.1.2.4 Processos metamórficos
- 4.1.2.5 Processos de deformação

4.1.3 Estrutura da Terra e evidências

- 4.1.3.1 Evidências
- 4.1.3.2 Crosta
- 4.1.3.3 Manto
- 4.1.3.4 Núcleo
- 4.1.3.5 Litosfera

4.1.4 Placas tectônicas e evidências

- 4.1.4.1 Teoria da unificação
- 4.1.4.2 Construção e subducção de placas tectônicas
- 4.1.4.3 Características das margens de placas
- 4.1.4.4 Mecanismos e taxas de movimento
- 4.1.4.5 Evidências

4.2 Hidrosfera

4.2.1 Água continental

- 4.2.1.1 Fontes de água continental
- 4.2.1.2 Abastecimento de água
- 4.2.1.3 Água contaminada

4.2.2 Água oceânica

- 4.2.2.1 Composição da água
- 4.2.2.2 Marés
- 4.2.2.3 Ondas
- 4.2.2.4 Circulação de fluidos em grande escala na Terra

4.3 Atmosfera

- 4.3.1 Composição atmosférica
- 4.3.2 Fluxo atmosférico
- 4.3.3 Mudança atmosférica

4.4 Biosfera

- 4.4.1 Evolução
- 4.4.2 Impacto em outros sistemas

5 O Sistema Terra produz recursos

5.1 Matérias-primas e combustíveis fósseis

- 5.1.1 Matérias-primas a granel para construção
- 5.1.2 Matérias-primas a granel para a indústria
- 5.1.3 Minérios de metal
- 5.1.4 Minerais industriais

5.1.5 Combustíveis fósseis

5.1.5.1 Tufa e carvão

5.1.5.2 Petróleo e gás natural

5.1.6 Prospeção

5.1.7 Proteção e remediação ambiental

5.2 Suprimentos de energia

5.2.1 Energia a partir de combustíveis fósseis

5.2.2 Energia renovável

6 Interações do Sistema Terra/Humano

6.1 Riscos naturais

6.1.1 Erupções

6.1.2 Terremoto

6.1.3 Tsunami

6.1.4 Deslizamento de terra

6.2 Problemas ambientais

6.2.1 Erosão

6.2.2 Drenagem

6.2.3 Depósito de lixo

6.2.4 Poluição

6.2.5 Mineração/pedreira

6.2.6 Queima de combustíveis fósseis e o efeito estufa

6.3 Impactos dos humanos na história

6.3.1 Guerra por recursos

6.3.2 Migração devido às mudanças climáticas

7 O sistema terrestre é explorado através de trabalho de campo e prático

7.1 Observação, medição e registro

7.2 Síntese das observações

7.3 Investigação e teste de hipóteses

Glossário

Prefácio por Iain Stewart

Professor de Comunicação em Geociências e Diretor do Sustainable Earth Institute, Escola de Geografia, Ciências da Terra e Ambientais da Universidade de Plymouth, Inglaterra.



Pesquisas internacionais mostram que a educação escolar em geociências em todo o mundo é muito variável, o apoio oferecido aos professores de geociências é geralmente pobre e os livros didáticos disponíveis em muitos países são frequentemente deficientes e, em algumas áreas, inexistentes.

Portanto, contra este pano de fundo um tanto cinza, é maravilhoso poder dar as boas-vindas à cor e vibração do livro "Explorando geociências". Surgiu de uma iniciativa desenvolvida para sustentar o International Geoscience Syllabus e é defendida por organizações internacionais, incluindo a Organização Internacional de Educação em Geociências, a União Internacional de Ciências Geológicas e a União Europeia de Geociências.

Esta "versão internacional" do livro didático é um recurso de código aberto e gratuito para uso em qualquer lugar do mundo por professores, alunos e redatores de livros didáticos. Ele foi escrito para ser o mais acessível e envolvente possível e também para ser prontamente traduzido para outras línguas. Uma vez que a "versão internacional" tenha sido regionalizada para outras partes do mundo e traduzida, conforme necessário, um novo recurso, verificado por especialistas, estará disponível para apoiar o ensino e a aprendizagem em geociências.

É um prazer poder endossar esta iniciativa bem-vinda e oportuna e encorajar os interessados na educação em geociências em todo o mundo a assumir a tarefa de 'regionalizar' e traduzir o livro para uso em suas próprias regiões, divulgando assim seu conteúdo estimulante e mensagem importante tão amplamente quanto possível.

Iain Stewart.

Objetivo do livro

O livro foi produzido para apoiar professores em todo o mundo no ensino do International Geoscience Syllabus (reproduzido no Apêndice). O programa cobre a geociência que todos os alunos de 16 anos devem conhecer e compreender, conforme recomendado pela comunidade internacional de educação em geociências.

A estrutura dos títulos dos capítulos no livro reflete diretamente o programa de estudo. O texto foi escrito em uma linguagem bem simples e o máximo possível livre de gírias, para torná-lo amplamente acessível aos professores que desejam usá-lo em seu ensino. Grande parte da exemplificação é apresentada em tabelas e ilustrada por fotografias, para que os exemplos não interfiram muito nos blocos de texto.

O material adicional ao programa é apresentado em "caixas de interesse", para dar dimensões extras de interesse e impacto e para fornecer estudos de caso curtos, mas não se espera que os alunos sejam apresentados a todo este material adicional.

O texto original foi escrito como uma 'versão internacional' chamada 'Exploring Geoscience – across the Globe' e é ilustrado por fotografias selecionadas em todo o mundo e 'caixas de interesse' de interesse global. É publicado no site International Geoscience Education em: <http://www.igeoscied.org/teachingresources/geoscience-text-books/>. Educadores de geociências em todo o mundo foram convidados a pegar este texto central e adicionar fotografias e "caixas de interesse" para suas próprias regiões; eles também foram solicitados a traduzir o texto, conforme apropriado, para produzir um livro didático de 'Exploring Geoscience' para suas próprias regiões.

O livro é inserido em um "Suplemento de Atividades" publicado separadamente, dando detalhes de uma ampla gama de atividades de ensino relacionadas a cada seção e fornecendo perguntas para testar o conhecimento e a compreensão dos alunos.

O International Geoscience Syllabus é publicado em: http://www.igeoscied.org/?page_id=269

Colaboradores e agradecimentos

Somos gratos a Gillian Drennen (gillian.drennen@wits.ac.za) por primeiro sugerir a redação de um livro didático para abordar o programa internacional e por propor um workshop no Congresso Geológico Internacional da Cidade do Cabo em 2016 para desenvolver esta ideia. Somos gratos a todos os colaboradores deste workshop pela maneira como eles conduziram as primeiras ideias sobre o livro didático.

O texto original e muitos diagramas foram produzidos por Chris King (chris@earthlearningidea.com); alguns dos diagramas foram redesenhados de outras fontes. Outros diagramas e fotografias foram obtidos diretamente de áreas da Internet com isenção de direitos autorais. A maioria dos diagramas foi redesenhada por Tanja Reinhardt (reinhardt2@ukzn.ac.za) da Universidade de KwaZulu, Natal, África do Sul, que gentilmente desenhou o livro e suas capas.

Estamos muito gratos ao Wikimedia Commons (https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page) como a fonte de muitas das fotografias e alguns dos diagramas sob condições de isenção de direitos autorais. Eles contribuíram muito para a exemplificação do livro. Também somos gratos à Unidade de Educação em Ciências da Terra (ESEU: <http://www.earthscienceeducation.com/index.html>) para fornecer imagens.

Somos muito gratos a Peter Craig, Elizabeth e Martin Devon, Sid Howells, Peter Kennett, Pete Loader, Giulia Realdon, Tanja Reinhardt (Capítulo 1), Ashvin Wickramasooriya e Sebastian Wolf (Capítulos 1, 2) por todo o seu trabalho na verificação da precisão do roteiro, ajudando a tornar o texto mais acessível e na revisão. Também somos muito gratos a Anthony Tibbs por seus esforços formais de revisão. Quaisquer erros remanescentes permanecem meus e somente meus.

O livro foi aprovado pela Organização Internacional de Educação em Geociências, a União Internacional de Ciências Geológicas, por meio de sua Comissão de Educação em Geociências e Transferência de Tecnologia, e a União Europeia de Geociências, para o ensino do currículo internacional de geociências, e nós somos muito gratos por seu apoio e incentivo.

Chris King.



0 Por que explorar geociências?

Geociência é o estudo científico de todo o nosso planeta. Hoje em dia é ainda mais do que isso, porque inclui também a geologia planetária. Envolve muitos elementos da geologia, como geoquímica, geofísica, paleontologia, hidrogeologia e geologia de engenharia, mas é mais ampla, porque inclui também meteorologia, oceanografia, ciências ambientais, ciências do solo e estudo do sistema solar. A geociência usa evidências do passado e do presente do planeta para prever o futuro, mas também usa evidências do presente para "prever" o que aconteceu no passado. Ele concentra elementos de biologia, química, física, matemática, geografia e engenharia em um estudo da Terra e dos planetas.

Uma das alegrias de estudar geociências é que todos podem fazer isso. Quando as crianças pegam pedras interessantes em uma praia e começam a pensar por que são interessantes, elas começam a fazer as perguntas que os geocientistas fazem. Quando eles coletam vários seixos interessantes, ou diferentes cores de areia, ou diferentes fósseis, eles estão começando a separar as coisas, ou classificar os materiais da Terra, como os geocientistas fazem. Quando eles perguntam por que a areia forma formas interessantes, eles estão começando a investigar os processos da Terra, assim como os geocientistas.

Figura 0.1: Seixos interessantes e formas de areia



Se você deseja estudar geociências, você pode fazer isso na escola ou faculdade ou obtendo um diploma universitário. Muitas pessoas estudam geologia só porque gostam de fazer e responder perguntas sobre como a Terra funciona, ou porque gostam de colecionar coisas interessantes. Mas outros se tornam geólogos profissionais, passando a vida inteira perguntando e respondendo às perguntas de geociências. Eles investigam a Terra, dos trópicos aos pólos, das montanhas mais altas aos mares mais profundos, ou em busca de novos recursos da Terra, melhores formas de eliminar o lixo ou os melhores lugares para construir novos edifícios e viver com segurança.

É disso que trata este livro. Começa olhando para todo o sistema terrestre, a Terra dentro do sistema solar e como tudo isso mudou ao longo do tempo. Reúne estudos da geosfera da Terra, hidrosfera, atmosfera e biosfera e analisa onde os recursos e fontes de alimentação de que precisamos são encontrados. Ele enfoca os perigos da Terra e as questões ambientais e como eles mudam a história humana e explica o que os geocientistas fazem e como.

Portanto, se tudo isso lhe interessa, continue lendo - você já estará começando a pensar como um geocientista.

1 A Terra como um sistema em mudança

Um sistema é composto por uma série de partes diferentes, conectadas em uma rede que mantém todo o sistema funcionando. Os sistemas podem ser simples, como uma pia; a água entra no lavatório (entrada) pelas torneiras e sai (saída) pelo esgoto. A água pode ser quente ou fria, portanto a energia térmica da água (sua temperatura) também é uma das entradas. O calor da água quente pode ser perdido quando a água desce pelo ralo, mas também pode ser produzido quando a água da bacia esfria. O sistema de lavatório tem um limite que são as laterais e a base da pia. As entradas vêm do ambiente externo e vão para o ambiente circundante, além da fronteira.

O lavatório é um exemplo de **sistema aberto**, com interações com o ambiente externo na fronteira. No exemplo do lavatório, água e calor são entradas e saídas para o meio ambiente. Um exemplo de **sistema fechado** é uma garrafa térmica; quando o topo do frasco está colocado, o líquido não pode entrar ou sair do frasco e o calor também não pode entrar ou sair do frasco. Nenhum sistema pode ser completamente fechado, portanto, mesmo a melhor garrafa térmica perderá **calor de um líquido quente interno com o tempo**.

Figura 1.1. Uma pia e uma garrafa térmica, exemplos de sistemas abertos e (quase) fechados



O sistema terrestre não é apenas extremamente complexo, é muito mais complexo do que esses exemplos simples, além disso, tem muitos subsistemas que mudaram e estão mudando com o tempo.

1.1 Atributos

A Terra é um sistema aberto à energia. A maior parte da energia que impulsiona os subsistemas da Terra é recebida como radiação do Sol. Esta energia entra na Terra durante o dia, mas parte é irradiada de volta para o espaço, saindo durante o dia e a noite. Uma vez que a entrada e a saída de radiação estão geralmente em equilíbrio, a temperatura geral da Terra permanece estável, pelo menos a curto prazo.

No entanto, a Terra é quase um sistema fechado para matéria hoje. Nem sempre foi assim, uma vez que a Terra primitiva foi bombardeada por asteroides. Hoje em dia, o que está na Terra permanece na Terra; pouco material, em comparação com o tamanho da Terra, é adicionado por meteoritos e poeira cósmica, e o único material denso perdido para o espaço está nas sondas espaciais.

O sistema Terra mudou ao longo do tempo, não apenas porque a quantidade de bombardeios foi reduzida, mas também por causa de uma série de outras mudanças, como o resfriamento da Terra, a formação dos oceanos, a evolução da atmosfera e da vida e os efeitos das placas tectônicas.

Figura 1.2. A Terra - um sistema muito complexo



O sistema terrestre faz parte do sistema solar. Este também é quase um sistema fechado, tanto para energia quanto para matéria - uma vez que muita pouca energia é recebida da luz das estrelas e muito pouca matéria também.

Caixa 1.1. A matéria do sistema solar, apresentada em escala aproximada de tamanho (mas não de distância)



Este "retrato" do sistema solar mostra o Sol e os planetas. Os tamanhos são apresentados nas proporções corretas - mas as distâncias entre eles não. Este diagrama mostra a maior parte da matéria do sistema solar. Não incluídos (porque são muito pequenos) estão as luas, planetas anões, asteroides, cometas e poeira.

O sistema Terra pode ser dividido em quatro subsistemas principais: a Terra sólida (a **geosfera**), o ar ao redor da Terra (a **atmosfera**), a água no planeta (a **hidrosfera**) e a vida na Terra (a **biosfera**).

A **litosfera**, que forma as placas tectônicas da Terra, é a parte externa da geosfera.

1.2 Interações

A geosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera são sistemas muito abertos porque todos eles interagem, ambos trocam energia e matéria. As interações entre esses quatro subsistemas ocorrem em todos os lugares, o tempo todo, agindo em intervalos de tempo muito curtos a extremamente longos. São essas interações que tornam nosso planeta tão dinâmico. Aonde quer que você vá, o que quer que você faça, esses sistemas estarão interagindo ao seu redor em taxas diferentes, de muito rápido a extremamente lento.

As margens dos rios são bons lugares para ver as interações do sistema Terra. O fluxo do rio faz parte da hidrosfera, erodindo margens e transportando os sedimentos da geosfera. Animais e plantas da biosfera vivem nas margens, fotossintetizando e respirando gases atmosféricos. A água sobe para a atmosfera por meio da evaporação do rio, respiração de plantas e respiração de animais. Este vapor de água mais tarde pode cair como chuva, contribuindo para que a água atmosférica volte para a geosfera.

Caixa 1.2. O ciclo da água local, um exemplo de interações da geosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera

As gotas de chuva, quando se formam pela primeira vez, não contêm ácidos nem álcalis e, portanto, são neutras. No entanto, à medida que caem na atmosfera, elas dissolvem o dióxido de carbono e tornam-se ligeiramente ácidas. Quando a água da chuva cai no solo, ela penetra. Muitos animais vivem no solo e respiram, absorvendo oxigênio e liberando dióxido de carbono. Esse dióxido de carbono extra se dissolve na água do solo, tornando-a ainda mais ácida. O material vegetal em decomposição também adiciona ácido húmico à água. A água ácida reage com fragmentos de rocha no solo, dissolvendo partículas de calcário e quebrando partículas de outras rochas. Por meio dessas reações, a água volta a ficar neutra, de forma que, quando sai do solo nas nascentes, costuma ser neutra.



Chuva



Solo úmido



Nascente de água subterrânea

Este exemplo destaca como os diferentes sistemas terrestres interagem. As gotas de chuva da hidrosfera dissolvem o dióxido de carbono da atmosfera. Elas penetram no solo da geosfera, onde dissolvem mais dióxido de carbono produzido pelos animais da biosfera. A água ácida do solo reage com fragmentos de rocha da geosfera tornando-se neutra e gotejando de nascentes, onde é visível novamente na hidrosfera.

Neste exemplo, a matéria é trocada (incluindo água, dióxido de carbono atmosférico, as entradas e saídas da respiração e das reações com fragmentos de rocha) assim como a energia (incluindo a energia da chuva que cai, a energia da respiração e a energia química envolvida na água / reações de rochas).

1.3 Feedback

O **feedback** é uma parte vital dos sistemas. Um exemplo simples de feedback é uma caldeira de água com termostato (um termômetro com interruptor). Quando a água esfria, o termômetro retorna esta informação ao interruptor e a caldeira é ligada. Quando a água esquenta, essa informação é enviada de volta ao interruptor pelo termômetro e a caldeira é desligada novamente. Nossos corpos têm mecanismos de feedback semelhantes - quando ficamos muito quentes, suamos para esfriar, mas quando ficamos com muito frio, estremeçemos para nos aquecer.

Os sistemas de feedback podem ser **positivos** ou **negativos**, mas esses termos podem ser confusos. O feedback negativo mantém os sistemas em um estado estável e, portanto, é uma coisa boa, enquanto o feedback positivo pode tornar um sistema instável, com resultados devastadores.

Por exemplo, a quantidade de sal nos oceanos é afetada por um sistema de feedback negativo. Rios ao redor do mundo dissolvem sal (cloreto de sódio, NaCl, o mineral halita) das rochas circundantes e carregam-no para o mar, mas a salinidade dos oceanos permanece a mesma (cerca de 3,4% de sal), quando deveríamos esperar que se tornasse cada vez mais salgada com o tempo. O sistema de feedback negativo que remove o sal ocorre quando áreas de água do mar ficam presas nas bacias costeiras. À medida que a água do mar evapora, o sal é depositado e pode ser enterrado como uma rocha sedimentar, removendo-o dos oceanos.

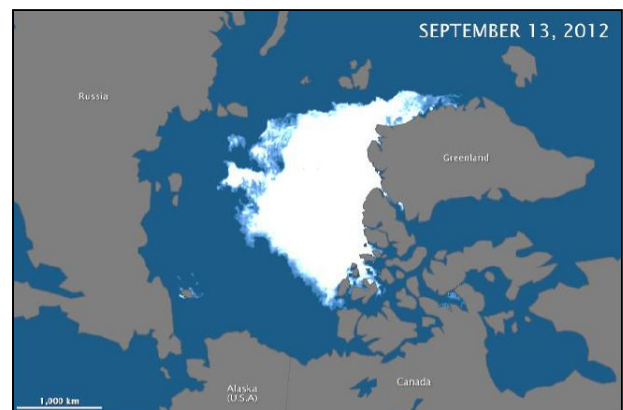
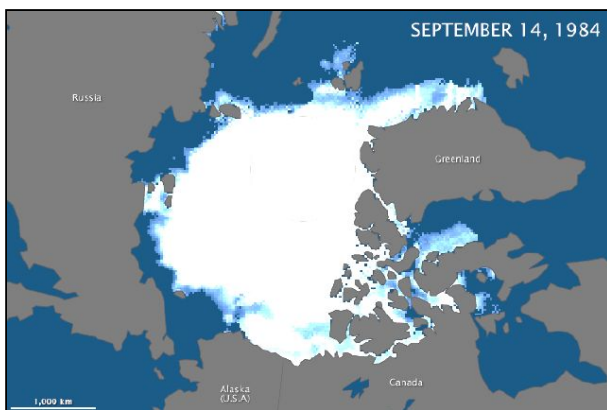
Figura 1.3. Sal sendo extraído de uma lagoa salgada costeira na Tunísia



Os sistemas de feedback negativo em nossos próprios corpos mantêm tudo estável. Esses processos que atuam juntos nos seres vivos são chamados de homeostase.

Quando há feedback positivo, o sistema pode se tornar instável. Quando a luz solar atinge as camadas de gelo, a maior parte dela é refletida e, portanto, há pouco efeito de aquecimento na Terra. O reflexo da luz do sol por superfícies de cores claras, como o gelo, é chamado de **albedo**. Este reflexo da luz solar é um dos fatores que mantêm a temperatura da Terra estável. No entanto, o feedback positivo pode ter um efeito em duas direções diferentes. Se a Terra ficar mais fria, as calotas polares crescem, aumentando o efeito do albedo, fazendo com que a Terra fique ainda mais fria; isso pode desencadear uma era do gelo. Mas, se a Terra ficar mais quente, as calotas polares irão derreter, reduzindo a reflexão do albedo, fazendo com que a Terra fique ainda mais quente. Eventualmente, o gelo pode derreter completamente, levando a Terra para um estado muito mais quente.

Figura 1.4. O gelo do Ártico em 1984 e 2012. No passado, a grande área de gelo flutuante tinha um grande efeito de albedo. À medida que a Terra fica mais quente, a área de gelo fica menor; isso reduziu o albedo e contribuiu para o aquecimento da Terra, por meio de feedback positivo.



Quando há feedback positivo em um sistema, isso pode continuar até que um "**ponto de inflexão**" seja alcançado e o sistema acabe em um novo estado estável. No passado, a Terra teve um estado estável frio, quando partes da Terra eram cobertas por gelo ("**condições de efeito 'icehouse'**") e um estado estável quente quando não havia mantos de gelo ("**condições de efeito estufa**").

1.4 Processos e produtos

1.4.1 Ciclos

Encha uma caneca com água fervente e deixe agir por um minuto ou mais para que ela aqueça. Em seguida, despeje a água e adicione cerca de 1 cm de água fervente à caneca, inverta um copo de vidro em cima (como mostra a Figura 1.5) e observe o que acontece.

Você verá o copo de vidro ficar turvo conforme a água se condensa na superfície interna e, em seguida, goteja água escorrendo para dentro da caneca.

O que acontece é que a água evapora da superfície d'água quente para se tornar um vapor invisível no ar dentro da caneca / copo. Em seguida, o vapor de água se condensa como gotículas no interior do copo mais frio, tornando-o embaçado, até que as gotas se tornem grandes o suficiente para fluir de volta para a caneca.

O que você vê é uma combinação de processos e produtos. O processo de evaporação produz um produto de vapor d'água gasoso. O processo de condensação produz um produto de pequenas gotas de água líquida no interior do copo. O processo de fluxo então carrega a água de volta para a caneca - esse novo produto é adicionado à água líquida na caneca.

Figura 1.5. Uma demonstração simples do ciclo da água



Os **processos** fazem com que algo aconteça; **produtos** são os resultados.

Esta é uma versão simples de um ciclo. Nesse caso, a água começa na caneca como água em estado líquido, evapora em vapor d'água e depois se condensa em gotículas de água que se juntam para fluir para a caneca novamente. Este também é um sistema simples, que é fechado para a água (a água não sai nem entra no sistema).

Todos os materiais terrestres passam por ciclos de alguma forma. Exemplos importantes incluem os ciclos da água, do carbono e da rocha.

1.4.2 O ciclo da água

O **ciclo natural da água** é mais complexo do que a demonstração da caneca e do copo na Figura 1.5, e os processos e produtos desse ciclo estão ao nosso redor o tempo todo.

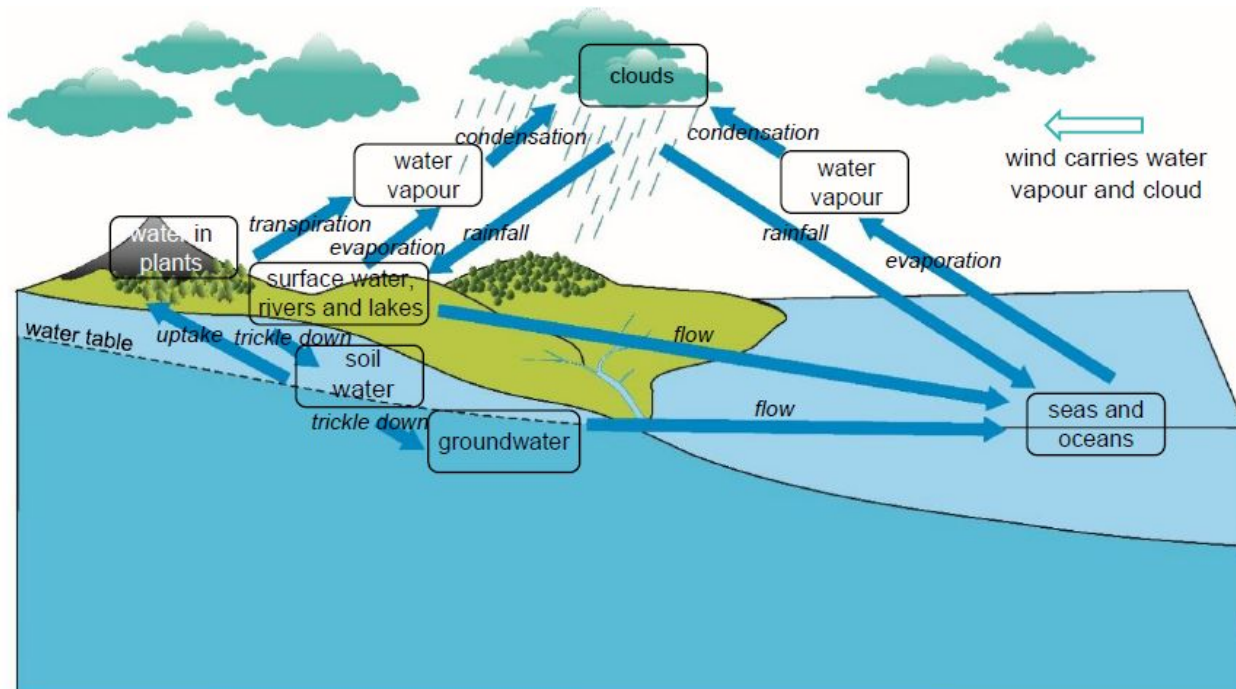
Quando chove, a água forma poças no solo. As poças mais tarde evaporam em vapor d'água, invisível no ar. Quando o ar esfria, o vapor se condensa em gotículas de água na forma de nuvens. À medida que as nuvens continuam esfriando, as gotículas de água se unem para formar gotas que, quando são grandes o suficiente, caem como chuva. Mesmo este simples sistema externo é complicado por muitos outros fatores. O vapor de água condensado produz não apenas nuvens, mas também névoa e neblina. A água cai das nuvens como chuva, mas também como neve e granizo. A água que chega ao solo não apenas forma poças, mas frequentemente flui para calhas, riachos, rios e, eventualmente, lagos e mares. A água evapora de todos esses produtos do ciclo da água o tempo todo, enquanto as plantas **transpiram**, liberando para o ar a água captada por suas raízes na forma de vapor d'água através de suas folhas. O vapor de água da evaporação e transpiração é transportado para diferentes áreas pelas correntes de ar.

Parte da água da chuva e dos rios infiltra-se no solo e nas rochas e torna-se parte da água subterrânea nos espaços vazios das rochas porosas. Essa água flui colina abaixo através de rochas permeáveis no subsolo e eventualmente aflora em nascentes.

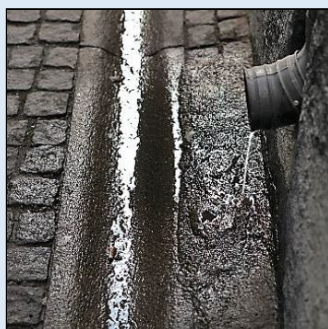
Em regiões frias, a água que precipita como neve pode se acumular formando geleiras e mantos de gelo, enquanto a água subterrânea pode ser congelada em **permafrost** (solo permanentemente congelado). O gelo também pode fluir ou derreter para tornar-se água líquida novamente.

Os principais processos do ciclo da água são evaporação, condensação, movimento lateral do ar (vento), precipitação (da chuva, etc.) e fluxo sobre ou sob o solo. Em áreas frias, o congelamento, o derretimento e o fluxo do gelo também são importantes. Muitos desses processos e produtos são apresentados na Fig. 1.6.

Figura 1.6. Produtos do ciclo da água (em caixas) e processos (em *itálico*).



Caixa 1.3. Parte do ciclo da água no seu quintal



Você pode ver parte do ciclo da água em ação no seu próprio quintal. Gotas de chuva caem em poças; a água escorre pelas calhas e finalmente chega aos lagos. A evaporação de lagos e outras áreas de água, produz vapor de água invisível no ar. Quando esfria, ele se condensa para formar as nuvens que produzem a chuva.

1.4.3 Fluxos, estoque e tempos de residência

Os processos e produtos dos ciclos também são chamados de fluxos e estoques. **Fluxos** são as movimentações de materiais através dos processos, medidos como taxas de fluxo. Os fluxos do ciclo da água variam dos muito rápidos (como os fluxos da água em rios inundados) aos muito lentos (o fluxo das camadas de gelo) e dos muito grandes (taxas de evaporação global) aos muito pequenos (queda de neve nas camadas de gelo). **Estoques** são produtos; os produtos do ciclo da água também variam dos muitos grandes (os oceanos) aos pequenos (a água armazenada em seu próprio corpo). O **tempo de residência** é o tempo que leva para um estoque substituído. Alguns tempos de residência são curtos, como o tempo que o vapor d'água fica armazenado na atmosfera, de apenas alguns dias. Outros tempos de residência são muito longos, como as dezenas de milhares de anos de armazenamento de gelo nos mantos polares.

1.4.4 O ciclo da rocha

A parte da superfície do ciclo das rochas está intimamente ligada ao ciclo da água. A água corrente remove e carrega sedimentos. Em águas paradas, os sedimentos são depositados e podem formar sequências sedimentares espessas. Os sedimentos litificados tornam-se rochas sedimentares, geralmente no subsolo. Se essas rochas são erguidas e os materiais acima são removidos, elas ficam expostas na superfície da Terra, prontas para o ciclo começar novamente.

Caixa 1.4. Parte do ciclo das rochas em algum lugar próximo



Você pode ver partes do ciclo das rochas em ação sempre que o vento sopra ou a água escorre pela terra. O vento que sopra pega, carrega e deposita poeira, folhas e lixo; o mesmo acontece com a água corrente. A água corrente neste banco de areia removeu a areia dos pequenos canais no topo da fotografia, carregou-a pelos canais maiores e depositou-a em pequenos deltas no fundo, tudo em uma pequena área de praia, com apenas cerca de um metro de largura.

Esta parte sedimentar do ciclo das rochas torna-se mais complexa quando as rochas se envolvem em episódios de formação de montanhas. As enormes temperaturas e pressões causam dobramento e fratura (falha) e também podem transformar as rochas em rochas metamórficas.

As mudanças podem ir mais longe se o aumento da temperatura fizer com que as rochas derretam parcialmente, formando rocha líquida ou magma. O magma é menos denso que a rocha circundante e, portanto, sobe. Ou ele esfria e se solidifica lentamente no subsolo ou entra em erupção na superfície por meio de atividade vulcânica. Todas as rochas formadas por magma são rochas ígneas. Todas as rochas enterradas podem ser erguidas e expostas para se tornarem parte do ciclo das rochas novamente.

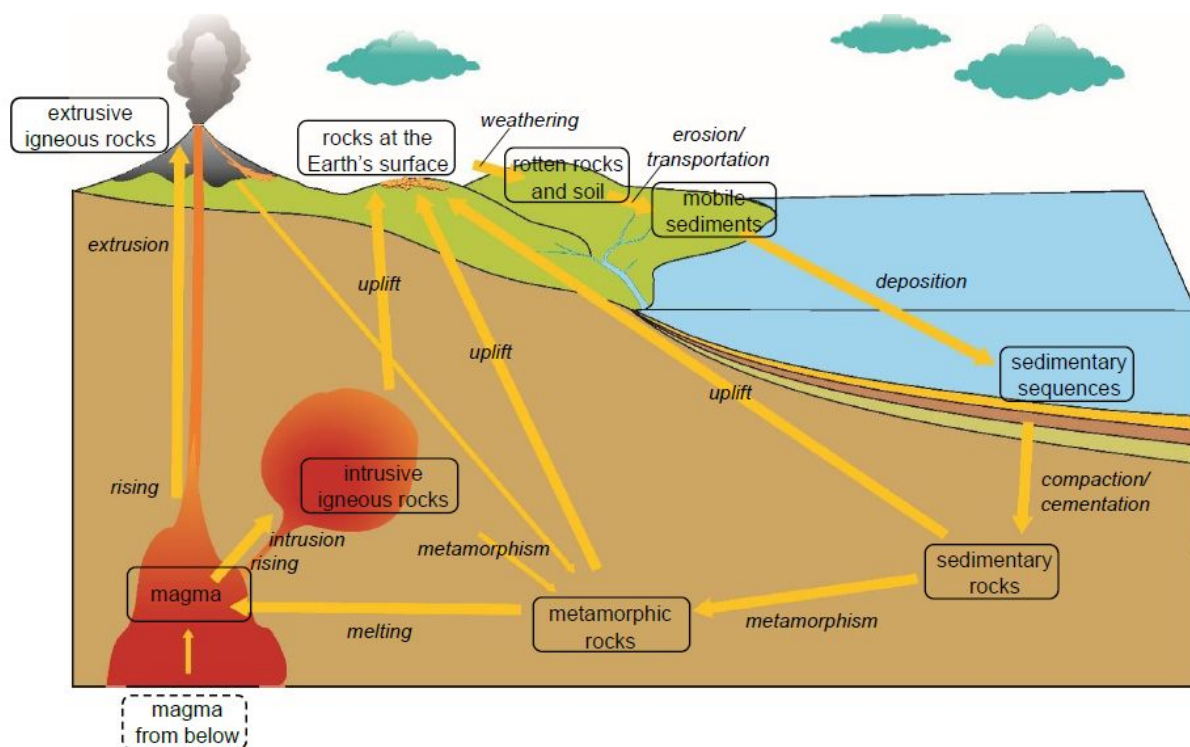
Figura 1.7. mostra como os produtos do ciclo da rocha (em caixas) e processos (em *itálico*) estão vinculados. Rochas na superfície da Terra são transformadas pelo intemperismo em rochas podres e solos; quando este material é erodido e transportado, se transforma em sedimentos móveis. A deposição de sedimentos móveis constrói sequências sedimentares. Estes podem ser alterados por compactação / cimentação em rochas sedimentares, que podem então ser erguidas e tornarem-se afloramentos de rochas na superfície da Terra. No entanto, elas também podem sofrer metamorfismo e tornarem-se rochas metamórficas, e só então são erguidas para tornarem-se afloramentos de rochas na superfície da Terra também.

Rochas metamórficas podem fundir em magma líquido, podendo subir por intrusão para formar rochas ígneas intrusivas (que podem então ser erguidas para se tornarem rochas superficiais) ou o magma pode sofrer uma extrusão vulcânica, formando rochas ígneas extrusivas. O magma também pode ser adicionado a este sistema vindo de baixo, enquanto as rochas ígneas também podem sofrer metamorfismo.

No sistema do ciclo das rochas, os produtos ou estoque são as rochas sedimentares, metamórficas e ígneas. Os processos que causam movimentações ou fluxos entre essas reservas são metamorfismo, fusão, solidificação e todos os processos envolvidos na remoção, movimentação, deposição e litificação (transformação de sedimento em rocha sedimentar) de sedimento. Os tempos de residência das rochas são geralmente de milhões de anos.

Esta visão simples do ciclo das rochas é mais complexa em detalhes, conforme explicado no início da seção 4.1.2.

Figura 1.7. Produtos do ciclo das rochas (em caixas) e processos (em *itálico*).



1.4.5 O ciclo do carbono

Quando você respira, expira mais dióxido de carbono do que inspira. Isso ocorre porque um dos processos do corpo é a respiração, onde o oxigênio reage com compostos de carbono nas células de seu corpo, liberando energia e produzindo dióxido de carbono. O processo de respiração libera um fluxo de dióxido de carbono na atmosfera, que armazena uma pequena quantidade de dióxido de carbono o tempo todo (cerca de 0,04%).

Todos os animais liberam dióxido de carbono por meio da respiração e também liberam compostos de carbono na atmosfera por meio da excreção e quando morrem e se decompõem.

O tempo de residência do dióxido de carbono na atmosfera é curto porque é removido rapidamente, principalmente pela fotossíntese das plantas. No processo de fotossíntese, a energia da luz solar faz com que o dióxido de carbono reaja com a água para formar os compostos de carbono que constituem as plantas. Portanto, as plantas da Terra, particularmente as algas nos oceanos, formam um grande estoque de carbono. Este carbono é liberado quando morrem, ou por serem comidos por animais, ou quando as plantas terrestres são queimadas, deliberadamente ou por meio de incêndios florestais.

Caixa 1.5. O ciclo do carbono em ação



Enquanto este explorador descansa na tundra do Alasca, ele está inspirando e expirando dióxido de carbono na atmosfera. Enquanto isso, as plantas verdes estão fotossintetizando à luz do sol, absorvendo dióxido de carbono e transformando-o em novas células vegetais. Se o explorador comer as frutas, isso também fará parte do ciclo do carbono. Esses fluxos do ciclo do carbono acontecem em qualquer lugar na Terra onde haja animais e plantas, incluindo aqueles que estão fora de sua janela.

Este é o **ciclo curto do carbono**, estudado por muitos biólogos. Envolve fotossíntese e respiração, ingestão e decomposição. Este parece ser um ciclo equilibrado, tanto com o carbono sendo adicionado à atmosfera quanto removido. No entanto, também existem partes muito mais longas do ciclo do carbono; por exemplo, parte do dióxido de carbono da atmosfera pode ser dissolvido no oceano, com tempos de residência de milhares de anos.

Alguns animais e plantas contêm "partes duras" feitas de carbonato de cálcio. A fórmula química para o carbonato de cálcio é CaCO_3 e o segundo 'C' na fórmula é o carbono, que representa cerca de 12% em massa de carbonato de cálcio. Seus ossos e os ossos da maioria dos animais contêm carbonato de cálcio. As conchas são feitas de carbonato de cálcio e algumas plantas microscópicas também contêm carbonato de cálcio. Quando esses animais e plantas morrem, partes deles são depositadas como sedimentos e podem se tornar parte de rochas sedimentares, com tempos de residência de milhões de anos. A rocha rica em carbonato de cálcio, composta principalmente de restos de animais marinhos, é chamada de calcário; a rocha feita principalmente de restos microscópicos de carbonato de cálcio é o giz.

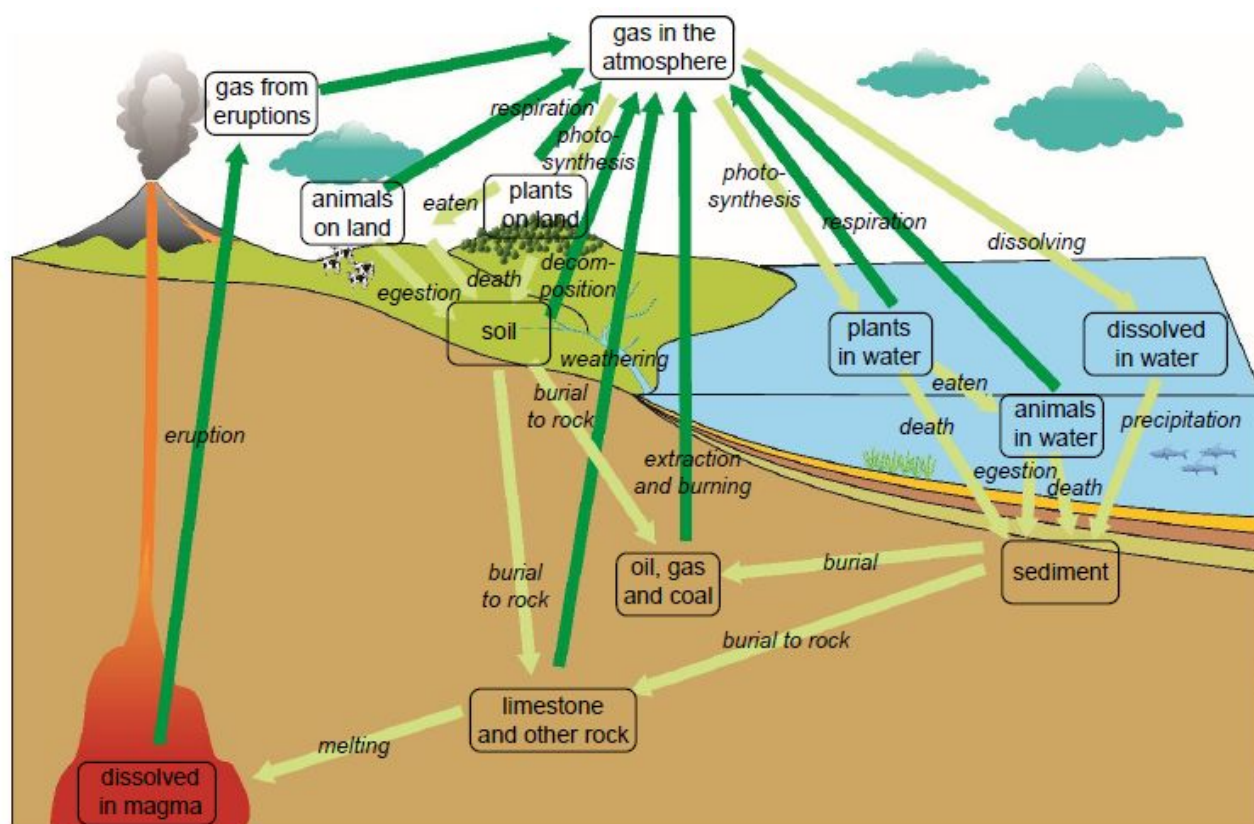
Quando as plantas morrem, elas geralmente se decompõem, mas se forem soterradas por sedimentos e preservadas, o carbono nelas também é preservado. Quando as plantas terrestres são preservadas, camadas grossas podem formar carvão, liberando gás natural conforme ele amadurece. À medida que animais e plantas microscópicas morrem nos oceanos, eles também podem ser preservados em sedimentos e, posteriormente, ser transformados em petróleo e gás natural. Os processos naturais liberam esses estoques de carbono de volta à atmosfera ao longo de milhões de anos; óleo e gás podem vazear para a superfície e o carvão pode ser trazido à superfície por elevação e removido por processos de superfície.

Rochas sedimentares contendo calcário, giz, carvão, óleo e gás natural podem se envolver em episódios de construção de montanhas e se metamorfozizar ou mesmo parcialmente dissolver. Então, o magma produzido pela fusão parcial conterá carbono dissolvido, que pode ser trazido à superfície e liberado em erupções vulcânicas. Muitas erupções liberam enormes quantidades de gás dióxido de carbono na atmosfera.

Essas partes de longo prazo do ciclo do carbono também parecem estar em equilíbrio. Porém, as atividades humanas podem estar alterando esse equilíbrio, ao remover e queimar carvão, óleo e gás natural. Isso é explicado na Seção 4.3.3.

Os processos e produtos dos ciclos curtos e longos do carbono são apresentados na Figura 1.8.

Figura 1.8. Produtos do ciclo do carbono (em caixas) e processos (em *itálico*) - processos de "fixação" de carbono são apontados por setas verdes claras, processos de liberação de carbono por setas verdes escuras.



1.5 Fontes de energia

A luz solar fornece a energia para a fotossíntese e é a fonte original da maior parte da energia que impulsiona o ciclo da água e os processos superficiais do ciclo das rochas.

No ciclo do carbono, parte da energia armazenada nas células vegetais construídas por meio da fotossíntese pode ser liberada quando os animais comem as plantas. Isso fornece energia para todos os animais que se alimentam de plantas na Terra; os predadores obtêm sua energia comendo outros animais. Parte dessa energia pode ser armazenada em restos de plantas e animais enterrados, para ser posteriormente liberada por processos naturais ou atividade humana. Apenas os processos de soerguimento, metamórficos e ígneos do ciclo do carbono são movidos por energia que não se originou no Sol; eles são movidos pela energia interna da Terra.

A energia do Sol causa evaporação como parte do ciclo da água. O vapor de água também é liberado na atmosfera pela transpiração das plantas, e as plantas não poderiam existir sem fotossíntese. A energia do Sol também causa o movimento do ar; o ar sobe sobre as áreas mais quentes e afunda nas áreas mais frias, produzindo o movimento horizontal do ar que chamamos de vento. O vapor de água de áreas de forte evaporação ou transpiração é transportado para outro lugar pela ação do vento. As principais partes do ciclo da água que não dependem da energia do Sol, são os fluxos descendentes do ar frio pela gravidade da Terra e o movimento circular das correntes na atmosfera e no oceano resultante da rotação da Terra.

No ciclo das rochas, a energia do Sol é importante para quebrar as rochas e o solo na superfície da Terra. As partes do ciclo da água impulsionadas pelo Sol envolvem os fluxos de água e gelo que transportam e depositam sedimentos, da mesma forma o movimento do ar impulsionado pelo Sol também carrega sedimentos. As etapas do transporte de sedimentos que não são impulsionadas pelo Sol, são os movimentos descendentes de rochas, água, gelo e correntes de ar pela gravidade da Terra e a compactação dos sedimentos por materiais sobrejacentes, novamente devido aos efeitos gravitacionais.

A energia do interior da Terra tem contribuição muito menor que a energia que a Terra recebe do Sol. No entanto, as fontes de energia internas da Terra têm efeitos vitais, especialmente quando atuam ao longo do tempo geológico.

Alguma energia permaneceu no núcleo desde quando a Terra era totalmente fundida, logo após sua formação; esta energia primitiva ainda está sendo liberada lentamente. Outra fonte importante de energia é o decaimento radioativo nas partes sólidas da Terra, bem abaixo da superfície. A energia interna da Terra impulsiona as etapas internas do ciclo das rochas, resultando na litificação de sedimentos, falhas (causando terremotos), dobramento, metamorfismo, soerguimento e a fusão parcial que gera atividade ígnea.

Portanto, a maior parte da energia que afeta a Terra vem do Sol. Outras fontes de energia são a energia primitiva e a energia do decaimento radioativo, descritas acima. Além disso, há energia potencial gravitacional e energia cinética rotacional. A atração gravitacional do Sol, da Terra e da Lua, a rotação da Terra, a translação da Lua ao redor da Terra, a Terra e a Lua orbitando ao redor o Sol, geram energia que é convertida em energia térmica, chamada de "aquecimento das marés".

2 A Terra é um sistema, dentro do sistema solar, dentro do universo

2.1 Origens

Embora a velocidade da luz seja enorme, quase $300.000 \text{ km} \cdot \text{seg}^{-1}$ (viajando 300.000 km a cada segundo), ainda leva 8 minutos para a luz do Sol chegar até nós e vários anos para a luz das estrelas próximas alcançar nossos olhos. Portanto, olhar para o céu noturno significa que olhamos para trás no tempo. Com telescópios poderosos, podemos ver galáxias, ou "ilhas" cósmicas de bilhões a centenas de bilhões de estrelas, como pareciam no passado distante. Nossos estudos mostraram que o universo começou há cerca de 14 bilhões de anos. No início não haviam estrelas ou galáxias, mas todo o universo estava repleto de radiação altamente energética. No "**big bang**", o universo começou a se expandir e a radiação foi transformada em matéria.

O tipo de matéria mais comum é o hidrogênio - o átomo mais simples. No entanto, quase tudo na Terra e além, incluindo nossos próprios corpos, é feito de outros tipos de átomos que foram formados pela primeira vez nos núcleos de estrelas. Conforme a matéria do universo esfriou, as estrelas começaram a se formar e se agrupar em galáxias. A energia que impulsiona as estrelas, incluindo nosso Sol, vem da união (fusão) de átomos de hidrogênio para formar átomos maiores. Assim, nos núcleos das estrelas, começaram a se formar átomos abundantes na Terra, como silício, oxigênio, carbono, nitrogênio e ferro. Com o tempo, as estrelas lançaram uma grande quantidade de matéria no espaço, incluindo esses átomos recém-formados. Então, a cerca de 4,6 bilhões de anos atrás, o sistema solar de nosso Sol começou a se formar a partir do hidrogênio original e das "cinzas" de antigas estrelas. O nosso sistema Terra é uma parte do nosso sistema solar.

Figura 2.1. Galáxias fotografadas pelo telescópio Hubble. Cores foram adicionadas, com base nos dados coletados, para destacar as principais características da imagem.



Caixa 2.1. O universo do seu próprio quintal.

Você pode ver as estrelas do universo, e alguns dos planetas do sistema solar, de seu próprio quintal, mas você será capaz de ver muito mais se for a uma área rural próxima em uma noite sem lua, onde não há rua ou outras luzes. À medida que seus olhos se acostumam com a escuridão, mais e mais estrelas aparecerão. As estrelas cintilam, mas se houver um planeta à vista, ele brilhará com uma luz mais estável. Se você ver uma luz movendo-se continuamente pelo céu, é um satélite refletindo o Sol. Se estiver realmente escuro, você poderá ver uma faixa de estrelas arqueando no alto; esta é a Via Láctea, estrelas da nossa própria galáxia, que você está vendo de lado. Se você tiver uma câmera com um obturador que pode ser deixado aberto e você a posicionar em um local estável, será capaz de capturar essas imagens do universo. Deixar o obturador aberto por uma hora ou mais também irá capturar como as estrelas parecem formar um arco no céu conforme a Terra gira.

Caixa 2.1. O universo de seu próprio quintal, continuação.



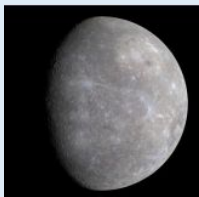
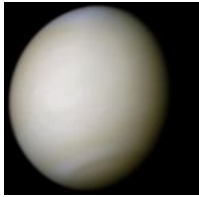
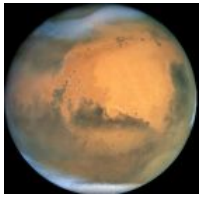
Uma capela na França sob a Via Láctea.

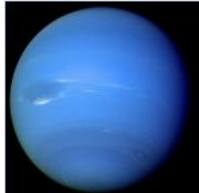


Movimento de estrelas capturado por um obturador aberto, Chile.

Nosso sistema solar é formado por oito planetas, mostrados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Planetas do sistema solar, em ordem a partir do Sol

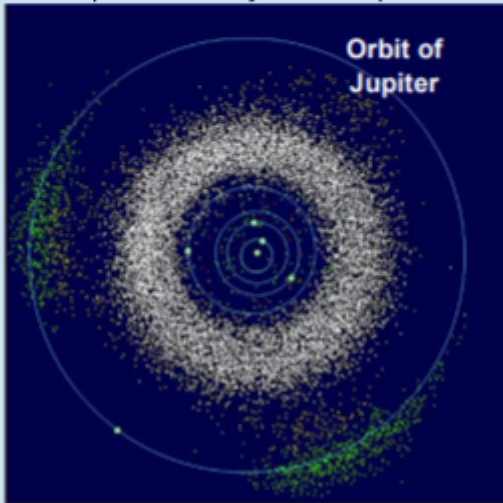
Nome	Imagem (Não está em escala)	Distância do Sol, em milhões de km	Diâmetro em km	Massa em 10^{24} kg	Temperatura média da superfície, em °C	Outras Características
Mercúrio		57,9	4.879	0,33	167	Sem luas, Superfície com crateras, Planeta terrestre sólido
Vênus		108,2	12.104	4,87	464	Sem luas, Coberto por nuvem, Superfície com crateras, Planeta terrestre sólido
Terra		149,6	12.756	5,97	15	Uma lua, Oceanos, Algumas crateras conhecidas, Planeta terrestre sólido, Tectônica de placas identificadas
Marte		227,9	6.792	0,64	-65	2 luas, Superfície com crateras, Grande vulcão, Processos sedimentares no passados,

						Planeta terrestre
Júpiter		778,6	142.984	1.898	-110	67 luas, Sistema de anéis, Cinturão de nuvem, Grande tempestade vermelha, Planeta gigante gasoso
Saturno		1433,5	120.536	568	-140	62 luas, Sistema de anéis, Cinturão de nuvem, Planeta gigante gasoso
Urano		2782,5	51.118	86,8	-195	27 luas, Sistema de anéis, Planeta gigante gasoso
Netuno		4495,1	49.528	102	-200	14 luas, Sistema de anéis, Planeta gigante gasoso
Plutão não é mais considerado um planeta; é um dos planetas anões						

Nosso sistema solar não contém apenas planetas e planetas anões, mas também cinturões de asteroides e cometas. Muitos dos meteoritos que atingiram a Terra e outros planetas vieram originalmente do cinturão de asteroides ou de cometas. Os impactos de meteoritos e corpos maiores são um dos eventos catastróficos que afetam a Terra e outros planetas ao longo do tempo (consulte a seção 3.4).

Caixa 2.2. O cinturão de asteroides.

O principal cinturão de asteroides fica entre as órbitas de Marte e Júpiter, contendo bilhões e bilhões de pedaços de rocha e pedra. Alguns são ricos em carbono, alguns em silício e alguns em níquel-ferro. O maior asteroide tem quase 1000 km de diâmetro, mas a maioria tem o tamanho de um seixo ou menor. Embora existam muitos asteroides, eles estão tão distantes uns dos outros que muitas espaçonaves viajaram com segurança por eles sem qualquer dano. Enquanto em outras partes do sistema solar, detritos espaciais como este colidiram para construir um planeta, parece que a proximidade do grande planeta Júpiter afetou este cinturão, impedindo que a construção de um planeta acontecesse.



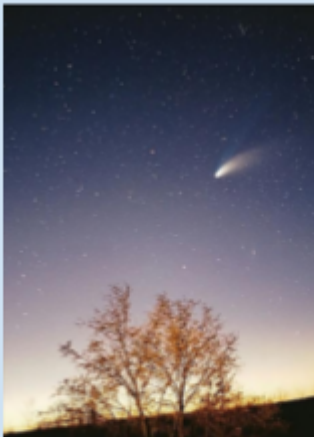
O cinturão de asteroídes entre Marte e Júpiter.



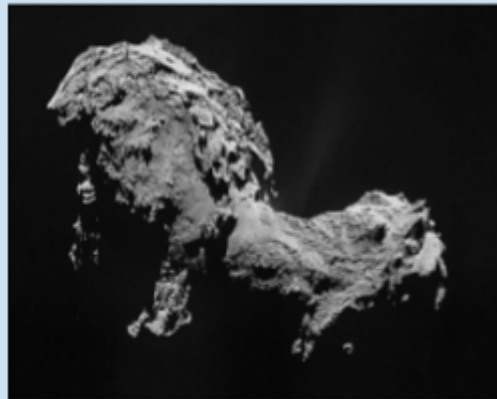
Asteróide Gaspra fotografado da nave espacial Galileo.

Caixa. 2.3. Cometas.

Os cometas são corpos gelados do sistema solar que, ao se aproximarem do Sol, liberam gases que costumam formar uma cauda branca. A cauda flui na direção do vento solar, sempre de costas para o Sol. Muitos cometas têm enormes órbitas ovais que os levam do espaço profundo para o coração do sistema solar, e novamente para fora.



Cometa Hale-Bopp visto da Croácia em 1997.



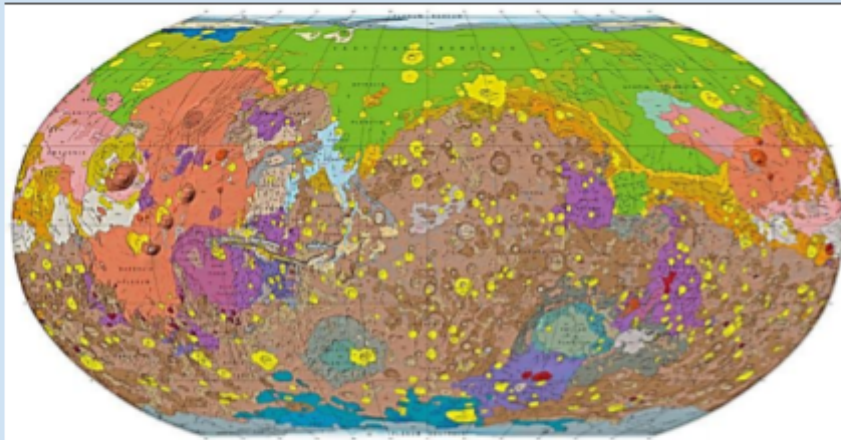
Cometa Churyumov-Gerasimenko em setembro de 2014 fotografado pela nave Rosetta antes do módulo de pouso Philae pousar em sua superfície.

Os únicos corpos no sistema solar nos quais conseguimos, até agora, pousar instrumentos com segurança são a Lua da Terra, o cometa Churyumov-Gerasimenko, os planetas Marte e Vênus e a lua Titã de Saturno.

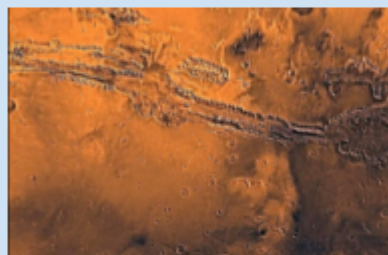
Caixa 2.4. Geologia planetária – Marte

Antes de pousar instrumentos em Marte, já tínhamos uma ideia muito boa da geologia do planeta, uma vez que os princípios geológicos que se aplicam à Terra também se aplicam a outros planetas. Observações de telescópios e satélites em órbita mostraram uma enorme região vulcânica cobrindo 25% da superfície, incluindo três enormes vulcões, os maiores vulcões do sistema solar (vermelho e roxo no mapa). Havia também crateras muito grandes produzidas por impactos, com bordas elevadas e depressões centrais, a maior com 1.800 km de largura (amarelo no mapa). Perto do equador havia um sistema de cânions profundos com mais de 4.000 km de extensão, formado por falhas no passado distante. Algumas partes da superfície tinham sistemas de vales cortados por inundações de água; mais de 4000 vales formados pela água com leitos de lagos e deltas já foram mapeados.

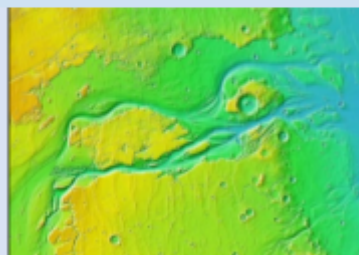
As sondas forneceram ainda mais evidências de fluxo de água, incluindo camadas sedimentares e seixos arredondados. As sondas também mostraram que a maior parte de Marte é um deserto de crateras, coberto por pedregulhos e poeira. Onde quer que esteja a água, que costumava fluir sobre a superfície, ela não está mais lá agora.



Mapa geológico de Marte. As áreas verdes possuem geologia de planície; áreas vermelhas e roxas são de rochas vulcânicas; azul são áreas de geologia polar; as cores marrom e laranja são regiões rochosas elevadas; em amarelo são crateras de impacto.



O sistema de cânion falhado perto do equador.



O canal fluvial de Kasei Valles.

Caixa 2.4. Geologia planetária - Marte, continuação



Vista local do Pathfinder em Marte - rochas e poeira em primeiro plano com colinas baixas

2.2 O Sol

O Sol é nossa estrela. Ele fornece energia por todo o sistema solar e além.

A energia do Sol passa pelo espaço, principalmente como luz visível, radiação infravermelha e ultravioleta. Quando essa energia aquece a superfície da terra e dos oceanos, parte dela é irradiada de volta e aquece a atmosfera. A energia do Sol é recebida durante o dia e é irradiada de volta ao espaço à noite. Esses fluxos de energia são equilibrados para que a temperatura de toda a Terra permaneça a mesma diariamente. As observações do espaço baseadas na produção de energia do Sol, que começaram na década de 1970, mostram que essa produção de energia muda de acordo com vários ciclos, mas apenas cerca de 0,1%.

Figura 2.2. O Sol - a nossa principal fonte de energia



2.3 Sol, Terra e Lua

2.3.1 Dia / noite

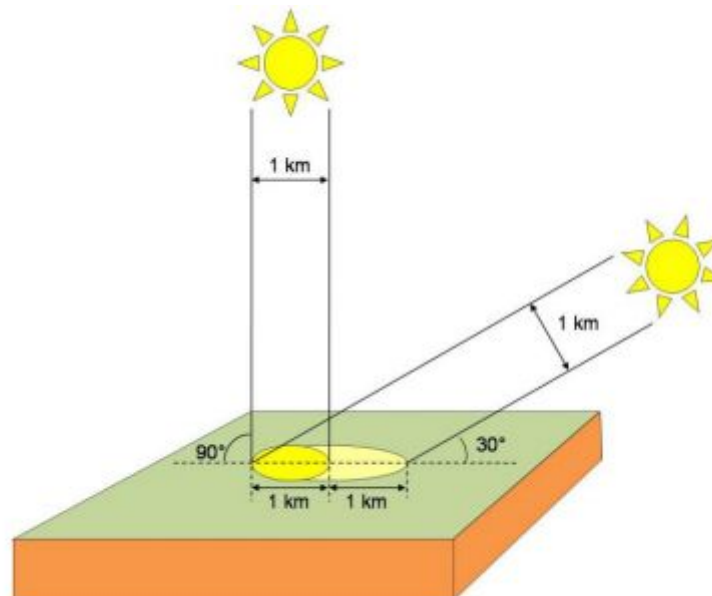
A Terra recebe energia do Sol como radiação ultravioleta, visível e infravermelha, que aquece a Terra. O aquecimento é maior quando o Sol aparece mais alto no céu, conforme mostrado na Figura 2.3. Quando o Sol aparece diretamente acima de nós, um feixe de radiação de 1km de largura aquece uma zona da Terra com 1km de largura, mas quando o ângulo do Sol é de 30°, um feixe semelhante de 1km de largura aquece uma zona de 2km de largura da Terra, de modo que metade da quantidade de aquecimento é recebida em cada ponto.

Caixa 2.5. Mudando as sombras com a hora do dia.



Quando o Sol aparece o mais alto no céu durante o meio do dia, as sombras são curtas. Conforme o Sol se põe, as sombras se tornam mais longas. A mudança de posição do Sol no céu é o resultado da rotação da Terra. Aqui, a foto da esquerda foi tirada às 13h00 e a da direita às 16h00 em Ibadan, na Nigéria.

Figura 2.3 O efeito de aquecimento do ângulo do Sol no céu



O aquecimento da Terra leva tempo, de modo que a parte mais quente do dia geralmente é posterior à hora em que o Sol está mais alto no céu.

A quantidade de calor recebida depende de como é a superfície. As superfícies escuras absorvem e reirradiam mais calor do que as superfícies de cores claras, uma vez que as superfícies de cores claras refletem mais da radiação; este é o efeito albedo. A terra aquece mais rápido do que a água, porque a água faz circular o calor recebido nas profundezas do corpo d'água. Mas a terra também resfria mais rápido do que a água, porque com a circulação a água leva mais tempo para perder seu calor. Isso significa que se você mora perto de um grande corpo d'água, as temperaturas não vão subir tanto quanto se você morasse muito longe da água, mas também não vão cair tanto. Portanto, as áreas costeiras normalmente têm altas e baixas de temperatura mais moderadas do que as áreas do interior.

A Terra irradia a energia que recebeu durante o dia de volta ao espaço como radiação infravermelha durante a noite. A parte mais fria da noite geralmente é logo após o amanhecer, quando a radiação que sai começa a ser equilibrada pela radiação que entra novamente.

2.3.2 As estações

O efeito de aquecimento da altura aparente do Sol no céu, na Figura 2.3, afeta as estações da Terra, conforme mostrado na Tabela 2.2. A duração dos dias e das noites também tem um efeito importante.

Tabela 2.2. A inclinação da Terra causando estações

Hemisfério		Estação	Diagrama	Ângulo dos raios	Duração do dia / noite
Março				Março	
Norte	Primavera	O mesmo ângulo de raios e duração do dia/noite em todos os lugares da terra			
Sul	Outono				
Junho				Junho	
			Norte quente por que:		
Norte	Verão		Sol alto no céu	Longos dias para receber Sol	
Sul	Inverno		Sul frio por que:		
Setembro			Sol baixo no céu	Longas noites para perder calor	
			Setembro		
Norte	Outono		O mesmo ângulo de raios e duração do dia/noite em todos os lugares da terra		
Sul	Primavera				
Dezembro			Dezembro		
			Norte frio por que:		
Norte	Inverno		Sol baixo no céu	Longas noites para perder calor	
Sul	Verão		Sul quente por que		
			Sol alto no céu	Longos dias para receber Sol	

Não há muita mudança sazonal perto do Equador, uma vez que o Sol sempre aparece alto no céu, portanto, quente o ano todo. As variações sazonais são moderadas por corpos d'água próximos da mesma forma que as temperaturas diárias. Portanto, as áreas costeiras normalmente permanecem mais frias no verão do que as áreas do interior, mas são mais quentes no inverno.

2.3.3 As fases da lua

Como a Terra, metade da Lua é iluminada pelo Sol e a outra metade está sempre na escuridão. A Lua leva em torno de 27 dias para dar a volta, ou orbitar, a Terra. Quando a metade da Lua

iluminada pelo Sol está voltada para a Terra, podemos ver a Lua inteira - isso é chamado de lua cheia. À medida que a Lua continua sua órbita, vemos cada vez menos o lado iluminado e cada vez mais o lado escuro. Após cerca de 13 dias, o lado escuro da Lua está voltado para nós, então não podemos vê-lo de forma alguma - esta é a fase da lua nova. Depois disso, vemos mais e mais o lado iluminado da Lua conforme ela orbita de volta para a fase de lua cheia novamente, como nas Figuras 2.4. e 2.5.

Figura 2.4. As fases da Lua

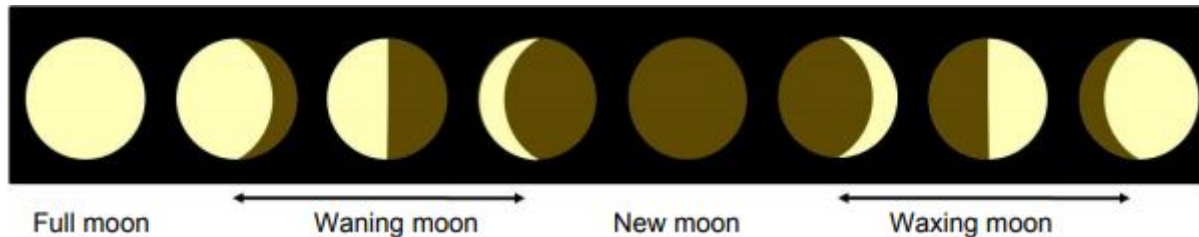


Figura 2.5. A Lua ficando cheia - uma colagem de três fotos



2.3.4 Eclipses

A órbita da Lua está em um ângulo com a órbita da Terra, então geralmente a Lua não se move entre a Terra e o Sol, e a Terra não se move entre a Lua e o Sol.

Às vezes, porém, a Lua se move entre a Terra e o Sol; isso é visto como um **eclipse solar** na Terra. Embora a Lua seja muito menor que o Sol, ela está muito mais perto da Terra, portanto, quando está entre eles, pode cobrir completamente o Sol. Durante esse eclipse solar, a Lua é vista cobrindo o Sol apenas de algumas partes da Terra; em outras áreas, um eclipse parcial é visto, como na Figura 2.6.

Se você deseja assistir a um eclipse solar, deve proteger seus olhos, usando óculos especiais para eclipses. À medida que você observa, verá a forma da Lua conforme ela cobre gradualmente o Sol, enquanto a Terra fica cada vez mais escura. Em seguida, a Lua se move e a luz do dia normal reaparece lentamente.

Quando a Lua se move atrás da Terra, e o Sol, Terra e Lua estão alinhados, a sombra da Terra cobre a Lua em um **eclipse lunar**. A sombra da Terra se move até cobrir a Lua por inteiro e a Lua não pode mais ser vista. Então a sombra se move e a Lua aparece novamente. Conforme isso acontece, a refração da luz pela atmosfera da Terra pode colorir a Lua de laranja-avermelhado por um tempo, Figura 2.7.

Figura 2.6. Uma colagem de fotos de um eclipse solar parcial, visto da Alemanha

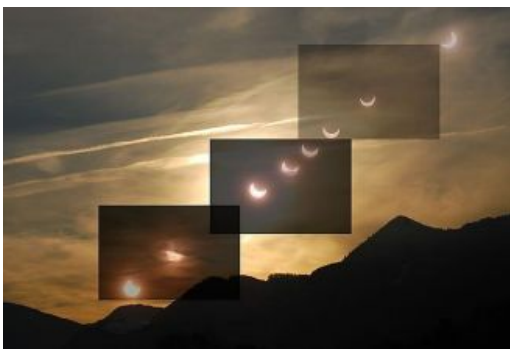


Figura 2.7. Uma colagem de fotos de um eclipse lunar.



3 A Terra é um sistema que mudou ao longo do tempo

3.1 Extensão do tempo geológico

A Terra, tal como foi medido por **datação radiométrica**, tem a mesma idade do sistema solar, 4,6 bilhões de anos (4600 milhões de anos).

Antes da datação radiométrica tornar-se disponível, vários geólogos tentaram estimar sua idade. Eles concluíram que ela era realmente muito antiga e escreveram que estudar a Terra era como olhar para um "abismo do tempo" (John Playfair em 1805) sem "nenhum vestígio de um começo - nenhuma perspectiva de um fim" (James Hutton em 1795). Embora, naquela época, não fosse possível descobrir a idade em anos (ou milhões de anos) de qualquer evento terrestre, era possível colocar os eventos geológicos em ordem. Ordenar eventos é chamado de **datação relativa**, uma vez que nos permite dizer qual evento era mais antigo e qual era mais jovem, um em relação ao outro.

3.2 Datação relativa

Vários métodos diferentes são usados na **datação relativa**. Tais métodos foram descobertos há muito tempo e têm sido usados por geólogos desde então. Eles estão exibidos na Tabela 3.1. Alguns dos métodos são princípios porque funcionam na maioria das vezes, mas podem haver circunstâncias geológicas específicas onde elas não se aplicam; outros são leis, que sempre funcionam, desde que as observações sejam feitas com cuidado.

Tabela 3.1. Métodos de datação relativa

Método da datação relativa	Descrito primeiro por:	Detalhes do método	Exemplo
Princípio da superposição de estratos	Nicolau Steno em 1669	Quando as rochas estão deitadas umas sobre as outras, aquelas no topo são as mais jovens (exceções são, por exemplo, quando uma sequência é perturbada por deformações ou quando uma falha empurra uma sequência mais antiga sobre uma mais jovem)	 Calcário inclinado em Chipre - rochas mais jovens no topo  Rocha dobrada na Groenlândia - a rocha no topo do a ilha foi virada, colocando uma rocha mais antiga no topo.

Lei da relação de corte transversal	Nicolau Steno em 1669	Qualquer coisa (por exemplo, fratura, rocha, veio, superfície de erosão) que atravessa qualquer outra coisa deve ser mais jovem.	 Diques no Colorado, EUA; rocha cinza mais antiga, cortada por um dique próximo da horizontal, e depois por um dique inclinado - mais jovem.
-------------------------------------	-----------------------	--	---

Lei do fragmento incluído.	Charles Lyell em 1830	Qualquer fragmento incluído em outra rocha deve ser mais antigo.	 Herm, Ilhas do Canal, Reino Unido; os xenólitos (fragmentos incluídos) de rocha escura em granito mais claro são mais antigos.
Lei da sucessão faunística	William Smith em 1816	Grupos de fósseis seguem uns aos outros em uma ordem conhecida na sequência de rochas, permitindo-nos colocar as rochas em ordem de tempo	 Um dos desenhos de William Smith de um grupo de fósseis usado para datar uma rocha.
Rochas deformadas/ metamorfoseadas devem ser mais antigas do que as que não são - uma lei	Autor desconhecido	Uma vez que a deformação e eventos metamórficos regionais afetam todas as rochas em uma região, qualquer rocha não deformada ou não metamorfoseada deve ser mais jovem	 Uma inconformidade em Bochum, Alemanha. A rocha superior não deformada é mais jovem que a rocha cinza deformada e inclinada abaixo.

Alguns desses métodos de datação relativos são baseados em dois outros princípios importantes, descritos inicialmente por Nicolau Steno, conforme mostrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Princípios de deposição de sedimentos, lavas e cinzas vulcânicas

Princípios de formação das rochas	Descrito primeiro por	Detalhes	Exemplo que segue o Princípio	Exemplo que não segue o Princípio
Princípio da horizontalidade original	Nicolau Steno em 1669	Camadas Sedimentares são originalmente depositadas na horizontal (como lavas e cinzas vulcânicas), mas, às vezes, são depositadas em um ângulo	 Sedimentos do Mioceno depositados horizontalmente - Drahomyrchany, Ucrânia	 Sedimentos não depositados originalmente na horizontal – areias com estratificação cruzada depositadas na Era do Gelo. Estônia
Princípio da continuidade lateral	Nicolau Steno em 1669	Camadas sedimentares continuam lateralmente por grandes áreas (assim como depósitos de lava e cinzas) - mas há situações incomuns em que isto não ocorre.	 As rochas sedimentares lateralmente contínuas do Grande Canyon, Arizona, EUA	 Sedimentos não contínuos, depósitos fluviais na Islândia - que param nas laterais do vale

Estes princípios e leis podem ser usados para calcular a história geológica de uma área, sem conhecer a idade real das rochas.

Caixa 3.1. Usando métodos de datação relativa para calcular a história geológica das rochas; nesta sequência de rochas no Deserto de Negev, em Israel:



- As rochas sedimentares horizontais são depositadas em sequência, então, de acordo com o "Princípio da superposição", as rochas mais antigas estão na base;
- As rochas foram originalmente depositadas horizontalmente e continuamente sobre uma ampla área, como no "Princípio de horizontalidade original" e o "Princípio de continuidade lateral";
- A camada mais espessa perto da base da sequência é um conglomerado contendo seixos; de acordo com a "Lei dos fragmentos incluídos", os seixos devem ser mais antigos do que a camada em que são encontrados;
- As rochas foram cortadas por um dique vertical de rocha ígnea que, de acordo com a "Lei das relações de corte transversal", deve ser mais jovem que os sedimentos horizontais que corta;
- Tudo foi cortado pela superfície de erosão que é a face do penhasco de hoje, então este é o último evento, de acordo com a "Lei das relações de corte transversal"

Caixa 3.1. Usando métodos de datação relativa para calcular a história geológica das rochas, continuação.
Portanto, a história das rochas é:

ÚLTIMOS EVENTOS - * o topo e a face do penhasco moderno foram erodidos
* a sequência de rochas foi cortada por uma camada de magma líquido que solidificou em um dique
* as camadas restantes foram depositadas, ficando mais jovens em direção ao topo
* a camada mais baixa na face do penhasco foi depositada, seguida pelo conglomerado contendo os seixos

PRIMEIROS EVENTOS - * uma rocha foi formada e mais tarde foi erodida para formar seixos

William Smith usou fósseis para calcular a datação relativa de rochas, descrevendo seu método como a “Lei da sucessão faunística”. Ele reconheceu que muitas camadas de rochas sedimentares continham certos grupos de fósseis e estes poderiam ser rastreados por grandes áreas. Isso significava que, onde quer que ele encontrasse uma rocha com um certo grupo de fósseis, ele sabia que era uma rocha da mesma idade. Este método é chamado de **correlação**. Ele também percebeu que camadas contendo certos grupos de fósseis sempre eram encontrados na mesma ordem. Isso significava que quando ele encontrava uma rocha com um grupo de fósseis, ele sabia que rochas com outros grupos de fósseis seriam sempre encontradas acima ou abaixo, como mostrado na Tabela 3.3. Embora Smith tenha usado seu método para correlacionar rochas e colocá-las em sequências, ele não sabia por que os fósseis sempre eram encontrados na mesma ordem. Só mais tarde que Charles Darwin percebeu que a razão para esta ordem era a evolução.

Tabela 3.3. Método de William Smith aplicando a “Lei da sucessão faunística”

Sequência de William Smith		Idade relacionada a períodos do escala de tempo geológica, reconhecida depois de Smith	Desenho original de grupo fóssil de William Smith
Mais jovem	Calcário inferior	Idade do Cretáceo Superior	
	Areia verde	Idade do Cretáceo Inferior	
	Argila Carvalho (atualmente chamada Argila Kimmeridge)	Jurássico tardio, idade Kimmeridgiana	
Mais antigo	Pedra Kelloways	Idade do Jurássico Média	

Podemos agora aplicar o método de Smith de forma mais ampla, uma vez que sabemos que certos fósseis são encontrados apenas em certas idades de rochas. Assim, ao reconhecer os fósseis, sabemos a idade geológica das rochas, como na Tabela 3.4.

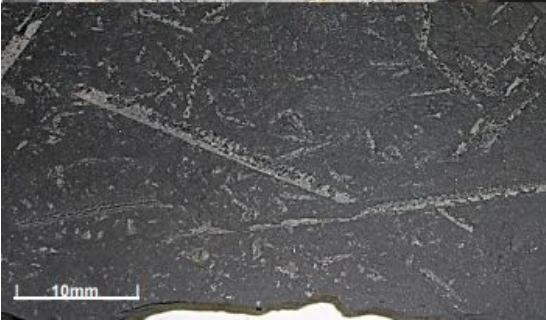
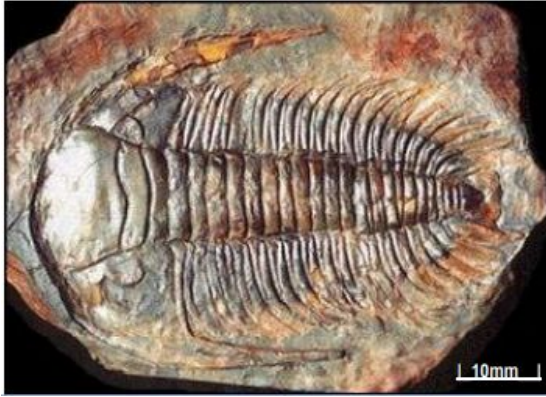
Tabela 3.4. Fósseis típicos encontrados em rochas de diferentes idades.

Idade geológica da rocha	Fóssil encontrado apenas em rochas desta idade	Imagem do fóssil
Quaternária	Concha de vieira <i>Argopecten gibbous</i> - vive no fundo do mar, mas pode mover sua concha para escapar de predadores; encontrada em sedimentos Neógenos, Quaternários e modernos; este é um espécime moderno.	
Neógeno	Concha de ostra <i>Crassostrea titan</i> , que viveu nas costas rochosas do mar; este espécime é da Formação Santa Margarita, Califórnia, EUA.	
Paleógeno	Fósseis de dentes do extinto tubarão-tigre <i>Carcharias tingitana</i> : dentes deste tubarão são encontrados apenas no Paleógeno; estes espécimes são de Khouribga, Marrocos.	
Cretáceo	Equinoderma <i>Micraster leskei</i> , um ouriço do mar vivendo no fundo do sedimento oceânico (sobre a superfície de sedimentos e dentro do substrato); esta espécie é encontrada apenas em no Cretáceo, embora outras formas de <i>Micraster</i> possam ser encontradas no Paleógeno; este espécime é do calcário perto de Puy, Dieppe, França.	

Tabela 3.4. Fósseis típicos encontrados em rochas de diferentes idades, continuação.

Idade geológica da rocha	Fóssil encontrado apenas em rochas desta idade	Imagem do fóssil
Jurássico	Amonite <i>Calliphyloceras</i>, viveu como um polvo com uma concha, nadando no mar; as paredes entre as câmaras tinham formas muito complexas, destacadas por partes mais escuras na foto; estes formas são encontradas apenas em amonites do Jurássico e do Cretáceo. 	
Triássico	Amonóide Ceratitida <i>Ceratites</i>; viveu nadando no mar como um polvo com uma concha; tinha paredes entre as câmaras que eram suavemente curvas em direção à boca da concha, mas complexas na outra direção; este é um espécime de Oberer Muschelkalk. Hohenlohe, Alemanha. 	
Permiano	Amonóide Goniatitida (encontrada também em rochas carboníferas e tardi-devonianas); parece um pequeno polvo com uma concha; viveu nadando no oceano - tinha paredes entre as câmaras em forma simples de zig-zag. 	
Carbonífero	Corais rugosos solitários de <i>Caninia</i> que viveram enraizados no fundo do mar; estes espécimes são do Calcário Lecompton, no Kansas, EUA.	

Tabela 3.4. Fósseis típicos encontrados em rochas de diferentes idades, continuação.

Idade geológica da rocha	Fóssil encontrado apenas em rochas desta idade	Imagem do fóssil
Devoniano	Trilobita <i>Phacops</i> - vivia no fundo do mar, provavelmente como um predador ativo; este é um espécime do Médio Devoniano; Folhelho Silica, Ohio, EUA.	
Siluriano	Graptólito <i>Monograptus</i> com um único braço carregando uma colônia de animais graptólitos; este animal flutuava no oceano.	
Ordoviciano	Graptólito <i>Tetragraptus</i> com quatro braços*; cada um dos braços carregava uma colônia de pequenos animais graptólitos; a colônia flutuava no oceano; este espécime é da Série Bendigoiana do Ordoviciano Inferior, Bendigo, Victoria, Austrália. * Apenas três dos quatro braços (estipes) pode ser visto na foto	
Cambriano	Trilobitas <i>Paradoxides</i> ; estes animais viveram no fundo do mar e provavelmente eram predadores.	

Quando os geólogos estavam usando fósseis para correlacionar e sequenciar rochas, eles descobriram que haviam mudanças repentinas em grupos de fósseis em certos locais no registro fóssil. Agora sabemos que isso ocorreu porque houveram grandes eventos de extinção naquela época, mas os primeiros geólogos estavam mais interessados em como essas mudanças poderiam ser usadas para dividir as rochas. Os fósseis foram usados para identificar períodos geológicos (com os nomes mostrados na primeira coluna da Tabela 3.4).

Caixa 3.2. Um exemplo de um período geológico - o Triássico

O período Triássico é o primeiro período do Mesozóico (Era da "vida média") e foi nomeado por Freidrich von Alberti em 1834 por causa de suas três camadas principais (tri = três), que são encontradas em toda a Alemanha e no noroeste da Europa. Estas são camadas vermelhas na base, seguidas por um calcário, com uma série de argilitos/arenitos no topo. Ele foi capaz de distinguir as rochas do Triássico das camadas de rochas superiores e inferiores por causa das principais mudanças nos fósseis encontrados na base e no topo da sequência. Agora sabemos que estas mudanças eram resultados de eventos em grande escala de extinções em massa.

Hoje em dia, sempre que possível, as posições dos principais limites na coluna geológica são identificadas por uma "Seção e Ponto do Estratótipo de Limite Global" (*Global Boundary Stratotype Section and Point*, ou GSSP, no original). É encontrado um local em algum ponto da Terra onde há uma série de camadas fossilíferas da idade correta, onde a posição exata dos limites entre elas pode ser encontrada. Um "*golden spike*" (também chamado de "prego dourado", em português) é colocado naquele local para marcar este importante ponto de referência.

O "*golden spike*" para a base do Triássico (e, portanto, o topo do período Permiano anterior) está em Meishan, na província de Zhejiang, na China, onde um microfóssil conodonte chamado *Hindeodus parvus* foi o primeiro a aparece na sequência geológica.

O topo do Triássico (e, portanto, a base do período Jurássico) tem seu "*golden spike*" em Kuhjoch, no Tirol da Áustria, onde o amonite *Psiloceras spelae tirolicum* foi encontrado pela primeira vez.



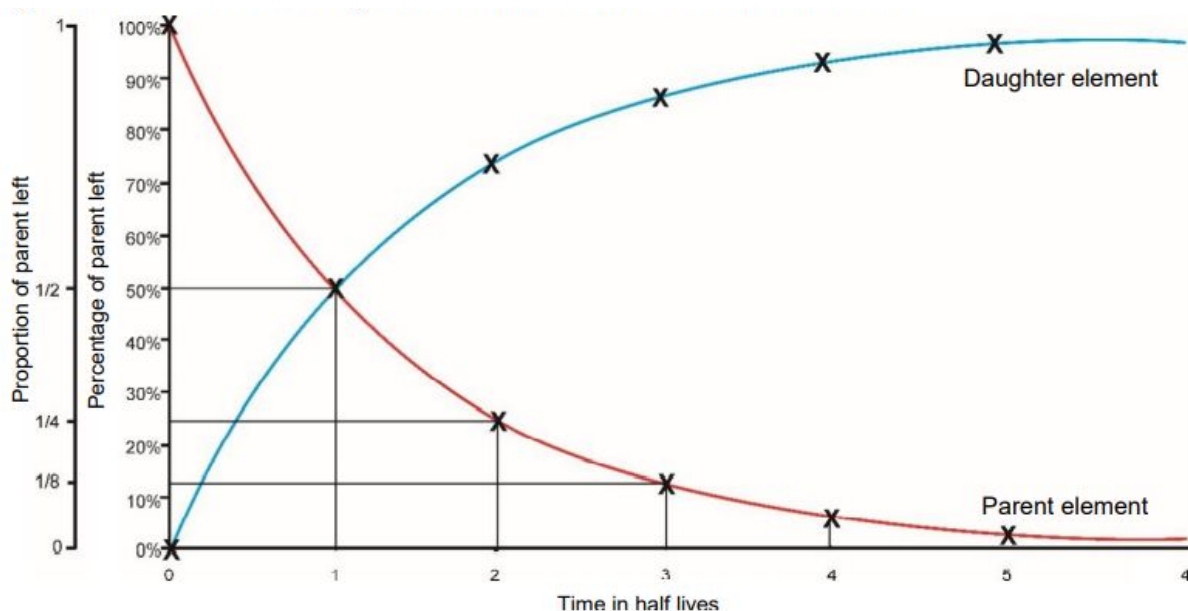
O marcador de bronze de um "*golden spike*" em um dos limites geológicos dentro do Período Triássico - com um molde de gesso da ceratite que aparece pela primeira vez no registro geológico lá, marcando o limite.

Métodos de datação relativa foram usados para calcular as idades relativas das rochas e períodos geológicos por muitos anos, mas não sabíamos a idade de cada período, ou a idade dos limites entre um período e outro, até que a datação radiométrica se tornasse um recurso disponível.

3.3 Datação absoluta

A datação radiométrica tornou-se possível quando foi descoberto que os elementos radioativos contidos em algumas rochas e minerais se decompõem para formar outros elementos. Seu decaimento ao longo do tempo acontece de maneira previsível que pode ser mostrado em um gráfico; este gráfico é frequentemente chamado de **curva de decaimento radioativo** (Figura 3.1).

Figura 3.1. A curva de decaimento radioativo para a decomposição de todos os materiais radioativos



O elemento radioativo que decai é chamado de elemento pai, e o novo elemento produzido pelo decaimento é o elemento filho. O gráfico mostra que depois de um certo tempo, metade do elemento pai se decompõe para produzir o filho. Este tempo é chamado de **meia-vida**. Depois de outra meia-vida, outra metade do elemento pai terá decaído, então sobra apenas um quarto; a substância então contém 25% do pai e 75% do filho. Depois de passada uma terceira meia-vida, outro oitavo (12,5%) do pai terá se decompuesto, então a substância é 12,5% pai e 87,5% filho. O decaimento continua, com a porcentagem de elemento pai se tornando cada vez menor enquanto a quantidade de elemento filho torna-se cada vez maior.

Embora todos os materiais radioativos se decomponham de acordo com este padrão, a duração de suas meias-vidas varia enormemente, de bilhões de anos a microssegundos e menos. Se escolhermos um elemento radioativo com uma taxa de decaimento conhecida, podemos medir a quantidade de produtos pai e filho, para nos dar a idade em que o elemento se formou. Isso nos dá então a idade do mineral ou rocha em que foi encontrado. Este método é chamado de **datação absoluta**, porque ele fornece uma idade em anos, milhares, milhões ou bilhões de anos. Como as medições envolvem uma pequena quantidade calculada de erro, as medidas de datação radiométrica são sempre fornecidas mostrando o erro potencial.

Caixa 3.3. A faixa de erro fornecida com datações radiométricas absolutas.



A cidade de Edimburgo, na Escócia, foi construída em torno de um antigo vulcão. Minerais de feldspato das rochas vulcânicas foram usados para datar a erupção. A data fornecida pelo decaimento radioativo do argônio no feldspato foi de 349 ± 4 milhões de anos, mostrando que o vulcão entrou em erupção no período Carbonífero, entre 353 e 345 milhões de anos atrás.

A datação absoluta só pode ser usada para rochas ou minerais que contenham o tipo certo de elementos radioativos e dá a idade em que aquela rocha se formou. Isso funciona bem para a maioria das rochas ígneas e algumas rochas metamórficas. Porém não é tão útil para rochas sedimentares, uma vez que os grãos de sedimento foram formados mais cedo, antes de serem erodidos e depositados. Isso torna difícil vincular idades radiométricas com idades de correlação fóssil, uma vez que os fósseis são encontrados nas rochas sedimentares. Esta é uma das razões pelas quais demorou muito para alocar as idades absolutas para o limite entre períodos na coluna geológica. No entanto, quase todas essas idades agora foram confirmadas, permitindo-nos produzir a coluna geológica com idades, apresentadas na Tabela 3.5. Os principais eventos da história geológica foram adicionados à coluna final desta tabela.

Tabela 3.5. As principais subdivisões do tempo geológico com base na última Carta Cronoestratigráfica Internacional publicada pela Comissão Internacional de Estratigrafia *

Eon	Era	Period	Abbreviation	Age	Major events
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary	Q	0	
				2.6	3.3 Oldest stone tools
		Neogene	N		
	Mesozoic	Paleogene	Pg	23	50 Himalayan mountains
				66	66 K-Pg mass extinction
		Cretaceous	K		
	Palaeozoic	Jurassic	J	145	130 Early flowering plants
				160	160 Early birds
		Triassic	T	201	190 Opening of Atlantic Ocean
				220	220 Early mammals
		Permian	P	252	252 'Great dying' mass extinction
				299	299 Supercontinent Pangaea first formed
		Carboniferous	C		
				315	315 Early reptiles
	Proterozoic	Devonian	D	359	370 Early amphibians
		Silurian	S	419	
				444	400 Early insects
		Ordovician	O		430 Early land plants
				485	530 Early fish
Precambrian	Proterozoic			541	541 Life with shells/hard parts
				2,000	2,000 Early multicelled organisms
	Archaean			2,100	2,100 Early eukaryotes
				2,700	2,700 Free oxygen in atmosphere
Hadean				3,500	3,500 Early bacteria and algae
				4,000	4,000 Oldest known rocks
				4,600	4,600 Origin of the Earth

* À medida que os métodos de datação de rochas melhoraram, algumas das idades na tabela mudaram com o tempo. A Tabela 3.5 mostra a última versão.

3.4 Taxas de processos

Ao mesmo tempo, pensava-se que a maioria dos processos geológicos acontecia de forma lenta e constante. Agora sabemos que, enquanto alguns processos são realmente muito lentos e constantes, outros podem ser muito rápidos e catastróficos. Por exemplo, leva milhões de anos para uma sequência de rochas sedimentares ser depositada, mas camadas individuais podem ser depositadas em segundos. Da mesma forma, o resfriamento do magma líquido nas profundezas

do subsolo até que se torne uma rocha ígnea sólida pode levar milhões de anos, enquanto os vulcões podem entrar em erupção em segundos. As rochas podem ser erguidas lentamente, como quando o gelo sobreposto derrete, permitindo que a terra se erguesse, ou pode ser levantada repentinamente, em terremotos.

Agora parece que a evolução, que também foi pensada como um processo constante, muitas vezes acontece em explosões repentinas, embora as extinções em massa também pareçam ser, muitas vezes, catástrofes repentinas.

Portanto, tornou-se claro que o registro geológico de bilhões de anos é uma combinação de processos extremamente lentos intercalados por processos catastróficos violentos, com outros processos atuando em todos os intervalos de tempo.

Caixa 3.4. De processos muito, muito rápidos a muito, muito lentos.

No fundo do mar, lamas finas se assentam em suspensão na água do mar muito, muito lentamente, de modo que pode levar milhões de anos para construir uma sequência de sedimentos. No entanto, às vezes, em terra, em áreas costeiras e nas profundezas do oceano, camadas de sedimentos podem ser depositadas muito mais rapidamente, em dias ou mesmo horas, por tempestades, deslizamentos de terra ou outros eventos catastróficos.



Núcleos de sedimentos do fundo do mar perto da Groenlândia; as camadas de sedimentos se acumularam ao longo de longos períodos de tempo.



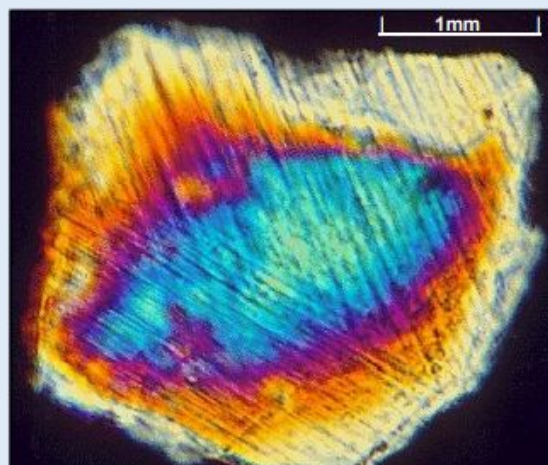
Camada cinza de um depósito de tsunami de 8.000 anos na Escócia, depositado em minutos, com camadas de turfa escura acima e abaixo.

Caixa 3.5. Eventos de impacto catastrófico

Objetos do espaço frequentemente colidem com a Terra e outros planetas, mas a maioria deles são muito pequenos e não são detectados. No entanto, asteroides de 1 km de diâmetro atingem a Terra a cada meio milhão de anos, em média, enquanto asteroides de 5 km de diâmetro colidem com a Terra a cada 20 milhões de anos ou mais. Muitos pequenos asteroides se partem na atmosfera, mas asteroides maiores atingem a Terra e produzem crateras. O tamanho do impacto depende do diâmetro, densidade, velocidade e ângulo do corpo em colisão. Embora as crateras vulcânicas possam parecer muito semelhantes às crateras de impacto, apenas as crateras de impacto têm pequenos grânulos vítreos chamados tectitos e "quartzo de impacto", produzidos pela deformação do quartzo durante o impacto. Alguns impactos produzem camadas de irídio também, bem como camadas de fuligem e cinzas.



Formas de tectito comuns - halteres e lágrima.



Quartzo de impacto com planos de deformação vistos sob o microscópio em luz polarizada cruzada.

Caixa 3.5. Eventos de impacto catastrófico, continuação.

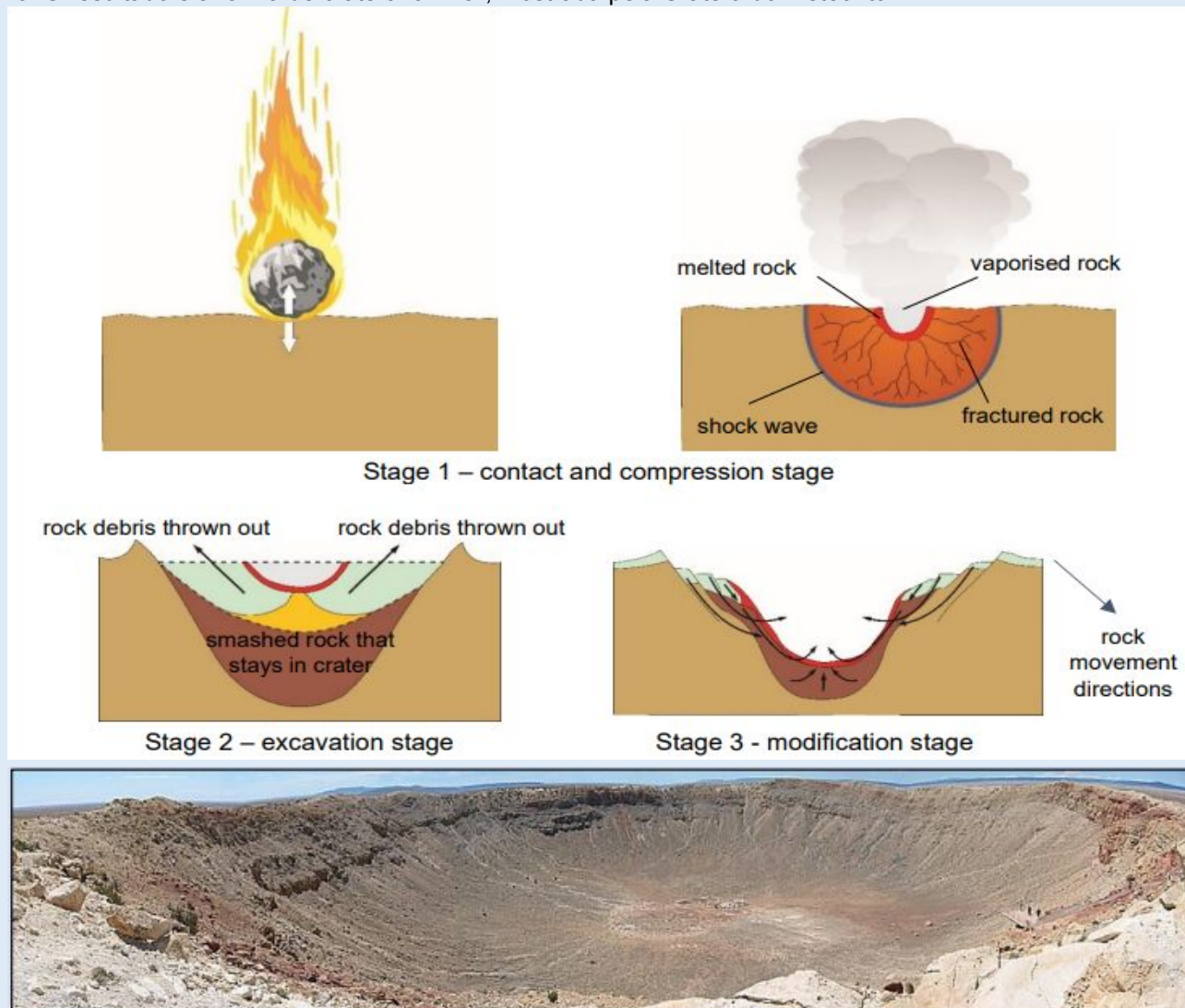


Cratera de Lonar na Índia - produzida por um impacto que se pensava ter sido cerca de 52.000 anos atrás.



A cratera Manicouagan com 100 km de largura na região de Côte Nord, Quebec, Canadá, vista da Estação Espacial Internacional - formada por um impacto de 215 milhões de anos.

A geologia dos impactos é incomum porque muitos dos eventos acontecem em segundos, ao invés dos intervalos de tempo muito mais longos geralmente estudados por geólogos. Os impactos geralmente têm os estágios mostrados abaixo. O resultado é a forma de cratera familiar, mostrada pela Cratera do Meteorito.



Cratera de meteorito (Barringer) perto de Flagstaff no Arizona, EUA, mostrando uma depressão de impacto típica com um centro elevado, cercada pela alta borda da cratera - formada há cerca de 50.000 anos.

4 O sistema Terra compreende esferas que interagem

Todo o sistema terrestre é formado por muitos, muitos subsistemas. Estes podem ser divididos em geosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera, embora haja muitas interações e *feedbacks* entre esses diferentes subsistemas, como mostrado no Capítulo 1.

4.1 Geosfera

A **geosfera** é a Terra sólida. Inclui toda a Terra, com seu núcleo, manto, crosta, rochas, minerais, fósseis e solos. Também inclui todos os processos que afetam a Terra sólida e seus materiais.

4.1.1 Materiais terrestres e suas propriedades

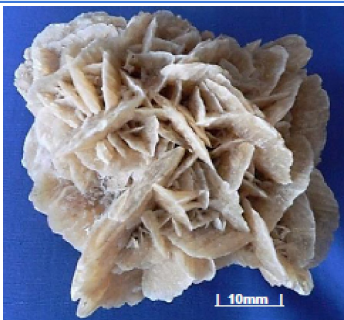
A parte exterior da Terra é formada de rochas e estas, por sua vez, são formadas de minerais ou fragmentos de outras rochas, e frequentemente são cobertas pelo solo.

4.1.1.1 Minerais

Minerais são substâncias não-orgânicas naturalmente formadas com estrutura cristalina e propriedades fixas. Eles podem ser formados de elementos simples, mas muitos são compostos químicos de dois ou mais elementos. Como as substâncias formadas naturalmente geralmente não são tão puras quanto os produtos químicos manufaturados, elas podem ter pequenas diferenças na química, estrutura cristalina e propriedades físicas. Diferentes minerais podem ser reconhecidos por suas propriedades – propriedades chave são cor, forma do cristal, dureza e a maneira como eles quebram. Alguns minerais têm propriedades particulares que ajudam na sua identificação, como a reação de calcita com ácido clorídrico diluído, o gosto salgado da halita, ou a alta densidade e brilho metálico de minerais de minério como galena. Minerais comuns são mostrados na tabela 4.1.

Tabela 4.1. Minerais comuns, sua química, forma e propriedades físicas.

Nome	Imagem	Química	Forma de bons cristais	Propriedades físicas
Quartzo Cristais de: localização desconhecida	 A photograph showing several translucent, colorless to light yellow quartz crystals of various sizes and shapes. A scale bar at the bottom left indicates 10mm.	Dióxido de silício; SiO_2	Forma aproximadamente hexagonal (6 lados)	Normalmente branco, cinza ou incolor, mas pode ter outras cores pálidas; Duro; Difícil de quebrar.
Feldspato Cristais de: Rock Creek Canyon, Sierra Nevada, Califórnia, EUA.	 A photograph showing a collection of feldspar crystals, which are typically light-colored (white, pink, or gray) and have a characteristic prismatic or tabular habit. A scale bar at the bottom left indicates 2.0 cm.	Silicato de cálcio/sódio/potássio; varia de $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ a $(\text{K},\text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	Frequentemente em forma de caixa	Normalmente branco ou cinza, às vezes rosa; Duro; Quebra ao longo de superfícies planas.

Mica Cristais de: localização desconhecida		Silicato complexo de sílica e oxigênio com cálcio, sódio, potássio, alumínio, magnésio e/ou ferro	Em forma de placas aproximadamente hexagonais (6 lados)	Normalmente incolor ou preto; Dureza baixa; Facilmente quebra em folhas planas.
Calcita Cristais de: Mina Nkana, Zâmbia		Carbonato de cálcio; CaCO_3	Dente de cão é uma forma comum, tem formato parecido com dentes de cachorro	Branco ou incolor; Dureza bastante baixa; Facilmente quebra em forma de cubo esmagado; Reage com ácido clorídrico diluído
Halita Cristais de: Mina de sal Wieliczka, Polônia		Cloreto de sódio; NaCl	Forma cúbica	Incolor, branco ou rosa; Dureza baixa; Muito facilmente quebrável em forma de cubos; Gosto salgado
Gypso Cristais de: localização desconhecida		Sulfato de cálcio; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Cristais finos, formam "rosas do deserto" como na imagem	Incolor, branco ou rosa; Baixa dureza; Facilmente quebra ao longo de superfícies planas.
Pirita Cristais de: localização desconhecida		Sulfeto de ferro; FeS_2	Frequentemente forma cúbica	Amarelo metálico brilhante; Duro; Difícil de quebrar; Alta densidade.
Galena Cristais de: Mina Gibraltar, Naica, Chihuahua, México		Sulfeto de chumbo; PbS Um minério de chumbo	Frequentemente forma cúbica	Cinza brilhante; Baixa dureza; Facilmente quebrável em forma de cubo; Alta densidade.

Caixa 4.1. Um mineral incomum – Diamante



Diamantes são formados sob grandes pressões de profundidade abaixo da superfície da Terra a partir do elemento carbono. Eles são trazidos para a superfície em rochas vulcânicas incomuns chamadas Kimberlitos. O magma ascendente perfura tubos circulares através da crosta em grande velocidade, carregando os diamantes. Os diamantes são extraídos de tubos de kimberlitos, como o “Grande Buraco” em Kimberley, África do Sul, mostrado na foto. Quando os kimberlitos erodem, os diamantes são transportados por rios e depositados em depósitos aluviais; Muitos diamantes são extraídos desses depósitos também.

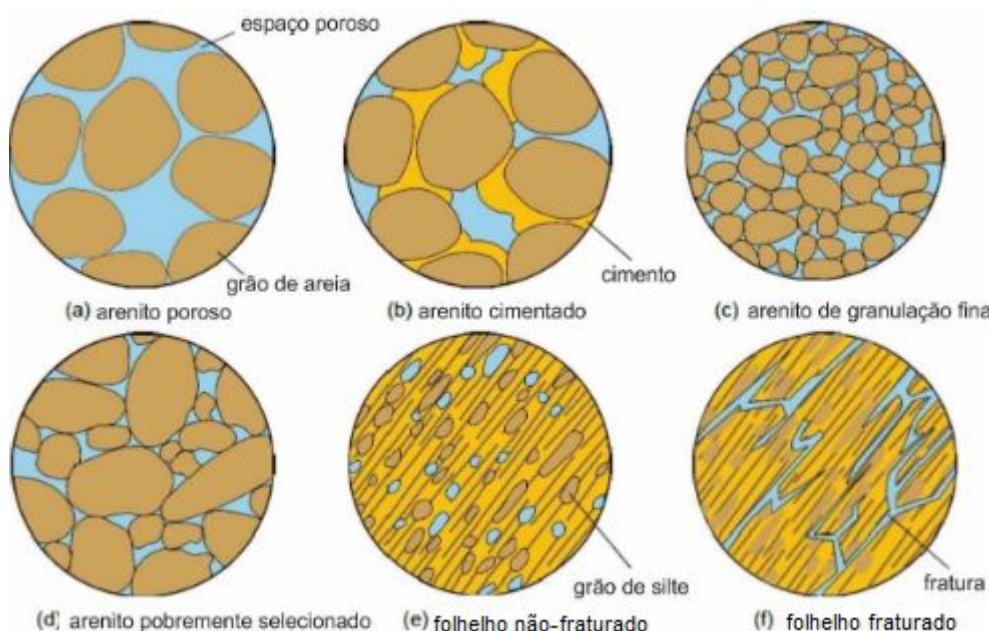
Diamantes são tão especiais porque as fortes ligações atômicas de carbono os tornam o mineral mais duro na Terra. Eles também possuem uma superfície muito brilhante. Diamantes brutos, como o mostrado na foto central, podem ser cortados para fazê-los refletir a luz ainda mais, fazendo deles as gemas mais valiosas, amplamente utilizadas em joalheria. Diamantes menores são usados para corte industrial e polimento porque eles são muito duros, e são frequentemente usados em brocas de dentistas também.

4.1.1.2 Rochas

Rochas são substâncias formadas naturalmente. Elas são formadas de minerais, fragmentos de outras rochas ou fósseis e são formadas através dos processos do ciclo das rochas, descritos na Seção 1.4.4. Rochas são identificadas e descritas com base em sua composição química e sua textura física. A composição química está ligada aos minerais que formam a rocha, enquanto que a textura da rocha depende dos tipos e tamanhos de partículas e como elas estão arranjadas. Essas características se ligam, por sua vez, à resistência das rochas ao desgaste e à sua porosidade e permeabilidade.

Porosidade é a quantidade de espaço ou poros na rocha, medido como uma porcentagem. 15% de porosidade é uma alta porosidade para rochas; muitas rochas têm porosidades muito menores que isto. A **permeabilidade** da rocha mede o quão rápido os fluidos podem atravessar as rochas. Rochas com alta porosidade possuem alta permeabilidade se os poros forem grandes o suficiente para os fluidos atravessarem e se os poros forem conectados entre si. Rochas com espaços de poros muito pequenos, como argilas, não permitem a passagem dos fluidos e são, portanto, porosas mas impermeáveis. Similarmente, os buracos de bolhas de gás em algumas lavas não são conectados, então a rocha novamente é porosa, mas impermeável (Figura 4.1). Rochas feitas de cristais interconectados ou que são bem cimentados ou de granulação muito fina, impedem os fluidos de fluírem através delas e são **impermeáveis**, a menos que contenham quebras e fraturas. Porosidade e permeabilidade controlam a quantidade de fluidos naturais como água, óleo e gás que podem ser armazenados e fluir através da rocha.

Figura 4.1. Porosidade e permeabilidade em rochas. A porosidade e permeabilidade em (a) foi reduzida pela cimentação em (b); a permeabilidade em (c) é muito baixa porque os espaços dos poros são pequenos; a permeabilidade em (d) também é baixa porque os espaços dos poros entre os grãos maiores foram preenchidos por grãos menores; o folhelho não fraturado em (e) é impermeável até que seja fraturado em (f).



Rochas formadas de grãos que são compactados e/ou naturalmente cimentados uns aos outros são **rochas sedimentares** – elas podem ter uma variedade de composições e texturas. As rochas sedimentares mais comuns são ricas em quartzo, feldspatos e minerais de argila. Eles podem ter uma variedade de tamanho de grãos, de conglomerados de granulação grossa (com grãos arredondados) e brechas (grãos de formato angular), passando por arenitos de granulação média, a rochas sedimentares de granulação fina como os lamitos, folhelhos e argila/argilitos. Calcários também são rochas sedimentares comuns e são formados principalmente de fragmentos de minerais de carbonato de cálcio como calcita, principalmente de conchas quebradas. Calcários podem ser identificados porque o carbonato de cálcio reage com ácido diluído – uma gota de ácido clorídrico no calcário produzirá uma reação efervescente. Calcários também variam de granulação grossa a fina e na cor do cinza, ao creme, ao branco do giz de granulação fina.

Rochas ígneas e metamórficas são formadas de cristais interligados que normalmente as tornam muito resistentes ao desgaste e também as tornam impermeáveis, a menos que elas estejam fraturadas. Em exemplares mais grossos, os cristais interligados podem ser vistos a olho nu ou com uma lente de mão.

Rochas ígneas já foram rochas fundidas, chamadas **magma**, e geralmente são formadas durante o seu resfriamento. À medida que o magma resfria, cristais de minerais crescem até se interligarem, enquanto a rocha se solidifica. Minerais de diferentes composições possuem cores diferentes e cristalizam a diferentes temperaturas, dessa forma rochas ígneas são misturas de minerais de diferentes cores, formas e tamanhos. Os cristais normalmente têm orientações aleatórias. A única exceção para rochas ígneas sendo formadas por resfriamento de magma é quando o magma é expelido explosivamente por vulcões como blocos sólidos ou cinza vulcânica.

Rochas metamórficas são formadas de rochas sedimentares, ígneas ou outras metamórficas mais velhas pelo **metamorfismo** causado por aumento de temperatura, pressão ou ambos. Elas se formam no estado sólido, então não há fusão (rochas formadas por fusão são rochas ígneas). O aumento na temperatura vem tanto do aquecimento por um magma próximo, ou do soterramento profundo. Onde a pressão é envolvida, rochas metamórficas podem somente se formar em situações de colisão de placas e não simplesmente pela pressão de soterramento de espessas sequências de rochas sobrepostas. Rochas metamórficas produzidas apenas por

aumento de temperatura têm cristais interligados orientados aleatoriamente, enquanto rochas metamórficas formadas por aumento de pressão de placas tectônicas possuem cristais interligados que são orientados perpendicularmente à direção da pressão. O mármore, sendo uma rocha metamórfica formada de cristais de carbonato de cálcio, reage com ácido clorídrico do mesmo modo que os calcários.

Essas propriedades permitem que os três grandes grupos de rochas sejam distinguidos uns dos outros: por estudo dos grãos ou cristais, por teste de permeabilidade (gotejando água na superfície ou colocando espécimes em água e procurando por bolhas) e ao riscar a rocha com uma unha ou peça de metal, como uma moeda. Os resultados são mostrados na Tabela 4.2. Calcários e mármore também reagem com ácido clorídrico diluído.

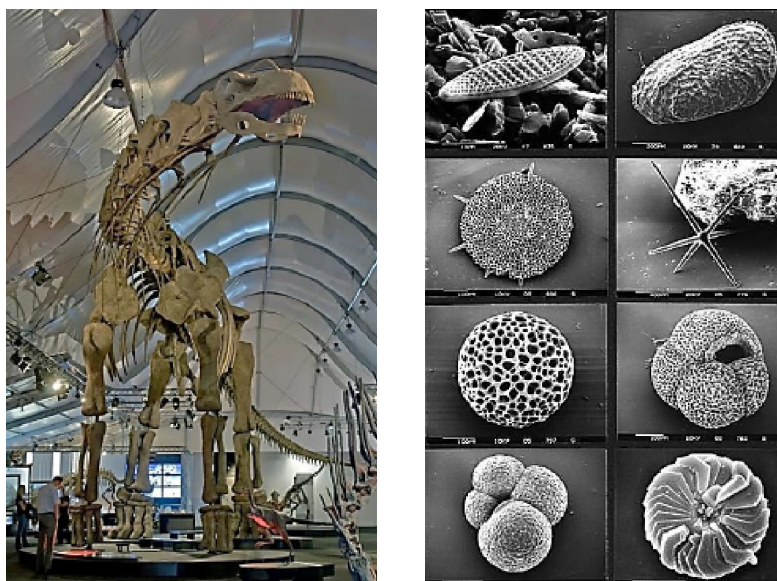
Tabela 4.2. Os resultados de testes simples para distinguir os três principais grupos de rochas.

Observação/teste Grupo de rochas	Exame de grãos ou cristais	Teste de permeabilidade	Teste de arranhão
Sedimentares	Grãos cimentados ou compactados juntos.	A água percola ou fluxos de bolhas ascendem na amostra, a menos que seja de granulação fina ou bem cimentado	Facilmente riscado a menos que esteja bem cimentado
Ígneas	Cristais interligados, orientados aleatoriamente	A água não percola na superfície; Bolhas não ascendem da amostra	Difícil de riscar a menos que esteja bem intemperizado
Metamórficas	Cristais interligados, orientados aleatoriamente se formados principalmente por aquecimento; Paralelos ou sub-paralelos se formados por pressão e aquecimento juntos		

4.1.1.3 Fósseis

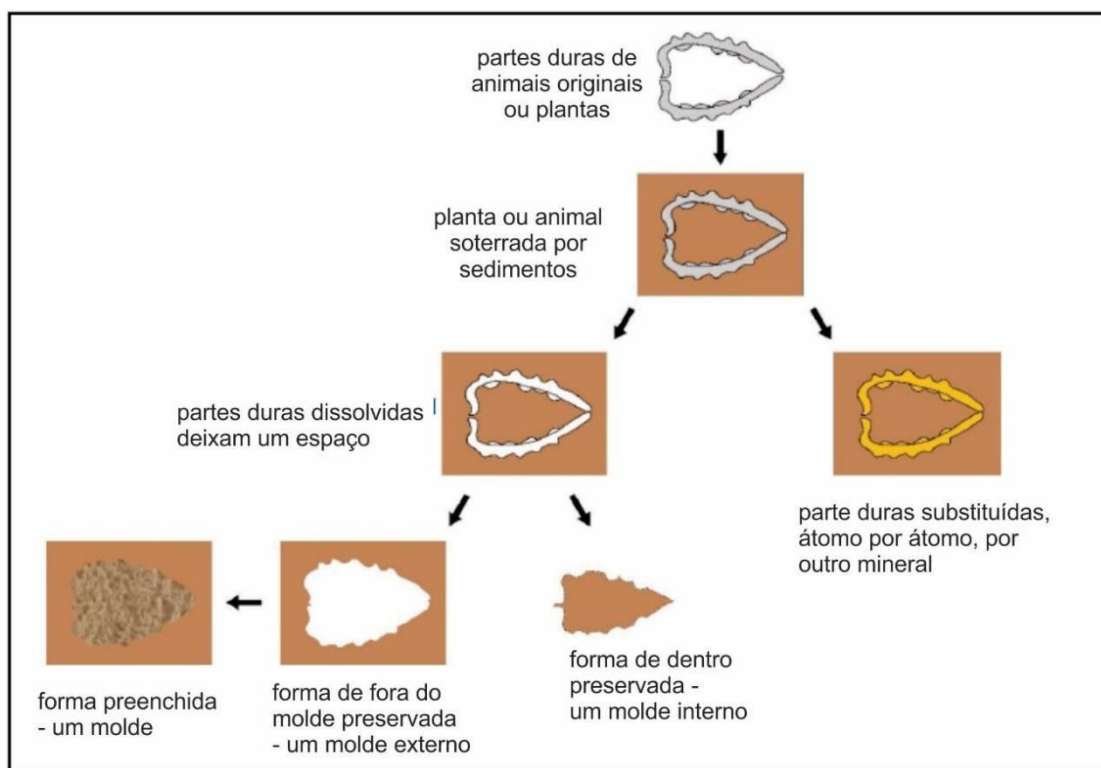
Fósseis incluem qualquer traço de vida preservado e são normalmente considerados como tendo mais que 10.000 anos de idade. Eles variam de tamanho desde os maiores dinossauros até os menores microfósseis. (Figura 4.2).

Figura 4.2. *Argentinosaurus* da Argentina, o maior tipo de dinossauro conhecido até agora, e imagens de microscópio eletrônico de varredura (MEV) de minúsculos microfósseis marinhos.



Fósseis são encontrados em rochas sedimentares e algumas rochas metamórficas de baixo grau (não muito metamorfizadas). Eles são os restos preservados de partes duras de organismos, como conchas ou ossos, e muito ocasionalmente as partes orgânicas moles (incluindo pele, pêlos, penas, etc.). Em alguns casos, os materiais originais foram substituídos átomo por átomo por outros minerais, que podem ou não manter todas as características originais. Alguns fósseis foram dissolvidos deixando buracos (moldes) nas rochas circundantes. Os moldes foram posteriormente preenchidos por outros materiais, formando projeção dos fósseis originais (Figura 4.3).

Figura 4.3. Fossilização



Evidências preservadas de corpos de fósseis são chamadas **corpos fósseis** enquanto **traços fósseis** são os sinais deixados por organismos em sedimentos, como marcas de pegadas, tocas, perfurações e traços de radículas. Modos importantes de fossilização são mostrados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Processos importantes de fossilização

Processos de fossilização	Imagem	Grupo fóssil
Enterro – partes moles e duras preservadas		Fóssil de pequeno mamífero semelhante ao Musaranho - mostrando ossos e pele preservada Fóssil da Formação Yixian, Província Liaoning, China; Idade Cretáceo superior

Enterro – somente partes duras preservadas		Um trilobita <i>Calymene</i> Fóssil da Formação Henryhouse, Oklahoma, EUA; Idade Siluriano
Substituição – mineral original substituído por um novo mineral		Ammonita, originalmente formada de carbonato de cálcio, agora pirita Fóssil de Bully Calvados, França; Idade Jurássico
Formação de molde		O molde interno e externo de um gastrópode tipo caracol (o fóssil em si foi dissolvido, deixando a forma interna e externa da concha) Fóssil da Formação Galena, Iowa, EUA; Idade Ordoviciano
Formação de forma (projeção)		Projeção de uma pegada de dinossauro; o dinossauro fez uma pegada na lama que endureceu antes de ser preenchida com areia; Agora a lama foi removida e o arenito de dentro revela a projeção (forma). Fóssil da Formação Ashdown, Fairlight, Sussex, Inglaterra; Idade Cretáceo
Traços fósseis – tocas e trilhas		Tocas e o lugar de repouso de um trilobita Fóssil da Formação Gog, Lago Louise, Alberta, Canadá; Idade Cambriano

Traços fósseis – traços de radículas		Traços de raiz de um fóssil de <i>Lepidodendron</i> (corpo fóssil) com traços de radículas (moldes – traços fósseis). Fóssil do nordeste de Ohio, EUA; Idade Carbonífero
---	---	--

4.1.1.4. Rochas Sedimentares

Rochas sedimentares foram depositadas como sedimentos, e são identificadas usando sua composição mineral e tamanho dos grãos (Tabela 4.4). Rochas sedimentares são normalmente permeáveis a menos que elas sejam bem cimentadas ou de granulação fina, e muitas são fáceis de riscar. Os grãos são fáceis de ver em rochas de classe areia, mas normalmente impossíveis de ver em rochas de classe argila, mesmo com uma lente de mão.

Tabela 4.4. Classificação de rochas sedimentares

Composição química		Rica em sílica	Rica em carbonato de cálcio	Rica em cloreto de sódio	Rica em carbono
Características		As rochas sedimentares mais comuns; Resistente se bem cimentada, de outra forma fácil de riscar; Comumente escura ou cinza claro, marrom, creme ou vermelha	Reage com ácido clorídrico diluído; Fácil de riscar; Comumente cinza claro, creme ou branca	Feito de halita com sabor salgado; Cristais cúbicos; Muito fácil de riscar; Rosa, branca ou incolor	Muito fácil de riscar; Frequentemente quebra em formas cúbicas; Preta; Pode conter plantas fósseis
Tipos de rochas comuns – ver Tabela 4.5					
Tamanho Do grão	Fino < 0.0625 mm	Lamito; folhelho; argila; argilito	Calcário; giz	Rocha de sal	Carvão
	Médio 0.0625– 2 mm	Arenito; siltito	Calcário		
	Grosso > 2 mm	Conglomerado; brecha			

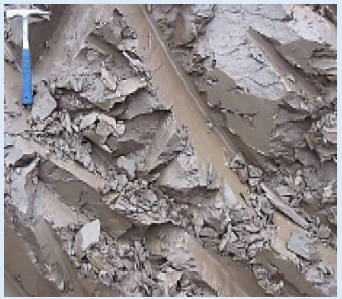
Muitos sedimentos de classe areia são depositados em camadas grossas, enquanto argilas são depositadas em finas camadas chamadas laminação. À medida que o sedimento é enterrado, argilas são comprimidas em lamitos, folhelhos ou argilitos mais compactos e sedimentos carbonáticos são comprimidos em calcário ou giz, enquanto a água é expelida. Enquanto isso, a água flui através dos espaços vazios de sedimentos grossos, como leitos de seixo, areias e areias de conchas, e minerais cristalizam a partir da água como um cimento natural, que cola os grãos uns aos outros; Esses sedimentos são litificados em conglomerados de granulação grossa e arenitos de granulação média ou calcários, como mostrado na tabela 4.5. Então, para rochas sedimentares, os dois principais processos formadores de rochas são **compactação** e **cimentação**.

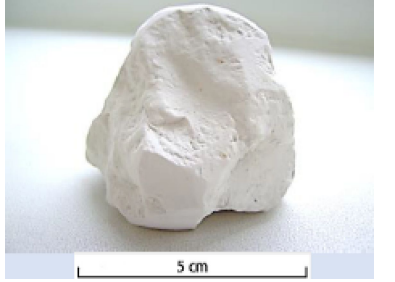
Tabela 4.5. Rochas sedimentares comuns

Rocha sedimentar	Imagens		Fonte da imagem do afloramento
	Espécie	Afloramento	
Conglomerado			Afloramento de conglomerado, próximo de San Sebastian, Espanha; Idade Cretáceo
Arenito creme			Arenito com estratificação cruzada, Ilha de Bressay, Shetland Island, Reino Unido; Idade Devoniano

Arenito vermelho			Arenito vermelho Navajo, no Cânion Antelope, Arizona, EUA. A cor vermelha é devido ao cimento ferroso de hematita; Idade Jurássico/Triássico
Lamito			Lamito vermelho permiano com camadas de siltito incolor, Bassin de Lodève, Hérault, La Lieude, Mérifons, França

Tabela 4.5. Rochas sedimentares comuns, continuação

Rocha sedimentar	Imagens		Fonte da imagem do afloramento
Folhelho			Folhelho marinho, Estrada Slate Hill, Marcellus, Nova York, EUA. Idade Devoniana
Argila			Argila, Estônia. Idade Quaternária
Calcário Fossilífero			Calcário Fossilífero, arco e monte da Ponte Verde de Gales, Pembrokeshire, País de Gales. Idade Carbonífera

Calcário Oolítico			Calcário Oolítico Jura, pedreira Rothenstein III, Região de Jura, França. Idade Jurássica
Greda/Giz			O alto penhasco de giz de MØn, Dinamarca. Idade Cretácea
Sal-gema			Caverna de sal Colonel, Israel. Exposições naturais de sal são encontradas somente no subterrâneo, já que o sal se dissolve na água.
Carvão			Camada de carvão mergulhando com uma velha entrada de mina. Formação Stellarton, Nova Escócia, Canadá. Idade Carbonífera

4.1.1.5 Rochas ígneas

Rochas ígneas são formadas a partir de magma fundido, tanto quando o magma resfria e cristaliza ou quando explode de forma explosiva em um vulcão. A maioria das rochas ígneas é impermeável e resiste a arranhões por causa de seus cristais entrelaçados; elas são identificadas usando seu tamanho de cristal e composição química. Os cristais em rochas de granulação grossa são fáceis de ver, aqueles em rochas de granulação média precisam de uma lente manual e os cristais em rochas de granulação fina são geralmente impossíveis de ver sem um microscópio. Rochas de granulação grossa formadas por resfriamento lento do magma nas profundezas da superfície são chamadas de **rochas plutônicas**; rochas ígneas de granulação fina foram erupcionadas como **rochas vulcânicas**.

A composição química da rocha está ligada aos minerais presentes e estes produzem a cor geral da rocha. As rochas que são ricas em ferro e magnésio têm minerais ricos em ferro / magnésio de cor escura, enquanto as rochas ricas em silício contêm principalmente minerais de cores claras, como feldspato e quartzo. Isso dá o sistema de classificação na Tabela 4.6.

Tabela 4.6. Classificação de rochas ígneas

Composição química		Rica em magnésio/ferro	Intermediária	Rica em sílica
Características		Minerais máficos; cor escura; alta densidade (sensação de pesado)	Características intermediárias	Minerais pálidos; cor pálida; rocha de densidade normal
Tipos comuns de rocha - ver tabela 4.7				
Tamanho do grão	Fino (<1mm)	Basalto	Andesito	Cinza vulcânica
	Médio (1-3 mm)	Diabásio	Incomum	Incomum
	Grosso (>3mm)	Gabro	Incomum	Granito

Tabela 4.7. Rochas ígneas comuns

Rocha ígnea	Imagem		Fonte
	Amostra	Afloramento	
Granito			Afloramento de granito, Mone Hope, Victoria, Australia, idade: Devoniano

Gabro			Gabro da Ucrânia no Park Botanical Folk, Blankenfelde Pankow, Berlin, Alemanha
Diabásio			Dique de diabásio na beira de um rio, Agwa Rock, Lake Superior Provincial Park, Canadá
Basalto			Colunas de basalto (formadas conforme o basalto resfria) em Giant's Causeway, Irlanda do Norte, idade: Terciário
Andesito			Fluxos de lava andesítica, vulcão Stewart Peak, Colorado, EUA, idade: Terciário
Cinza vulcânica			Cinzas vulcânicas depositadas como camadas de tufo nas Ilhas Eólias perto da Sicília, Itália, idade: Quaternário

Caixa 4.3. Uma rocha ígnea incomum - vidro vulcânico



Como outras rochas ígneas, o vidro vulcânico é formado pelo resfriamento do magma. Quando o magma resfria lentamente no subsolo, há tempo para a formação de grandes cristais. Quando ele entra em erupção como lava na superfície, ele resfria muito mais rapidamente e, portanto, tem cristais muito menores, como a lava de granulação fina, o basalto. Se ele resfriar mais rapidamente ainda, não haverá tempo para os átomos do líquido se reunirem em cristais e o vidro é formado. O vidro vulcânico neste fluxo de lava, amostra e faca pré-histórica são formados assim. O vidro da janela e do frasco são feitos pelo resfriamento da sílica derretida da mesma maneira.

4.1.1.6 Rochas metamórficas

Rochas metamórficas são formados quando rochas sedimentares, ígneas ou metamórficas mais antigas recrystalizam no estado sólido sob aumento de temperatura e/ou pressão. As rochas não derretem durante o metamorfismo, caso contrário, se tornariam rochas ígneas.

A maioria das rochas metamórficas resulta do aumento de temperatura e pressão a partir da formação da montanha causada pela colisão de placas. Isto é **metamorfismo regional**. Sob condições intensas, alguns minerais são transformados em outros, alguns minerais se recrystalizam para se tornarem mais finos e alongados, enquanto outros minerais giram até que eles estejam alinhados em ângulos retos na direção da pressão.

Rochas metamórficas também se formam quando as rochas têm contato com um corpo ígneo quente próximo. Como a recrystalização do mineral aqui é principalmente por calor, e não há pressão tectônica, os cristais nas novas rochas são orientados aleatoriamente.

O tipo de rocha metamórfica formada por temperatura e pressão (metamorfismo regional) ou principalmente por calor (**metamorfismo termal**) depende da composição da rocha original, como na Tabela 4.8.

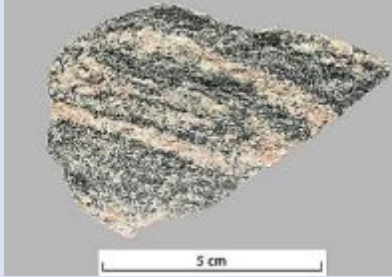
Tabela 4.8. Classificação de rochas metamórficas

Composição mineral		Quartzo e argila	Quartzo em arenito	Calcita em calcário
		Minerais em argilitos ou folhelhos		
Tipos comuns de rochas metamórficas regionais - consulte a Tabela 4.9				
Aumenta em temperatura e pressão ↓	baixo grau	Ardósia	Metaquartzito (ou quartzito)	Mármore
	médio grau	Xisto		
	alto grau	Gnaiss		
Tipos comuns de rochas metamórficas termais				
Aumento de calor		Hornfels	Metaquartzito (ou quartzito)	Mármore

Como as rochas metamórficas são compostas de cristais interligados, geralmente são impermeáveis e resistem mais a arranhões do que a maioria das rochas sedimentares. As rochas metamórficas regionais podem ser identificadas a partir de seus minerais alinhados. Na ardósia de granulação fina, eles produzem pontos fracos na rocha, que podem ser quebrados em folhas finas ao longo dos pontos fracos ou planos de clivagem. No xisto de granulação mais grossa, os minerais alinhados podem ser vistos refletindo a luz em flashes quando uma amostra é movida. Os minerais formam bandas no

gnaisse; às vezes, as bandas são deformadas em dobras complexas. É difícil ver qualquer alinhamento mineral em metaquartzito ou mármore e também é difícil distinguir metamorfismo regional e termal em metaquartzito e mármore. O metaquartzito é como um arenito impermeável, duro e de aparência açucarada; o mármore também pode parecer açucarado, mas reage com o ácido clorídrico diluído.

Tabela 4.9. Rochas metamórficas comuns

Rocha metamórfica	Imagens		Fonte
	Amostra	Afloramento	
Ardósia			Ardósia em um corte de estrada protegida por malhas de arame, Montanhas Rothaar, Reno do Norte, Alemanha Idade: Devoniano
Xisto			Mica xisto, La Pierre Blanche, ilha de Groix, Bretanha, França Idade: Devoniano
Gnaiss			O gnaiss bandado do Pão de Açúcar, Rio de Janeiro, Brasil Idade: Pré-cambriano
Mármore			Bloco de mármore na pedreira de Carrara, Itália - amplamente utilizado como pedra de construção e para esculpir estátuas Idade: Jurássico

Metaquartzito (quartzito)			Afloramento de metaquartzito, El Castellar, Zaragoza, Espanha Idade: Ordoviciano
---	---	--	---

4.1.1.7 Solo

Solo resulta da interação entre a vida e os materiais da superfície da Terra - então, onde não há vida, não há solo. O solo se forma através de interações entre a geosfera sólida, a hidrosfera, a atmosfera e a biosfera. Os solos se formam de materiais de superfície soltos, como depósitos de rios ou glaciais, ou pelo intemperismo biológico da rocha. Os diversos tipos de solo que podem se formar dependem de vários fatores, incluindo clima, altitude, declive e tipo de rocha ou outro material de superfície.

Os solos quase sempre têm uma camada superficial (ou topsoil) que geralmente é de cor escura. A camada superficial é a principal zona das raízes das plantas; muitos microorganismos e animais como vermes vivem nela e é onde a maior parte da matéria orgânica em decomposição ou húmus é encontrada. Os principais constituintes da camada superficial do solo são, portanto: vida animal e vegetal, húmus, sedimentos ou fragmentos de rocha, água e ar. Pequenas quantidades de solo superficial contêm bilhões de plantas microscópicas e animais pertencentes a milhares de espécies diferentes.

Figura 4.4. Perfil de solo em Altenberg, Alemanha



Abaixo da camada superficial na maioria dos solos está uma zona de subsolo onde o material de granulação fina se acumula após ser arrastado para baixo pela água do solo; a maioria das mudanças químicas acontece aqui. A base de um solo é a rocha ou outro material de superfície original.

O solo é uma parte fundamental do ecossistema da Terra; todas as plantas grandes crescem no solo. É um habitat fundamental para uma ampla variedade de outras plantas e animais e é a base de toda a agricultura. Recicla nutrientes e resíduos orgânicos e afeta a qualidade da água que flui. O solo também interage com os gases da atmosfera. O melhor solo superficial para o crescimento das plantas tem cerca de metade de material sólido e metade do espaço preenchido por água ou ar. O material sólido é uma mistura de areia, silte e húmus orgânico; diferentes misturas de areia, silte, argila e húmus fornecem uma variedade de tipos de solo.

Os agricultores tentam tornar os solos mais produtivos adicionando diferentes constituintes. Em áreas onde os solos são ácidos, calcário (óxido/hidróxido de cálcio - $\text{CaO}/\text{Ca}(\text{OH})_2$) é adicionado para neutralizá-los. Em outras áreas, a adição de argila melhora os solos, e a adição de esterco animal ou fertilizantes de potássio e nitrogênio aumentam a produtividade do solo.

Caixa 4.4. Charles Darwin e o solo



Charles Darwin foi uma das primeiras pessoas a compreender a importância das minhocas para a formação do solo. Ele notou que uma camada de carbonato de cálcio branca que foi colocada no solo de um campo inglês muitos anos antes agora formava uma camada de vários centímetros abaixo do solo. Ele descobriu que isso poderia ser devido à ação das minhocas e criou sua própria minhoca para investigar sua ideia. Darwin publicou suas ideias sobre a importância das minhocas para a formação do solo em 1881.

Fotos de uma minhoca caseira em uma garrafa de plástico cortada - antes de adicionar as minhocas e depois, após vários dias de atividade das minhocas

4.1.2 Processos da Terra e características observadas

Os processos terrestres estão ligados entre si através do Ciclo das Rochas, mostrado na Figura 1.7. O Ciclo das Rochas inclui os processos superficiais de intemperismo, erosão, transporte e deposição que estão intimamente ligados à parte superficial do Ciclo da Água. Depois que os sedimentos são depositados, eles podem ser soterrados por sedimentos sobrejacentes quando a compactação e a cristalização do cimento natural os transformam em rochas sedimentares.

Os processos tectônicos de placas conduzem a parte interna do Ciclo das Rochas, deformando as rochas, causando metamorfismo, atividade ígnea e elevando as rochas para a superfície, onde são novamente atacadas por processos superficiais.

4.1.2.1 Processos superficiais

A atmosfera, a hidrosfera e a biosfera interagem com a geosfera, moldando a paisagem e formando e depositando sedimentos. Rochas superficiais são atacadas por intemperismo e erosão. **Intemperismo** são as quebras física e química de material na superfície da Terra sem a remoção de material sólido.

Erosão é a remoção de material sólido, que pode ser transportado para mais longe.

Embora os processos de intemperismo tendam a atuar juntos, eles podem ser divididos em efeitos físicos, químicos e biológicos separados, conforme mostrado na Tabela 4.10.

Tabela 4.10. Processos de intemperismo comuns

Processo	Descrição	Imagem	Fonte
Físico	Congelamento/descongelamento		Pedra quebrada, sul da Islândia
	Aquecimento/resfriamento		Folhas de granito quebrando devido ao aquecimento/resfriamento, Half Dome, Parque Nacional de Yosemite, EUA
Químico	Água ácida em calcário e mármore		Pavimento de calcário carbonífero com juntas alargadas (grykes), Doolin Quay, Irlanda

	Oxidação de arenito e quartzito	A água da chuva flui ao longo das juntas, oxidando (enferrujando) os minerais de ferro em cores amarelo brilhante, marrom e vermelho		Intemperismo químico ao longo de uma junta na formação rochosa Khondalite na praia de Rushikonda, Visakhapatnam, Índia
Biológico	Líquens e musgos	Os líquens são as primeiras plantas a colonizar a rocha exposta. Suas minúsculas radículas crescem nos poros entre os grãos da rocha e enfraquecem a rocha à medida que o líquen seca e se contrai. Eles também têm efeitos bioquímicos. Os líquens são frequentemente seguidos por musgos e, em seguida, solo		Líquens crescendo em rocha exposta, EUA
	Formação de solo	Os efeitos biológicos do intemperismo na rocha produzem solo		Camadas de solo no Vale do Reno perto de Rastatt, Alemanha

A erosão é a remoção de material sólido. As paisagens são moldadas e os sedimentos são formados por quatro processos principais de erosão, conforme destacado na Tabela 4.11.

Tabela 4.11. Processos erosivos importantes

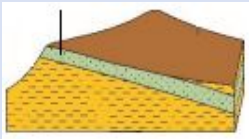
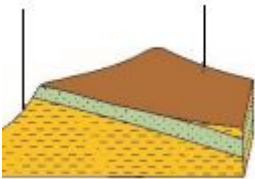
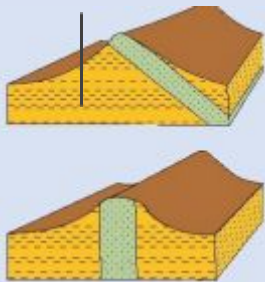
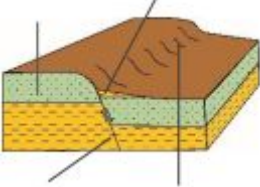
Processo	Descrição	Imagem	Fonte
Água em movimento (nos rios e no mar)	A água corrente capta e erode as partículas e também carrega sedimentos que erodem a rocha. A maior parte da erosão ocorre durante as enchentes, quando as margens dos rios podem desabar catastroficamente		Colapso de banco devido corte da base por erosão, Rio Tista, Sundarganj Thana, Bangladesh
	As ondas e os sedimentos que elas carregam erodem o sopé das falésias costeiras, muitas vezes causando quedas de rochas. Estas mais tarde são quebradas pelas ondas		Praia fechada por uma queda de rochas de erosão costeira, Oddicombe, Devon, Inglaterra

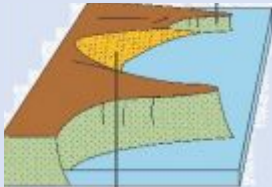
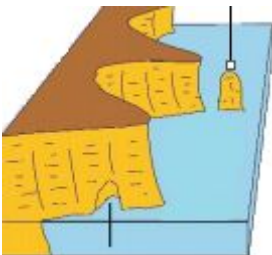
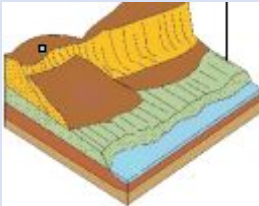
Tabela 4.11. Processos erosivos importantes, continuação

Processo	Descrição	Imagem	Fonte
Gravidade	Fragmentos de rocha, muitas vezes enfraquecida pelo tempo, caem por causa da gravidade. A queda de rocha em grande escala produz escarpas inclinadas que têm formas de cones sob ravinas. A erosão por gravidade inclui queda e deslizamento de rochas		Cones de scree, Bow Lake perto da Crowfoot Mountain, Alberta, Canadá
Ar em movimento (vento)	O vento erode partículas do tamanho de areia, silte e argila; a areia pode formar dunas de areia locais, mas argila e silte podem ser carregados para longe como nuvens de poeira		Uma nuvem de tempestade de areia soprando sobre Al Asad, Iraque
	Erosão eólica de um afloramento rochoso; com um vento forte, grãos de areia atingem e erodem mais a base do afloramento do que o topo, razão pela qual a base é tão estreita		Árbol de Piedra ('Árvore de Pedra'), Reserva Nacional de Fauna Andina Eduardo Avaroa, Bolívia
Gelo em movimento	Embora o gelo em si não possa erodir a rocha, o sedimento que ele carrega pode. À medida que os mantos de gelo ou geleiras se movem, a base rochosa sofre erosão na direção do movimento do gelo, sendo cortada por marcas de riscos ou estrias. Os detritos carregados pelo gelo são triturados ao mesmo tempo		Pessoa na rocha arranhada pelo movimento glacial, Gorner Glacier, Zermatt, Suíça

Juntos, o intemperismo e a erosão moldam a paisagem. A resistência das rochas ao intemperismo e à erosão depende de quão quimicamente estáveis os minerais são na superfície da Terra e de como os grãos da rocha estão interligados. Rochas formadas por cristais entrelaçados e de grãos bem cimentados tendem a resistir à erosão e formam terrenos mais elevados, penhascos costeiros e promontórios, enquanto rochas menos resistentes formam vales e baías. O ângulo de mergulho das rochas resistentes e outras características geológicas geralmente controlam a forma da paisagem, produzindo uma variedade de formas de relevo e características costeiras (Tabela 4.12).

Tabela 4.12. Formas de relevo formadas por camadas de rocha resistentes

Forma de relevo	Descrição	Ilustração	Imagem	Fonte
Planalto	Os planaltos têm topos planos e lados mais íngremes. Eles são formados quando as rochas resistentes são horizontais ou quase horizontais (planaltos também podem ser formados como superfícies de erosão sobre rochas diferentes)	Camada resistente, exemplo: arenito ou calcário  Camada menos resistente, exemplo: argilito ou folhelho		Planalto da Table Mountain, Cidade do Cabo, África do Sul
Cuesta	As cuestas têm uma inclinação mais íngreme em uma direção e uma inclinação mais rasa na outra. Elas se formam quando as rochas resistentes têm uma inclinação rasa (mergulho)	Degrau de encosta da escarpa Declive de mergulho mais raso 		Cuesta vista da balsa da Ilha Victoria, Vancouver, Canadá
Cordilheira	Cordilheiras têm encostas íngremes em duas direções e se formam quando as rochas resistentes mergulham acentuadamente ou são verticais			Cordilheira, Monte Rundle, perto de Banff, Alberta, Canadá
Escarpa de falha	Quando as rochas de um lado de uma falha são mais resistentes do que do outro, uma escarpa de falha frequentemente se forma	Rocha resistente Rocha menos resistente  Plano de falha Escarpa de falha		Escarpa de falha de Abert Rim, Oregon - uma das mais altas dos EUA

Promontório e baía	Quando algumas rochas costeiras são mais resistentes do que outras, formam-se promontórios e baías	Rochas mais resistentes formam promontórios  Rochas menos resistentes formam baías após a erosão		Uma baía entre promontórios, Cabo de la Vela, Colômbia
Penhasco costeiro	Onde as rochas resistentes são horizontais ou inclinam-se (mergulham) longe do mar, normalmente se formam penhascos íngremes, muitas vezes com características como arcos e pontas	Ponta formada por colapso de arco  Arco		Penhascos íngremes e um arco, Ilha Archway, Great Ocean Road, Victoria, Austrália
Declive costeiro	Onde não há rochas resistentes ou as camadas rochosas se inclinam (mergulham) em direção ao mar, encostas costeiras rasas geralmente se desenvolvem	Superfície inclinada 		Penhascos costeiros em declive, Shippards Chine, Ilha de Wight, Inglaterra

A erosão é muito ativa durante condições de alta energia, como tempestades. Após a erosão dos sedimentos pela gravidade, água em movimento, vento ou gelo, eles são transportados; os sedimentos são frequentemente depositados e erodidos muitas vezes durante o transporte. A maior parte da deposição permanente ocorre em condições de menor energia. Algumas características da paisagem dependem mais da erosão e deposição do que das características das rochas abaixo, como na Tabela 4.13.

Tabela 4.13. Características da paisagem formadas principalmente por erosão e deposição

Processo		Descrição	Imagem	Fonte
Erosão	por água em movimento	A água corrente erode o leito rochoso na base dos vales montanhosos, tornando-os mais profundos. Conforme o material desliza pelas laterais, ele costuma se depositar em forma de V		Vale do rio em forma de V, Goriot, Paquistão
	pelo movimento do gelo	O fluxo das geleiras que correm pelos vales erode os lados e a base dos vales, produzindo vales em forma de U		Vale glacial de Prapic em forma de U perto de Orcières, Hautes Alpes, França
Deposição	por água em planície de inundação	Quando os rios inundam, a água flui pelas planícies de inundação em ambos os lados, depositando camadas de argila e silte. As camadas de argila se acumulam em amplas planícies de inundação planas com canais de rios meandrando através delas		Canais meandantes da planície de inundação do Zambeze na Namíbia, vistos do ar; pista de pouso inferior direito
	por água em lagos e mares	Rios que transportam sedimentos para lagos e mares tranquilos depositam os sedimentos, formando deltas que muitas vezes têm a forma de leque		Ocupação do delta Silvaplana no Lago Silvaplana, Suíça
	por degelo de geleira	Depósitos de degelo misturando desde cascalho até argila (till) nas extremidades e lados das geleiras e onde as camadas de gelo derretidas estiverem. Os depósitos de hummocky são chamados de moraina.		A geleira Isunnguata Sermia ao fundo depositou a moraina em primeiro plano, Kangerlussuaq, Groenlândia

Hoje em dia, os humanos podem mover mais sedimentos a cada ano do que todos os rios do mundo juntos, por meio da mineração, extração, construção e agricultura. Apesar disso, a maior parte da formação da paisagem permanece natural e sempre será assim.

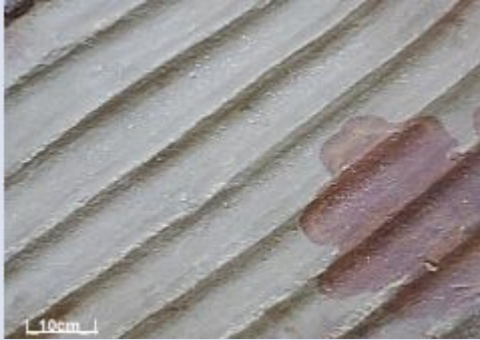
4.1.2.2 Processos sedimentares

Intemperismo e erosão produzem sedimentos, que são quebrados durante o transporte. Os fragmentos de rocha tornam-se arredondados. Minerais menos estáveis se decompõem geralmente em minerais de argila, enquanto minerais mais estáveis, como o quartzo, são triturados. Em condições mais calmas, fragmentos de rocha, quartzo, argila e outros minerais são depositados e sedimentos se acumulam. As areias e lamas calcárias, formadas por minerais de carbonato de cálcio, são geralmente depositadas em mares rasos e quentes em áreas tropicais e subtropicais e podem posteriormente se tornar litificadas em calcário.

Os sedimentos formam uma série de estruturas sedimentares à medida que são depositados, o que evidencia como foram depositados, conforme mostrado na Tabela 4.14.

Tabela 4.14. Estruturas sedimentares importantes

Estrutura sedimentar	Descrição	Imagem	Fonte
Acamamento	O sedimento geralmente não é depositado de forma constante, mas geralmente cada camada é depositada rapidamente, com períodos mais calmos ou mesmo com erosão entre eles. As camadas de sedimentos de granulometria média e grossa são chamadas leitos ; as rochas são acamadadas		Acamamento de arenitos e siltitos, Quebrada das Conchas, Salta, Argentina
Laminação	Argilas também são frequentemente depositadas em camadas, mas essas são camadas muito mais finas chamadas laminadas		Argilito laminado, Hesselberg, Alemanha; Jurássico Inferior

Estratificação cruzada	A estratificação cruzada se forma quando a areia é depositada nas dunas. A areia é transportada de um lado da duna e desce na frente dela como uma série de camadas que se inclinam para baixo. Dunas formadas por água produzem estratificações cruzadas de pequena escala, geralmente com menos de 1 m de espessura, enquanto os ventos produzem dunas com estratificações cruzadas que podem ter vários metros de espessura		Estratificação cruzada de grande escala (formada pelo vento) em arenito, Trilha de pouso Angel's, Zion National Park, Utah, EUA; vento pela direita
Marcas de onda assimétricas	As correntes de água sobre a areia, mais lentas do que as que formam a estratificação cruzada, formam marcas de onda assimétricas. A água sobe pelo lado raso e deposita areia no lado mais íngreme das ondulações. As marcas onduladas formadas por água podem ser em lobos ou linhas retas, mas as marcas onduladas assimétricas formadas pelo vento são geralmente retas		Marca de onda assimétrica em arenito Cambriano, Wiśniówka Duża, Polônia; direção do fluxo de água de cima para baixo no leito plano
Marcas de onda simétricas	Marcas de onda simétricas são formadas por ondas em águas rasas. As marcas de onda têm inclinações iguais em ambos os lados e geralmente se formam em linhas retas paralelas. As cristas das ondas que formam as marcas de onda são paralelas a elas e muitas vezes também são paralelas à costa		Marcas de onda simétricas em arenito fino, Sierras Bayas, Olavarria, Argentina. A crista da onda se moveu do topo esquerdo para o canto inferior direito
Gradação de leitos	Quando uma corrente que carrega sedimentos de tamanhos mistos diminui, as partículas maiores são depositadas primeiro e, em seguida, grãos cada vez mais finos são depositados no topo, formando um único leito de sedimentos que varia de grosso no fundo a fino no topo; estratificação gradando pode ser usada para mostrar que uma sequência de sedimentos não foi virada de cabeça para baixo dobrando		Leito gradado - grãos do Eoceno em uma parede de jardim perto de Besalú, na Catalunha, Espanha

Rachaduras por dessecação (rachaduras de lama)	Quando a lama seca, ela se quebra em formas poligonais; se as rachaduras forem preenchidas por areia, geralmente são preservadas. Essas rachaduras de dessecação mostram que a lama deve ter secado, então não pode ser uma lama do fundo do mar		Rachaduras de dessecação ao redor de uma pegada de dinossauro em argilito, Loulle, Franche-Comte, França
---	---	--	---

Se os sedimentos forem depositados em regiões de subsidência, eles podem se tornar sequências sedimentares espessas. Após o soterramento, os sedimentos finos são compactados e os sedimentos mais grossos são comprimidos e cimentados em rochas sedimentares.

Muito mais tarde, o movimento das placas tectônicas pode elevar a sequência de rochas sedimentares até a superfície. À medida que as rochas sedimentares erguidas sofrem erosão, o sedimento volta a fazer parte do Ciclo Sedimentar. O Ciclo Sedimentar é uma parte do Ciclo das Rochas.

4.1.2.3 Processos ígneos

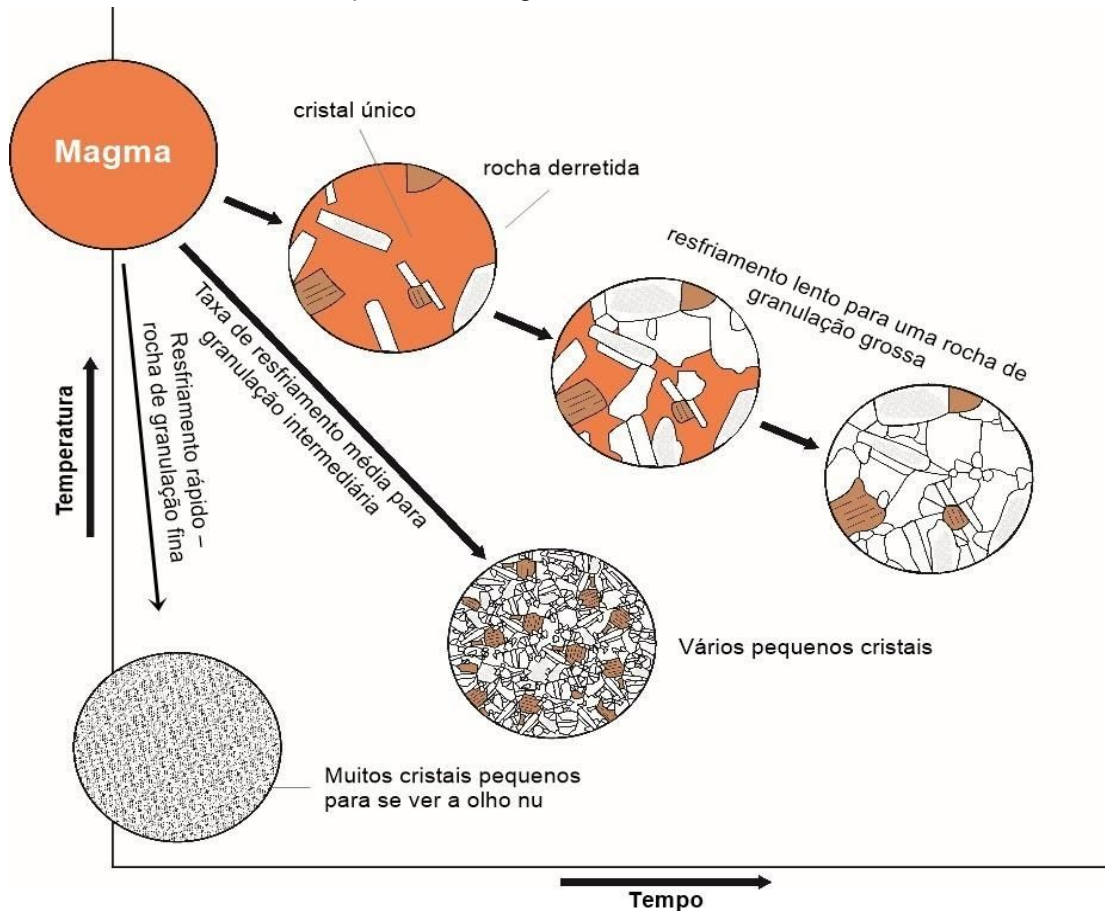
As rochas quando são aquecidas suficientemente, elas derretem. Contudo, como as rochas são, geralmente, formadas por uma mistura de minerais, elas não derretem integralmente, mas sim parcialmente. Nesse processo denominado de **fusão parcial**, os minerais de menor ponto de fusão derretem primeiro. Se o magma produzido pela fusão parcial fluir por longas distâncias, então o material fundido resultante terá uma composição química diferente da rocha originária, e isto se deve ao resfriamento do magma e ao fato dos minerais com maior ponto de fusão serem deixados para trás. Assim, as fusões parciais produzem uma variedade de magmas com diferentes composições químicas, levando ao processo de **diferenciação magmática**.

O material fundido rico em ferro e magnésio (máfico) é formado por minerais com elevado ponto de fusão e, por isso, se cristalizam em temperaturas altas que, normalmente, são bem acima de 1000°C. No entanto, o material fundido rico em sílica (félsico) tem minerais com ponto de fusão baixo e, portanto, se cristalizam em baixas temperaturas, abaixo de 1000°C. Isto afeta a fluidez do magma, sua viscosidade, e os processos ígneos derivados. O magma se forma nas profundezas do subsolo e por ser mais quente e menos denso do que a rocha adjacente, ele ascende.

A temperatura na qual as rochas derretem não depende unicamente do ponto de fusão dos minerais, mas também da quantidade de água presente e da pressão das rochas sobrejacentes. As rochas derretem em baixas temperaturas quando elas apresentam uma maior incidência de água e quando a pressão é reduzida. Os processos ígneos estão ativos em áreas oceânicas e continentais, porém, os magmas, as pressões, a composição da água e outros fatores são diferentes a depender do ambiente e, conseqüentemente, os corpos ígneos resultantes também.

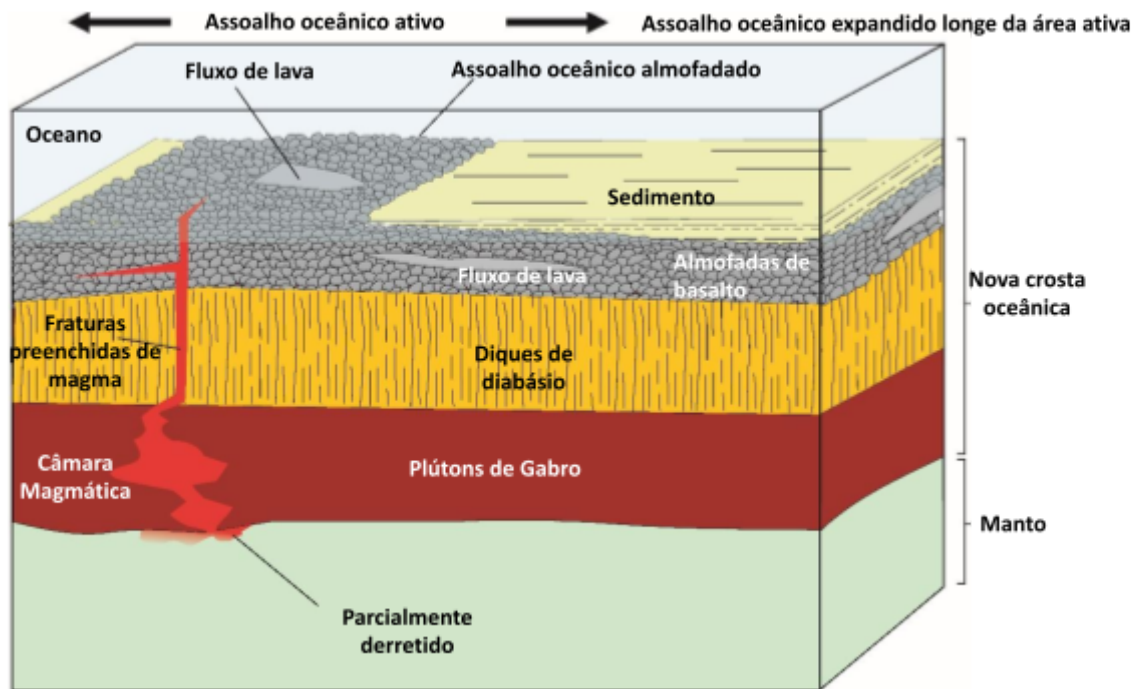
Os magmas ascendentes podem parar nas profundezas do subsolo, resfriarem-se e se cristalizarem nas **câmaras magmáticas**. Nas áreas mais profundas, o magma tem muito tempo para se resfriar e para os cristais crescerem em meio ao material fundido. O resultado dessa cristalização lenta é uma rocha ígnea de granulação grossa. Agora, se o magma ascender mais alto ele se torna mais frio e, assim, irá se cristalizar mais rapidamente em uma rocha de granulação média. Finalmente, se ele ascender até a superfície através da erupção de um vulcão ativo, a lava irá se resfriar ainda mais rapidamente formando uma rocha ígnea de granulação fina (**Figura 4.5**).

Figura 4.5. O resfriamento e a cristalização das rochas ígneas.



Sob os oceanos, onde as placas tectônicas estão se afastando, o manto sólido abaixo é muito quente e, portanto, flui lentamente para cima. Ao ascender, a pressão é reduzida e, então, o próprio manto rico em ferro e magnésio se funde parcialmente em magmas máficos. Estes magmas ascendem e parte do material fundido resfria lentamente nas câmaras magmáticas para formar plútons de gabro de granulação grossa na base da crosta oceânica recém-formada. Os magmas ricos em ferro-magnésio são muito fluidos e apresentam baixa viscosidade e, portanto, alguns continuam a subir por meio de fraturas. Estes magmas ascensionais se resfriam mais rapidamente formando diabásio que é uma rocha de granulação média em corpos ígneos chamados de diques. Há também os magmas que sobem até o fundo do oceano e fluem como lavas em forma de almofada (lava almofadada ou *pillow lava*). Isso geralmente produz uma nova crosta oceânica de rochas ígneas ricas em ferro-magnésio, com gabro de granulação grossa na base, folhas verticais de diabásio de granulação média acima e camadas de basalto em almofada de granulação fina na superfície (**Figura 4.6**).

Figura 4.6 Corpos ígneos nos oceanos



Abaixo dos continentes, nas áreas onde as placas tectônicas estão convergindo, as rochas são aquecidas. A água nas rochas diminui o ponto de fusão fazendo com que elas derretam parcialmente. Os magmas resultantes dessa fusão dependem de quais rochas derreteram possibilitando, portanto, uma variedade de composições químicas do material fundido. Alguns magmas são ricos em ferro-magnésio e outros possuem composições químicas intermediárias, ou seja, entre o ferro-magnésio e a sílica. Os magmas mais comuns são ricos em sílica.

Os magmas ricos em sílica são muito viscosos, logo não muito fluidos e, em sua maioria, não atingem a superfície, mas se cristalizam lentamente em câmaras magmáticas subterrâneas formando granitos de granulação grossa. Estes magmas silicáticos podem atingir a superfície, mas por serem viscosos, provocam erupções explosivas formando cinzas vulcânicas. Os magmas de composições intermediárias também entram em erupção de maneira explosiva, entretanto também podem fluir de vulcões como lavas e, ao se resfriarem, formam uma rocha de granulação fina, os andesitos. O magma rico em ferro e magnésio geralmente extravasa como basalto. Os tubos que conectam os vulcões às suas câmaras magmáticas alimentadoras são chamados de **condutos vulcânicos ou chaminés**. Estes condutos às vezes ficam expostos na superfície após processos erosivos formando os **necks ou plugues vulcânicos**.

Entre câmaras magmáticas profundas e vulcões de superfície, os magmas podem ser intrudidos nas rochas circundantes. Se eles cortarem as camadas de rocha, são os **diques**, já se seguem as camadas, são as **soleiras (sills)**. As câmaras magmáticas subterrâneas que foram cristalizadas apresentam, em geral, o formato de bolha e são chamadas de **plútons** se forem pequenas, ou **batólitos** se forem

grandes (**Figura 4.7**). Batólitos, plútons, diques e soleiras constituem o grupo das **rochas ígneas intrusivas**, pois são formados quando o magma se introduz na rocha encaixante. As rochas que se formam na superfície são denominadas de **rochas ígneas extrusivas**, uma vez que foram extrudadas para a superfície. As diferentes formas produzidas por esses processos são mostradas na **Tabela 4.15**.

Figura 4.7. Corpos ígneos no continente

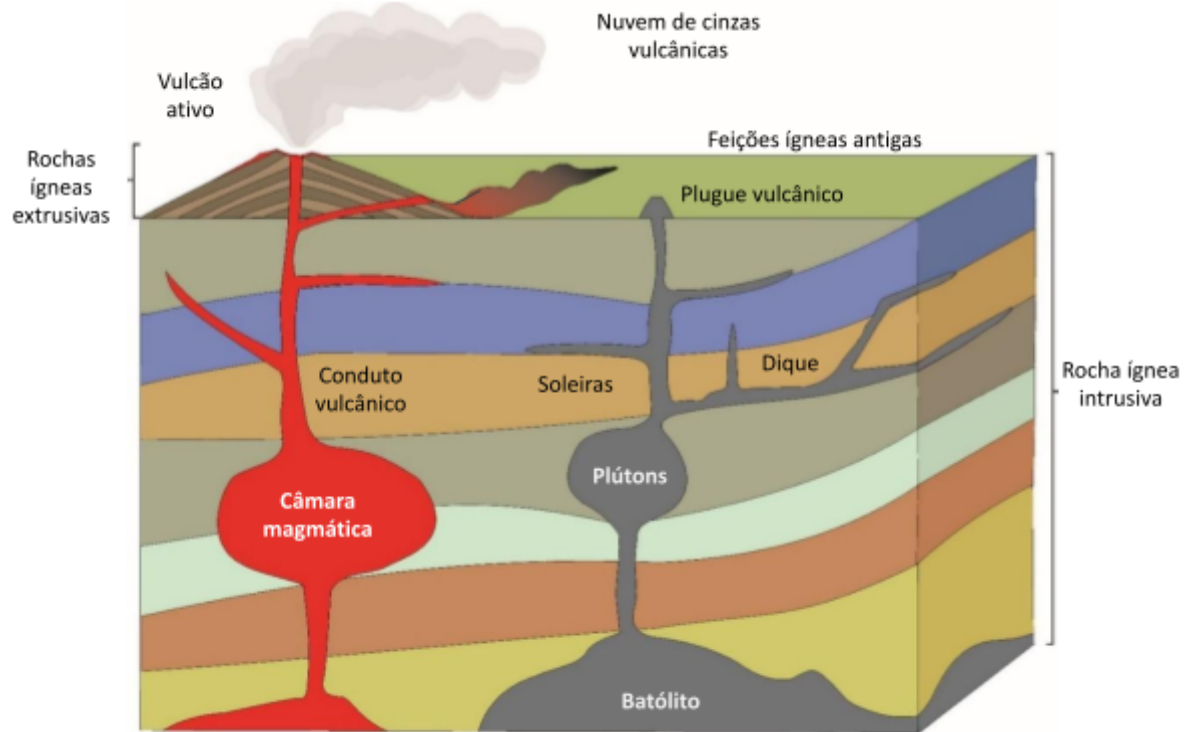


Tabela 4.15. Feições ígneas importantes

Formas ígneas	Descrição	Imagem	Fonte
Lava almofadada (<i>pillow lava</i>), recente	Quando as lavas basálticas extravasam na água, assim como no assoalho oceânico, são formadas pequenas línguas de magma que ao fluírem para a superfície solidificam as partes mais externas. Esse sólido flexível age como uma bolsa que se enche de lava em formas de almofada (<i>pillow lava</i>).		Lavas almofadadas modernas no fundo do oceano, fotografadas durante a expedição ao <i>Rift</i> de Galápagos, no oeste do Oceano Pacífico, em 2002.

Lava almofadada (<i>pillow lava</i>) antiga	Quando as formações almofadadas antigas se quebram ao meio, o basalto de granulação mais fina das margens pode ser visto com frequência. Uma vez que as almofadas posteriores afundam entre as anteriores, à medida que são formadas, suas formas podem ser usadas para dizer se uma sequência foi virada de cabeça para baixo (invertida).		Almofadas de basalto invertidas do período Ordoviciano. Crozon, Bretanha, França.
---	---	--	---

Tabela 4.15. Continuação das feições ígneas importantes

Formas ígneas	Descrição		Imagem	Fonte
Soleira (<i>Sill</i>)	Magmas intrudidos ao longo de camadas sedimentares ou vulcânicas (planos de camada) resfriaram e cristalizam, formando soleiras.	A maioria das soleiras e dos diques são formados por rochas de granulação média e alguns têm margens resfriadas (rochas de granulação mais fina).		Soleira da rocha Kilt, Skye, Reino Unido. As camadas sobrepostas foram erodidas.
Dique	Os diques se formam quando magmas preenchem fraturas nas rochas e, em seguida, resfriam e cristalizam.	Alguns aquecem as rochas que intrudem, produzindo metamorfismo de contato.		Diques pré-cambrianos de diabásio escuro (1100 Ma), cortando rochas mais pálidas de idade 1,8 Ga, Ilhas Koster, Suécia.

Plútons/ Batólito	Os batólitos eram grandes câmaras magmáticas já, os plútons, são corpos menores. O magma ao se resfriar lentamente forma rochas ígneas de granulação grossa como, por exemplo, o granito ou gabro. Eles geralmente queimam a rocha circundante formando uma auréola metamórfica.		Imagem de satélite da intrusão de granito do Maciço Brandberg de 30 km de largura na Namíbia, que transformou as rochas ao redor em uma auréola metamórfica escura
----------------------	--	--	--

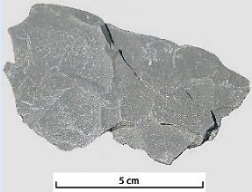
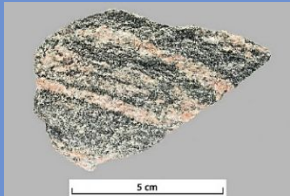
Os processos ígneos fazem parte do ciclo interno das rochas, isto é, a parte do ciclo das rochas impulsionada pela energia da Terra. Sabemos como os processos do ciclo das rochas ígneas operaram por muitos anos, mas suas causas fundamentais só foram compreendidas mais recentemente por meio da teoria das placas tectônicas ver **Tabela 4.21**.

4.1.2.4 Processos metamórficos

As rochas são metamorizadas quando as placas tectônicas colidem em episódios de formação de montanhas (**orogênese**) gerando, assim, grandes aumentos subterrâneos de temperatura e pressão. Este processo é denominado **metamorfismo regional**. As rochas também podem ser metamorizadas por intrusões de magmas ígneos próximos em um processo denominado de **metamorfismo térmico e/ou de contato**. Em ambos os casos, as rochas originais (protólito) sejam estas sedimentares, ígneas ou outras rochas metamórficas, se recristalizam no estado sólido em rochas metamórficas. No entanto, se as rochas ficam tão aquecidas que derretem completamente, a mudança foi além do metamorfismo para se tornar um processo ígneo.

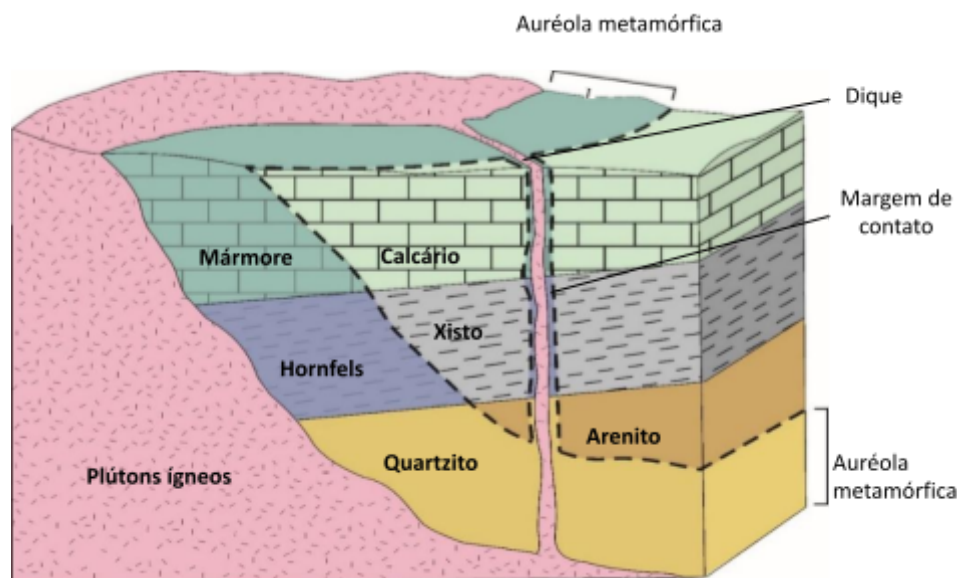
O metamorfismo regional causado pela colisão de placas produz rochas que variam desde ardósias de baixo grau de metamorfismo a gnaisses de alto grau, juntamente com mármore e quartzitos, conforme mostrado na **Tabela 4.16**. Essas rochas resistentes são geralmente impermeáveis e tendem a formar terrenos mais elevados e paisagens bastante acidentadas.

Tabela 4.16. Rochas metamórficas formadas por metamorfismo regional

Rocha original	Baixo grau de metamorfismo	Médio grau de metamorfismo	Alto grau de metamorfismo
 Argilito	 Ardósia	 Xisto	 Gnaiss
 Granito			
 Arenito		 Quartzito	
 Calcário		 Mármore	

O grau do metamorfismo térmico causado por magmas ígneos depende do tamanho do corpo magmático. Pequenos corpos magmáticos simplesmente **aquecem** a rocha circundante produzindo estreitas **margens de contato**. Corpos maiores contêm muito mais energia térmica produzem amplas zonas de **intrusão** chamadas **auréolas metamórficas** onde as rochas de granulação fina são transformadas em *hornfels*, os arenitos se tornam quartzitos e os calcários se tornam mármore (Figura 4.8 e Tabela 4.16).

Figura 4.8. Efeitos do metamorfismo termal ou metamorfismo de contato



As causas do metamorfismo no ciclo das rochas foram agora explicadas pela teoria das placas tectônicas (**Tabela 4.21**).

4.1.2.5 Processos de deformação

Quando as placas tectônicas convergentes colidem resultando em orogêneses, não apenas as rochas podem ser metamorfizadas, mas também podem ser deformadas de diferentes maneiras. Em profundidades inferiores a 10 km da superfície, as pressões e temperaturas são tão intensas que a maioria das rochas se deforma e começam a fluir para formar **dobras**. Em níveis mais elevados, onde ainda existem enormes pressões laterais, as rochas tendem a quebrar ao invés de dobrar. Já próximo à superfície, as rochas sofrem um comportamento frágil e fraturam, enquanto em maiores profundidades elas se comportam plasticamente, dobrando-se e fluindo.

As rochas também são deformadas quando as placas se separam nos limites divergentes ou se movem umas sobre as outras nos limites conservativos, mas como as temperaturas são relativamente baixas elas geralmente se fraturam em vez de se comportarem plasticamente.

Quando as rochas se fraturam, se não houver movimento das rochas em nenhum dos lados, uma **junta** é formada. Mas, se as rochas forem deslocadas em ambos os lados, então ocorrerá o processo de **falhamento**. Muitas juntas são resultantes das rochas sendo separadas por tensão. A tensão, à medida que as rochas são separadas, também causa **falhas normais** que ocorrem quando um lado desliza para baixo em relação ao outro. Onde as rochas deslizam umas sobre as outras, formam-se **falhas direcionais ou transcorrentes**, geralmente, com faces quase verticais. Onde as rochas estão sendo comprimidas, um lado pode ser forçado para cima sobre o outro em uma **falha reversa** que tem uma superfície falha ou **plano de falha** geralmente em torno de 45°. Sob compressão muito

intensa, os planos de falha geralmente têm ângulos mais baixos com cerca de 10° e são chamados de **falhas de cavalgamento** (Tabela 4.17).

Tabela 4.17. Rupturas causadas por falha frágil - juntas e falhas

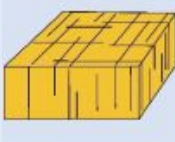
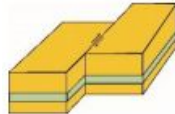
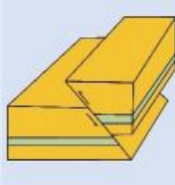
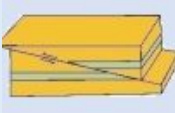
Feições	Estresse	Descrição	Desenho	Imagem	Fonte
Conjunto de juntas	Tensão horizontal	Conjunto de planos paralelos atravessando a rocha sem movimento relativo, muitas vezes vertical, às vezes horizontal ou em outros ângulos			Juntas de siltito articulada em xisto do ordoviciano, Fort Plain, Nova York, EUA
Falhas normais		Sob tensão, um bloco deslizou para baixo do plano de falha em relação ao outro geralmente íngreme com 60° ou mais			Falha normal nas paredes do Canal de Corinto, Grécia
Falhas transcorrentes (direcional)	Deslizamento vertical passado	Os blocos deslizaram uns sobre os outros geralmente em um plano de falha quase vertical			Vista de satélite da falha de Piquiang, montanhas de Tian Shan, China

Tabela 4.17. Continuação de rupturas causadas por falha frágil - juntas e falhas

Feições	Estresse	Descrição	Desenho	Imagem	Fonte
Falha reversa (inversa)	Compressão horizontal	Sob compressão, um bloco foi forçado sobre o outro em planos de falha de mais de 45°			Falha reversa em arenito, Oregon, EUA
Falha de cavalgamento		Sob grande compressão um bloco foi forçado sobre o outro em um plano de falha de menos de 45°, muitas vezes, em torno de 10°			Bloco da direita foi empurrado para cima sobre o bloco da esquerda, Lilstock Bay, Somerset, Reino Unido

As rochas se comportam plasticamente quando comprimidas formando dobras. As dobras podem ter uma variedade de tamanhos indo de montanha a escala de milímetros. As dobras ocorrem em série, como se pode notar colocando as mãos em um pano sobre uma superfície brilhante e deslizando-as juntas. Nota-se então uma série de dobras que quando voltadas para cima são chamadas de **anticlinais** e as dobras voltadas para baixo são as **sinclinais**. O formato das dobras depende do tipo de rocha e da quantidade de compressão; elas variam em rigidez de **dobras abertas** suaves a **dobras fechadas** e, também, **dobras isoclinais** em que os lados (flancos) são paralelos. As dobras podem ser angulares ou arredondadas. A área de flexão das dobras é a **charneira**, enquanto os lados são os **flancos** (Tabela 4.18).

Tabela 4.18. Tipos de dobras

Tipo de dobra	Descrição	Imagem	Fonte
Anticlinal	Dobra para cima, esta anticlinal é uma dobra aberta com uma charneira arredondada		Um anticlinal em gnaisses pré-cambrianos ao longo da Rota 23 NJ perto de Butley, Nova Jersey, EUA - pessoa para escala
Sinclinal	Sinclinal dobrada para baixo - uma dobra aberta com uma charneira bastante angular		Uma sinclinal nos arenitos neogênicos da formação Barstow, Condado de San Bernardino, Califórnia, EUA
Dobra aberta	Dobras abertas com um ângulo entre os flancos de mais de 45° juntamente com charneiras arredondadas		Dobramento de calcário acamado no desfiladeiro Glaserbachklamm, Áustria

Tabela 4.18. Tipos de dobras. Continuação.

Tipo de dobra	Descrição		Imagem	Fonte
Dobra fechada	As dobras fechadas têm um ângulo inferior a 45°	Dobras fechadas com charneiras angulares		Dobras fechadas perto de Ágios Pávlos no sul de Creta
		Dobra fechada com charneira arredonda da		Dobramen- to de 2,6 bilhões de anos em formação ferrífera pré-cam- brian, perto de Soudan, Minnesota, EUA
Dobra isoclinal	Dobras com flancos paralelos			Pequena dobra isoclinal em Monts d'Arrée perto de Commana, França

A teoria das placas tectônica agora é capaz de explicar muitas das causas fundamentais de deformação da Terra conforme explicado na **Tabela 4.21**.

4.1.3 Estrutura da Terra e evidências

Sabemos como as rochas da parte externa da Terra são, nos continentes, porque pudemos observar exposições naturais de rochas em falésias, em áreas montanhosas e, também, em pedreiras e nos

afloramentos dos cortes de estradas e ferrovias. Nós descobrimos como as rochas nas profundezas da Terra são por meio de minas e perfurando poços de metros a quilômetros de profundidade. Também sabemos como as rochas do fundo do oceano são por causa do programa de perfuração em alto mar. Mas, devemos usar outros tipos de evidência para descobrir como é a Terra abaixo das profundezas dos poços.

Box 4.5. O poço mais profundo da Terra



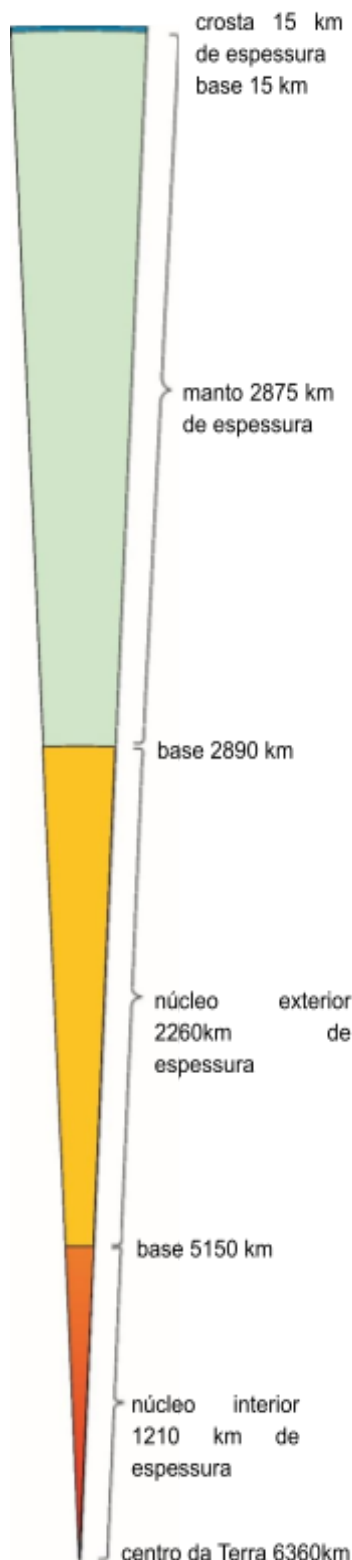
O poço mais profundo já perfurado até agora é o poço de Kola com 12,3 km de profundidade. Este poço foi perfurado no extremo noroeste da Rússia ao longo de mais de 20 anos, sendo finalizado em 1992. O furo adentrou cerca de um terço da crosta continental, principalmente, atravessando granitos e gnaisses do pré-cambriano. Uma das surpresas foi que a rocha ainda estava saturada de água no fundo do poço.

4.1.3.1 Evidências

A melhor evidência que temos de como a Terra é sob os nossos pés, portanto abaixo do poço superprofundo citado, são as evidências sísmicas dos terremotos. Cada vez que ocorre um grande terremoto, as ondas sísmicas viajam pelo planeta se propagando enquanto toda a Terra vibra. Elas se irradiam como ondulações em um lago depois que você joga uma pedra nele. A velocidade das ondas depende do material por onde passam e isso nos ajuda a descobrir onde estão os limites entre os diferentes tipos de rocha e como estas rochas são.

Também temos outras pistas sobre a composição das camadas da Terra, conforme descrito nas seções abaixo, mas foram as pistas das ondas sísmicas que nos forneceram a maior parte das informações mostradas na **Figura 4.9**.

Figura 4.9. Corte transversal da Terra

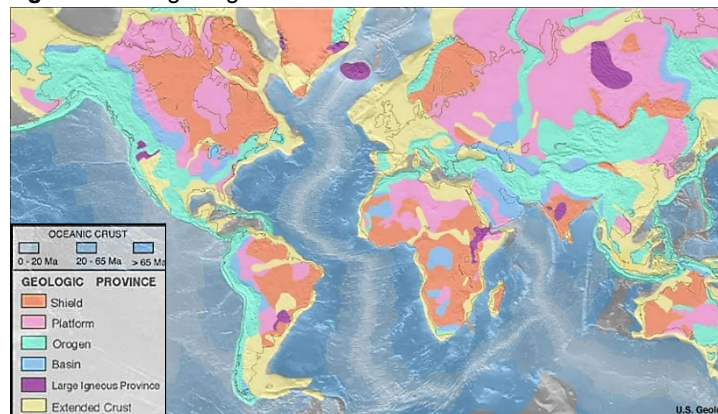


4.1.3.2 Crosta

A Figura 4.9 mostra que a crosta é bastante fina, quando comparada com a distância até ao centro da Terra. Um bom exemplo de como representar a espessura da crosta é comparar a espessura de um selo colado em uma bola de futebol. Existem dois tipos de crosta: a crosta continental, localizada sob os continentes e plataformas continentais; e a crosta oceânica, localizada sob os oceanos.

O mapa geológico na Figura 4.10 mostra que a crosta continental é muito mais complexa que a crosta oceânica. Isso ocorre porque a crosta continental é, no geral, muito mais antiga que a crosta oceânica, e algumas áreas participaram de várias fases do ciclo das rochas. As rochas mais antigas encontradas até hoje na Terra possuem mais de 4000 milhões de anos e formam parte da crosta continental da Austrália. Enquanto isso, as partes mais antigas da crosta oceânica raramente possuem mais de 200 milhões de anos e têm uma história muito mais simples.

Figura 4.10. A geologia da crosta terrestre



A crosta continental em que vivemos varia em espessura, indo de 25 a 70 km. Embora as rochas sedimentares constituam apenas cerca de 5% do volume de toda a crosta, elas cobrem 75% da superfície da crosta continental, cerca de $\frac{3}{4}$ da área colorida e brilhante da Figura 4.10. Estimativas sugerem que as rochas sedimentares continentais são compostas por cerca de 79% de lamito, 13% de arenito e 8% de calcário. A maior parte do volume da crosta continental é formada por rochas ígneas, como granito, e rochas metamórficas, como gnaiss (Figura 4.11). Todas essas rochas foram formadas por processos normais do ciclo das rochas, embora alguns dos materiais presentes tenham participado várias vezes desse processo.

As evidências da estrutura e das rochas da crosta oceânica incluem dados sísmicos, dados de perfurações em alto mar e informações de lugares como o Chipre, onde uma colisão de placas forçou a antiga crosta oceânica emergir ao continente. Essa evidência mostra que a crosta oceânica possui quatro camadas principais. No topo, está uma camada de sedimentos do fundo do mar que não são encontrados nas dorsais oceânicas, mas se tornou cada vez mais fina, afastando-se das dorsais. Abaixo desses sedimentos, há uma camada de basalto de granulação fina, geralmente em forma de lavas almofadadas (pillow lava). O basalto recobre uma camada composta de diques de diabásio verticais de granulação média. Abaixo, existe uma espessa camada de gabro de granulação grossa, antes de alcançar o fundo da crosta oceânica e do topo do manto (Tabela 4.19).

Figura 4.11. As rochas mais comuns da crosta continental

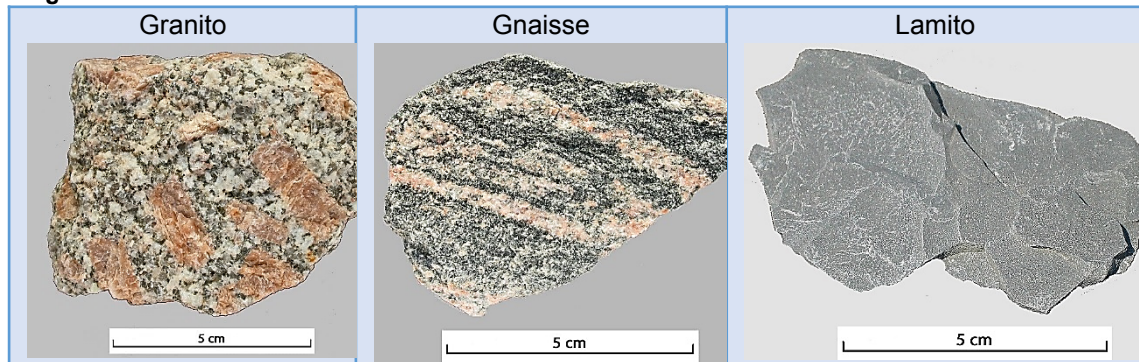
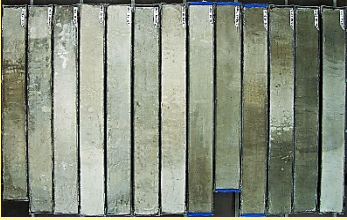
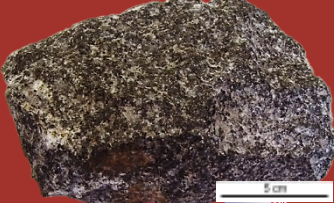


Tabela 4.19. Rochas da crosta oceânica

sedimentos de alto mar		Sedimentos de alto mar – espessura variável	
Basaltos almofadados e fluxos de lava		Amostra de núcleo de 13 m de comprimento	
lâminas de diversos diques		Basalto com cerca de 0,5 km de espessura	
gabro rochas plutônicas		Diabásio – cerca de 1,5 km de espessura	
base da crosta/ topo do manto		Gabro – cerca de 5 km de espessura	
manto superior		Rochas do manto	

A evidência mostra como a nova crosta oceânica é formada nas margens divergentes de placas tectônicas. O magma da fusão parcial local do manto sobe nas dorsais oceânicas. Lá, se acumula e se solidifica em subsuperfície, formando gabro de granulação grossa. Se esse magma subir através de fraturas verticais até à superfície, ela entra explode como lava no assoalho oceânico, geralmente com características de lavas almofadadas, e se solidifica rapidamente em basalto de granulação fina. Enquanto isso, o magma presente nas fraturas verticais, se solidifica mais lentamente em diabásio de granulação média. Cada vez que uma fratura se abre, uma nova camada se forma, produzindo cada vez mais camadas de diques de diabásio.

Caixa 4.6. Formação subaquática de lavas almofadadas

Quando a lava basáltica explode sob a água, ela produz ‘formas de almofadas’. Lavas na forma de língua e de cor laranja ou vermelho vivo aparecem e sua superfície externa é rapidamente resfriada pela água em um revestimento externo sólido, mas flexível. Quanto mais lava entra em erupção, as rochas recém formadas tornam-se almofadadas. As novas almofadas formadas sofrem pressões na parte superior, seguindo as formas das almofadas formadas previamente. Uma vez que esse processo ocorre somente em água, almofadas antigas preservadas em sequências de rochas mostram que elas devem ter se formado em ambiente subaquático. Filmar a formação das lavas almofadadas pode ser muito perigoso, pois o mar circundante possui bolsões invisíveis de água em altíssimas temperaturas.



A recém formada crosta oceânica, constituída por três camadas, é lentamente afastada da margem divergente por meio do movimento das placas tectônicas. Lama de granulação fina (geralmente conchas ricas em cal de plânctons microscópicos) vem do oceano e se deposita acima das almofadas. Quanto mais a placa se movimenta para longe, mais grossa se torna esta camada de sedimentos, até atingir cerca de 1 km ou mais de espessura perto das margens oceânicas.

Nas margens oceânicas, a crosta oceânica frequentemente é levada de volta ao manto, por meio de um processo chamado subducção. Isso explica porque a crosta oceânica não possui, geralmente, mais de 200 milhões de anos e, também explica o fato de que, quanto mais distante a crosta oceânica fica em relação à placa divergente, mais antiga ela se torna, como mostrado na Figura 4.10.

A densidade média da crosta oceânica, como demonstrado pela velocidade de ondas de choque de terremotos e medições de amostras de rochas, é maior que a densidade média da crosta continental. O manto localiza-se sob toda a crosta, e muitas observações demonstram que, embora o manto seja completamente sólido, é capaz de fluir muito lentamente sob intensas pressões e temperaturas em profundidade e em grandes períodos de tempo (movimentando-se cerca de 1 cm por ano). Dessa forma, tanto a crosta oceânica quanto a continental são sustentadas pelo manto sólido que flui abaixo delas. Isso acontece porque a crosta oceânica é mais densa que a crosta continental, que afunda em menor grau. Isso significa que quase toda a crosta oceânica está localizada bem abaixo do nível do mar, enquanto a maior parte da superfície da crosta continental está acima do nível do mar. A crosta oceânica também é mais fina, variando em apenas 7 km de espessura (Tabela 4.20).

Tabela 4.20. Características das camadas da Terra

Camada		Profundidade média, km		Espessura média, km		Estado		Densidade média relativa*	
Crosta continental	Crosta oceânica	35	7	35	7	Sólida	Sólida	2.7	2.9
Manto		2890		2875		Sólido		3.3 – 5.7	
Núcleo externo		5150		2260		Líquido		9.9 – 12.2	
Núcleo interno		6360, Centro da Terra		1210		Sólido		12.6 – 13.0	

*Densidade relativa é a razão entre a densidade de um material e a densidade da água – e, portanto, não precisa de unidade de medida

4.1.3.3 Manto

A fronteira entre a crosta e o manto subjacente foi descoberta a partir de medições de ondas sísmicas em 1909. Dados sísmicos modernos fornecem evidências de que muito do manto sólido pode fluir ao longo do tempo geológico, sendo responsável não apenas pela “flutuação” da crosta, mas também pelo movimento das placas tectônicas.

Caixa 4.7. Do que o manto é feito?

Uma tentativa de realizar perfurações da crosta oceânica até o manto foi feita em 1960 e falhou, então, a única evidência que temos sobre como as rochas mantélicas podem ser é uma evidência secundária.



Algumas erupções vulcânicas contêm fragmentos de outras rochas que se acredita que possam ter sido trazidas do manto



Em algumas áreas de formação de montanhas, rochas mantélicas parecem ter sido empurradas para o continente, com antigas rochas da crosta oceânica no topo



Acredita-se que meteoritos rochosos são originados de mantos de pequenos planetas desintegrados no passado

Baseado nessas e em outras evidências, acredita-se que o manto seja formado por peridotitos e rochas semelhantes. O peridotito é uma rocha muito densa, formada principalmente por minerais de olivina e piroxênio de cor escura.

4.1.3.4 Núcleo

A densidade relativa de toda a Terra é cerca de 5.5, mas a densidade das partes externas do planeta é muito menor do que isso; portanto, a Terra deve ter um núcleo muito mais denso. O limite do núcleo foi descoberto a partir de estudos sísmicos em 1914. Outros dados sísmicos mostraram que a parte exterior do núcleo é líquida (uma vez que as ondas de cisalhamento sísmicas não se propagam através dela), enquanto a parte interior do núcleo é sólida. Acredita-se que as correntes no núcleo externo líquido geram o campo magnético da Terra.

Caixa 4.8. Do que o núcleo é feito?

O limite do núcleo encontra-se próximo de 3000 km sob a superfície da Terra, então nunca poderemos colher amostras de rochas dessa área. Portanto, precisamos de evidências secundárias para entendermos do que provavelmente o núcleo é formado. O ferro possui a densidade correta para compor uma rocha do núcleo e é um material comumente encontrado no espaço. Muitos meteoritos são formados de uma mistura de ferro e níquel; acredita-se que esses meteoritos venham de pequenos planetas que foram desintegrados no passado. Essa mistura de ferro e níquel tem densidade e características sísmicas semelhantes às encontradas no núcleo. Então, acredita-se que o núcleo seja feito de uma liga ferro-níquel. Apresenta-se líquido no núcleo exterior e sólido no interior. Pesquisas recentes sugerem que o núcleo também possa conter pequenas quantidades de silício.



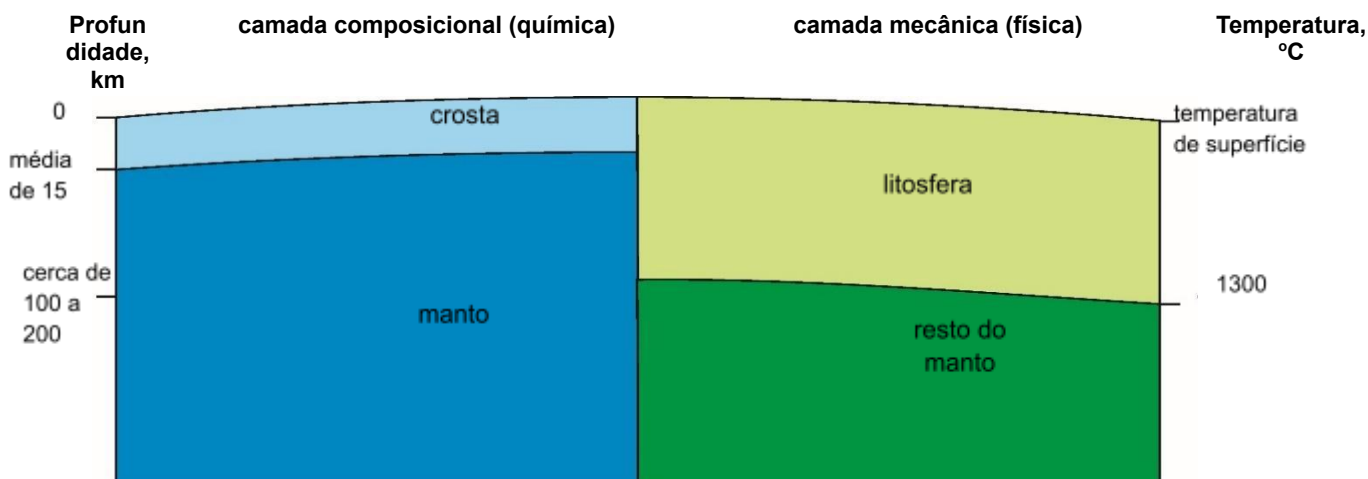
Um meteorito de ferro de 30 cm coletado na Sibéria – a parte externa derreteu quando entrou na atmosfera

4.1.3.5 Litosfera

Os limites da crosta-manto e do manto-núcleo são marcados por mudanças em suas composições químicas; a crosta é rica em silício com um pouco de ferro, o manto contém muito mais ferro em sua composição, e o núcleo é praticamente todo formado por ferro. Sabemos que existe outro importante limite na Terra, marcado não por mudanças químicas, mas por mudanças mecânicas, ou seja, mudanças na forma que as rochas se comportam.

Esse limite é a base da litosfera, marcado pela zona onde a temperatura das rochas atinge cerca de 1300°C. As rochas acima dessa zona de temperatura são sólidas e rígidas, enquanto que abaixo dessa zona elas são sólidas, mas capazes de sofrer deformações e fluir muito lentamente. A litosfera sólida e rígida é formada pela crosta e pela parte externa do manto superior, e forma as placas tectônicas. Essas se movimentam por processos tectônicos das placas, com o manto mais fraco abaixo, permitindo o movimento. A Figura 4.12 mostra a estrutura externa da Terra com a crosta, a litosfera e o manto.

Figura 4.12. A parte externa da Terra



As placas tectônicas terrestres são, portanto, feitas de litosfera e são capazes de se mover no resto do manto que, embora sólido, pode fluir lentamente. As propriedades e os movimentos das placas são descritos pela teoria das placas tectônicas.

4.1.4 Placas tectônicas e evidências

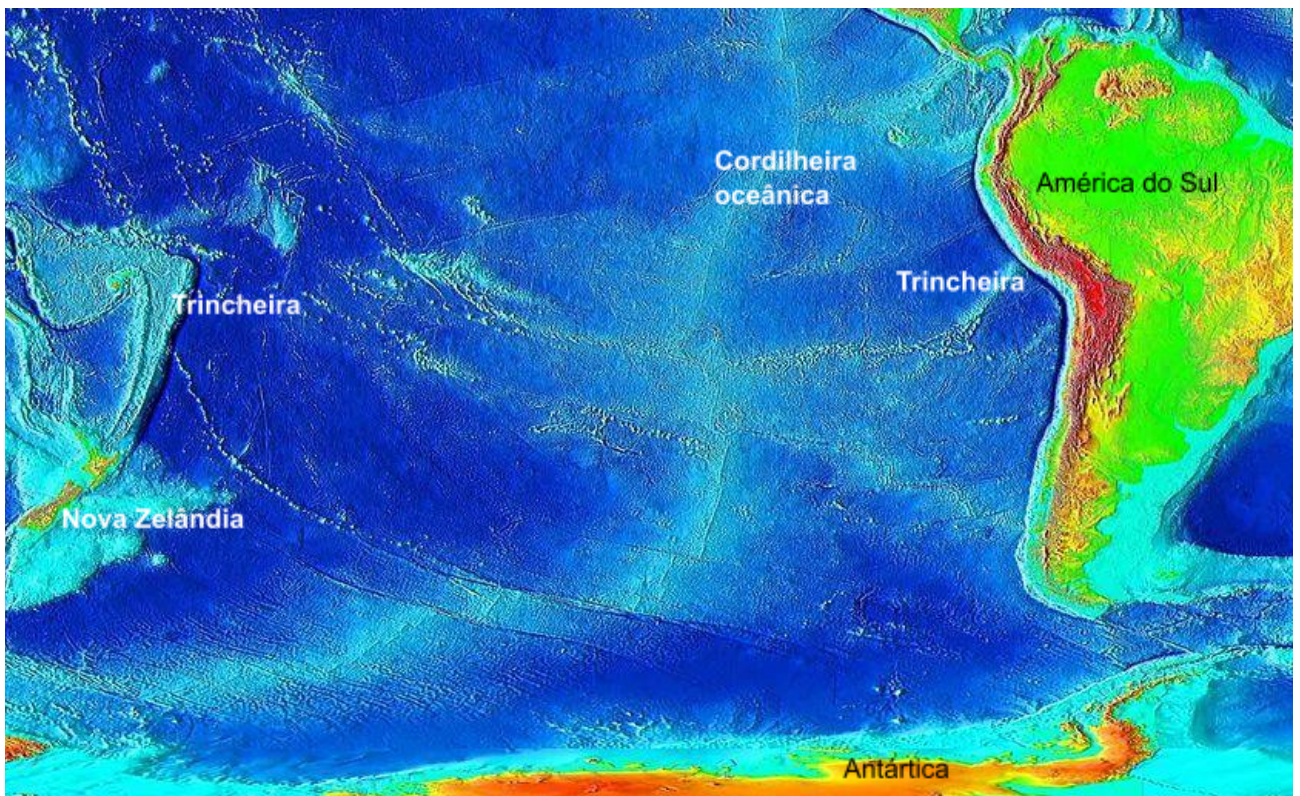
4.1.4.1 Teoria da unificação

Assim que mapas mundi razoavelmente precisos tornaram-se disponíveis, notou-se que as costas litorâneas da África e da América do Sul apresentavam semelhanças. Mas foi só em 1915 que Alfred Wegener publicou um livro com evidências mostrando que elas já estiveram unidas, em sua teoria da Deriva Continental. O livro, que foi publicado em inglês em 1922, incluía evidências, não somente para este quebra-cabeça continental, mas também para a geologia e fósseis encontrados em ambos os continentes. Wegener ainda mostrou como a Deriva Continental poderia explicar as mudanças ambientais registradas em rochas continentais, onde depósitos de gelo eram frequentemente seguidos por arenitos desérticos, e mais tarde, por rochas equatoriais. Seu trabalho foi muito ignorado, em parte porque ele não conseguiu sugerir um mecanismo convincente que fosse capaz de mover os continentes. A maioria dos geólogos da época pensava que a crosta terrestre poderia se mover para cima e para baixo, mas não para os lados. Também se acreditava que a crosta terrestre era muito fina para formar continentes à deriva. Hoje sabemos que a crosta terrestre realmente é muito fina para se formar placas; as placas são formadas de litosfera, que são muito mais grossas (Figura 4.12).

Na Segunda Guerra Mundial em 1940, cientistas desenvolveram dois métodos para detectar submarinos subaquáticos que, mais tarde, foram essenciais para contar a história das placas tectônicas. O método de sonar emite ondas sonoras através da água e recebe este sinal de volta quando atinge algo; isto pode detectar submarinos, mas também o fundo do mar e sua profundidade. Magnetômetros também foram desenvolvidos para detectar o magnetismo de submarinos, mas também foram usados posteriormente para detectar mudanças magnéticas no assoalho oceânico.

Nas décadas de 1950 e 1960, o sonar foi utilizado para mapear o fundo dos oceanos. Este mapeamento mostrou que os oceanos possuíam cordilheiras mais rasas perto dos centros dos oceanos, e áreas mais profundas, chamadas trincheiras, perto das margens oceânicas. Algumas das cordilheiras mediam mais de 1,5 km de altura e as trincheiras atingiam mais de 11 km de profundidade (Figura 4.13). Isso levou Harry Hass a propor sua teoria da **Expansão do Assoalho Oceânico** em 1962. Hass propôs que nova crosta oceânica estava sendo formada nas cordilheiras próximas aos centros dos oceanos, e que estava sendo movida lateralmente até atingir as trincheiras, onde voltava ao manto. A temperatura desempenhou um papel chave em sua teoria. Ele notou que, onde o novo material estava sendo formado, era muito quente e, portanto, de baixa densidade, produzindo as cordilheiras. Conforme o material era movido, se resfriava e afundava até atingir as trincheiras, onde se tornava tão frio e denso que poderia retornar ao manto.

Figura 4.13. O assoalho marinho do Oceano Pacífico meridional; cordilheira oceânica próxima ao centro e trincheiras a leste e oeste



Enquanto os cientistas mapeavam o assoalho oceânico utilizando o sonar, eles também utilizavam magnetômetros para medir o magnetismo do fundo do oceano. Eles descobriram que o fundo do mar era magnético. Em alguns lugares, esse magnetismo alinhado ao magnetismo normal da Terra, resultava em um sinal magnético mais forte. Em outros lugares, o magnetismo do assoalho oceânico estava em direção oposta e cancelava parte do magnetismo normal da Terra, emitindo um sinal mais fraco.

Quando tudo isso foi plotado em um mapa, um padrão pode ser visto em cada lado das dorsais oceânicas, como mostrado na Figura 4.14. Isso foi explicado por Vine e Matthews no Reino Unido e por Morley no Canadá, em 1963. Eles já sabiam que, quando as rochas contendo minerais magnéticos se resfriam, elas ficam magnetizadas na mesma direção do campo magnético em que se resfriaram. Assim, as lavas de basalto que se resfriam hoje tornam-se magnetizadas na direção atual do campo magnético (norte-sul). Eles também conheciam a teoria de que, embora o polo norte magnético esteja atualmente próximo ao polo norte geográfico (e, por sua vez, o polo sul magnético próximo ao polo sul geográfico), esse magnetismo mudou muitas vezes no passado geológico. Houve épocas, portanto, em que o polo norte magnético estava próximo ao polo sul geográfico, e o polo sul magnético estava próximo ao polo norte geográfico.

Isso os ajudou a explicar que o padrão magnético do assoalho oceânico foi formado por basaltos que se tornaram magnetizados à medida que esfriaram. Se eles tivessem resfriado na mesma direção que a atual, eles teriam uma orientação magnética norte-sul, mas se eles tivessem resfriado na direção oposta, eles assumiriam um magnetismo sul-norte. Rochas com magnetismo norte-sul reforçam o magnetismo norte-sul atual, dando uma anomalia positiva, chamada **polaridade magnética normal**. Basaltos com magnetismo sul-norte reduzem o campo magnético geral, resultando em uma anomalia negativa, chamada **polaridade magnética reversa**, como pode ser visto na Figura 4.15.

Figura 4.14. Anomalias magnéticas sobre a Cordilheira Reykjanes, sudoeste da Islândia

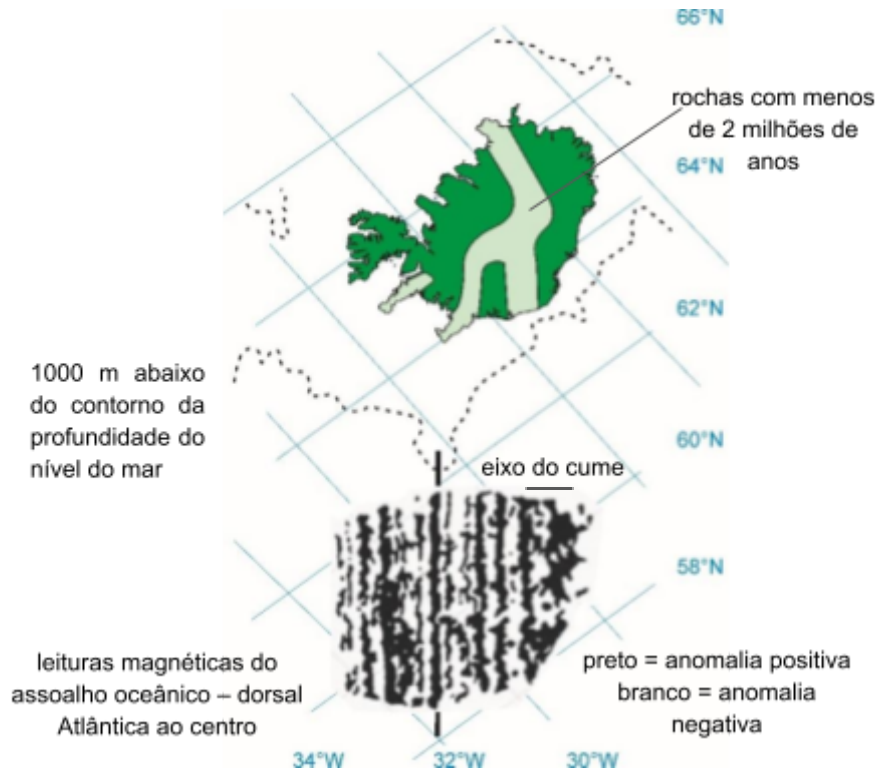
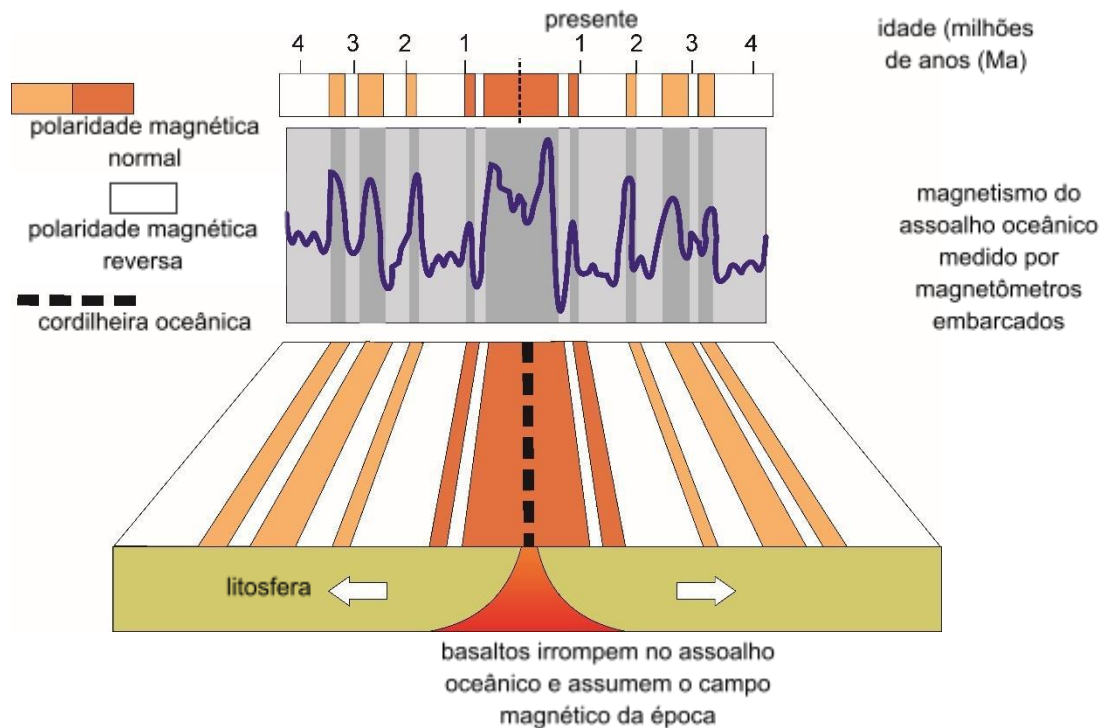


Figura 4.15. A formação das listras magnéticas nos basaltos do assoalho oceânico

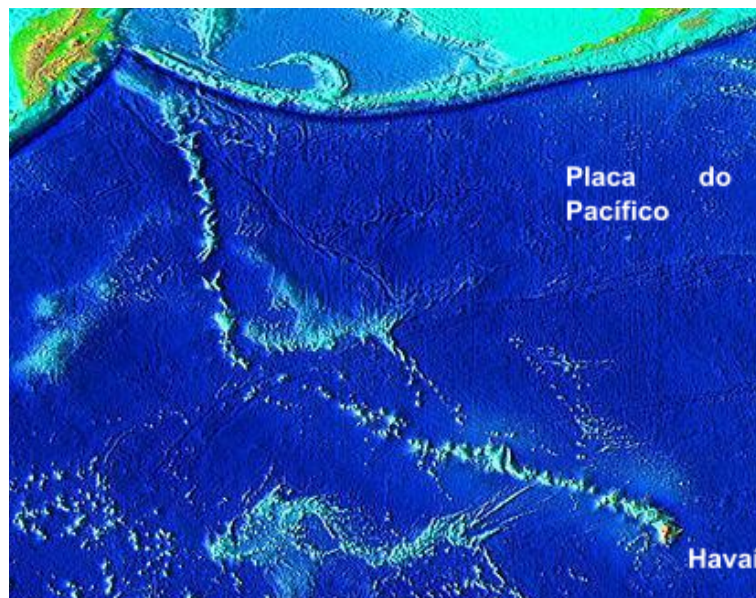


As reversões dos polos magnéticos terrestres não são regulares: algumas vezes, pode haver um longo intervalo entre as reversões, e em outras vezes, elas podem ocorrer bem rapidamente. Isso explica o motivo das listras magnéticas do assoalho oceânico possuírem diferentes espessuras, e explica porque o padrão é simétrico nos dois lados da dorsal. A

evidência da listra magnética foi um forte argumento para a hipótese da Expansão do Assoalho Oceânico de Hess.

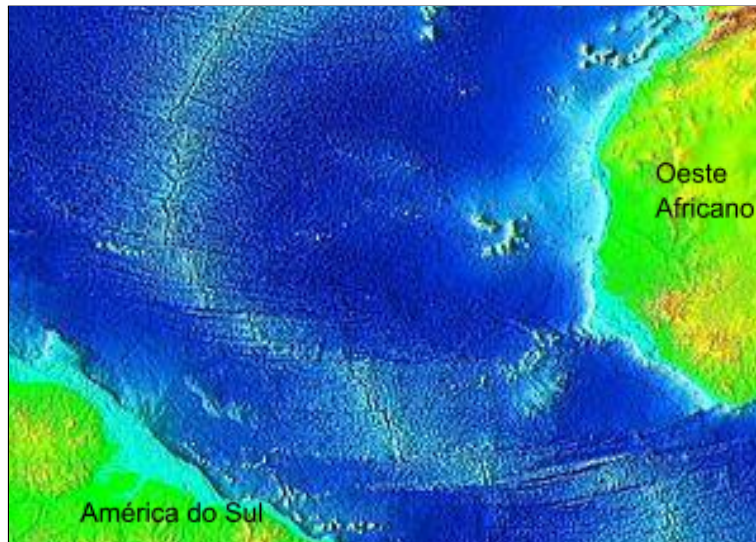
Um dos problemas com o conceito do espalhamento do assoalho oceânico era que a atividade vulcânica dos oceanos não estava apenas centralizada nas dorsais oceânicas, mas também era encontrada em algumas ilhas vulcânicas, longe das dorsais. John Tuzo Wilson explicou este fenômeno em 1963 por meio de sua teoria do hotspot. Uma pluma quente de rocha sobe pelo manto e derrete parcialmente para formar magma basáltico. Ela sobe pela litosfera para entrar em erupção através de um vulcão. Conforme a litosfera é movida para este hotspot, uma cadeia de vulcões é produzida, como mostrado na Figura 4.16. Quanto mais longe do hotspot as ilhas vulcânicas estão localizadas, mais antigas elas são.

Figura 4.16. A cadeia de ilhas e montes submarinos vulcânicos relacionados ao hotspot do Havaí no Oceano Pacífico. A curvatura repentina na cadeia está ligada a uma mudança na direção do movimento da placa do Pacífico



Em 1964, John Tuzo Wilson reconheceu outra evidência fundamental que apoiava o conceito de expansão do assoalho oceânico. Ele percebeu que, não apenas novas superfícies eram formadas nas dorsais oceânicas e levadas de volta ao manto nas trincheiras oceânicas, mas também que as dorsais oceânicas eram compensadas em muitos lugares por enormes falhas, que ele chamou de **falhas transformantes** (Figura 4.17).

Figura 4.17. Falhas transformantes deslocando a dorsal oceânica do Oceano Atlântico



Todas essas evidências tornaram-se a nova teoria de unificação das placas tectônicas, que foi amplamente aceita em meados da década de 1960. A nova teoria uniu a teoria da Deriva Continental de Wegener com a teoria da Expansão do Assoalho Oceânico de Hess, com todas as outras evidências para explicar que toda a parte externa da Terra foi quebrada em pedaços, mais tarde chamadas de placas, que se moveram pela superfície da Terra. Essas placas possuíam três tipos de margens: as dorsais e trincheiras oceânicas reconhecidas por Hess e as falhas transformantes reconhecidas por Wilson. Conforme as placas se movem, elas carregam os continentes com elas. Portanto, os continentes não se movem, como proposto por Wegener, mas são transportados pelos movimentos das placas tectônicas.

Wilson também percebeu que o movimento das placas tectônicas poderia ser responsável pela formação de supercontinentes no passado geológico, e que, conforme os continentes se moviam em conjunto e depois eram separados uns dos outros, novos oceanos se formavam. Este ciclo de formação e separação do supercontinente é agora chamado de **Ciclo de Wilson** ou **ciclo supercontinental**.

A nova teoria da unificação explicava não somente as feições geológicas em escala global, mas também os episódios de formação de montanhas e soerguimento que são partes essenciais do ciclo das rochas. Também explicava como áreas podiam ter sequências de rochas onde rochas sedimentares foram depositadas em ambientes muito diferentes, por exemplo, que poderiam variar de glacial a equatorial, e de mares profundos a montanhas. O movimento das placas tectônicas foi visto mais tarde como uma das forças motrizes por trás da evolução – unificando muitas áreas da geologia. Desde então, cada vez mais evidências têm sido encontradas apoiando a teoria das placas tectônicas; explica a maior parte, mas não todas as feições geológicas. Essas feições que não são explicadas pela teoria “normal” das placas tectônicas que são o foco de muitas pesquisas científicas atualmente.

4.1.4.2 Construção e subducção de placas tectônicas

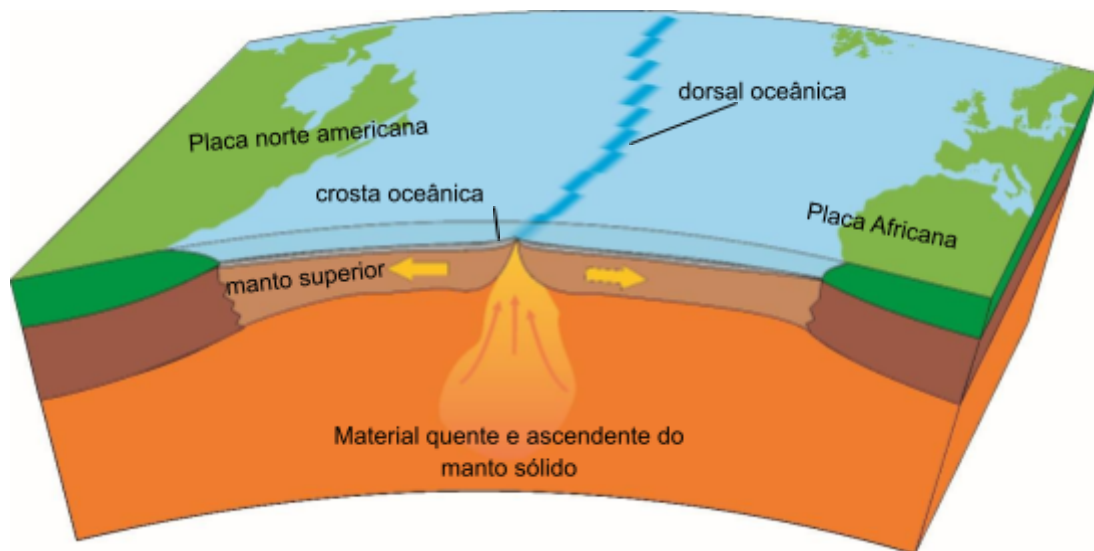
A litosfera da Terra é dividida em uma série de grandes e pequenas peças, chamadas placas tectônicas. Conforme essas placas se movem, elas carregam os continentes consigo. Em dorsais oceânicas, um novo material de placa é formado e afastado da cordilheira, por isso são chamadas de margens de placas divergentes. As cordilheiras oceânicas são compensadas por falhas transformantes, onde nenhum material de placa é formado ou perdido, portanto, essas falhas são também chamadas de margens de placa conservativas, pois as placas são conservadas.

O novo material de placa, quente e flutuante, criado nas dorsais oceânicas, lentamente se resfria e afunda conforme se afasta das cordilheiras. Eventualmente, torna-se tão frio e denso que começa a afundar de volta ao manto; este processo é chamado **subducção**. A subducção é resultado do encontro de duas placas tectônicas que se movem uma em direção à outra, motivo pela qual também são chamadas de **margens convergentes**. A litosfera subductada se reincorpora ao manto, possibilitando que as rochas da litosfera se reciclem por meio do ciclo tectônico global.

4.1.4.3 Características das margens de placas

Margens de placas divergentes. Nessas margens, um novo material de placa é formado nas dorsais oceânicas à medida que as placas são separadas, permitindo que o magma formado pela fusão parcial do manto logo abaixo, suba. Este material se solidifica em câmaras magmáticas produzindo gabros, diques de diabásio, ou no assoalho oceânico, como lavas basálticas, como pode ser visto na Tabela 4.19. Essa nova crosta, juntamente com parte do manto abaixo, torna-se uma nova litosfera à medida que uma nova placa oceânica é criada (Figura 4. 18).

Figura 4.18. Nova litosfera oceânica sendo criada na dorsal Atlântica

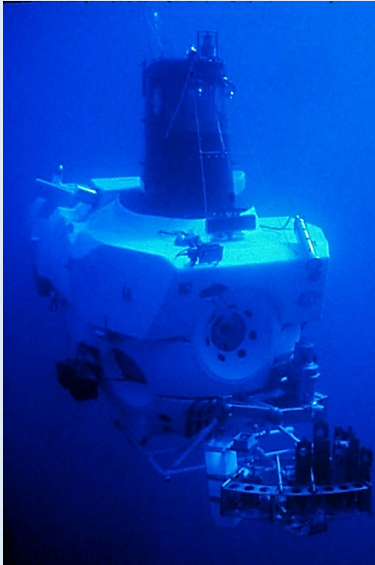


Caixa 4.9. A descoberta das fumarolas negras nas dorsais oceânicas

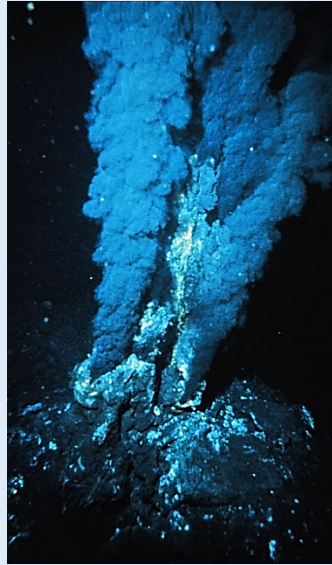
Em 1977, o veículo submersível de alto-mar *Alvin* estava investigando uma área da dorsal oceânica a 2 km de profundidade, quando dois pilotos viram fumarolas negras pela primeira vez. Eles descobriram que a água que ali se encontrava estava superaquecida a mais de 400°C e era fortemente ácida. Ali, eles encontraram diferentes formas de vida que viviam da energia e dos nutrientes produzidos pelas fumarolas. Outras investigações mostraram que a água fria do oceano estava sendo puxada para as fraturas do assoalho oceânico adjacentes, onde as rochas quentes abaixo a aqueciam. A água superaquecida dissolvia os minerais das rochas circundantes ao retornar ao fundo do mar. Quando expelida, esta água reagia com a água do oceano e minerais negros cristalizados, como “fumarola negra”. Esse fenômeno é chamado atualmente de **chaminés hidrotermais**.

Essa incrível descoberta, de um processo nunca antes visto nas profundezas marinhas, mudou nossa compreensão não somente dos processos químicos oceânicos, mas também de como comunidades biológicas podem se desenvolver sem a presença de luz. Também ofereceu nova compreensão sobre a geofísica das dorsais oceânicas. É raro uma descoberta ter tanto impacto no nosso entendimento de biologia, química e física. *Alvin* e outros submarinos de alto-mar acompanham essa descoberta até hoje. Fumarolas brancas

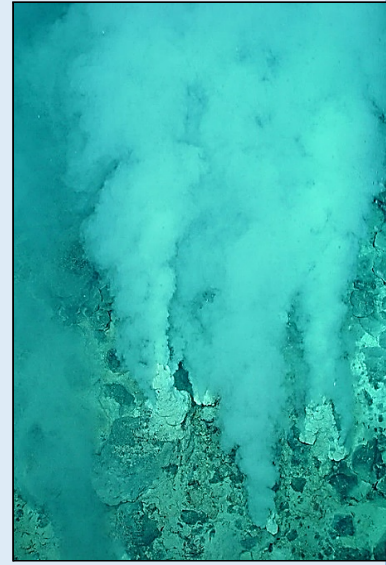
foram descobertas em locais distantes das dorsais oceânicas, com “fumaça” branca alcalina vinda de minerais de cor clara, dissolvidos em dióxido de carbono líquido.



Veículo submersível de alto-mar,
Alvin



Fumarola negra, Dorsal
Atlântica



Fumarola branca, Arco das
Marianas,
Oceano Pacífico

À medida que as placas recém formadas são afastadas, isto causa tensão e rifteamento, pois a placa sólida é fraturada em uma série de falhas normais. A parte central desliza para baixo em um vale em rifte. Esses vales são encontrados no centro das dorsais oceânicas em todo o mundo (Figura 4.19). A Islândia é um dos poucos lugares onde uma cordilheira oceânica pode ser encontrada em terra; a Figura 4.20 mostra um esquema de um pequeno vale em rifte da Islândia que faz parte de um sistema maior de cordilheiras oceânicas.

Figura 4.19. O vale em rifte no centro de uma cordilheira oceânica

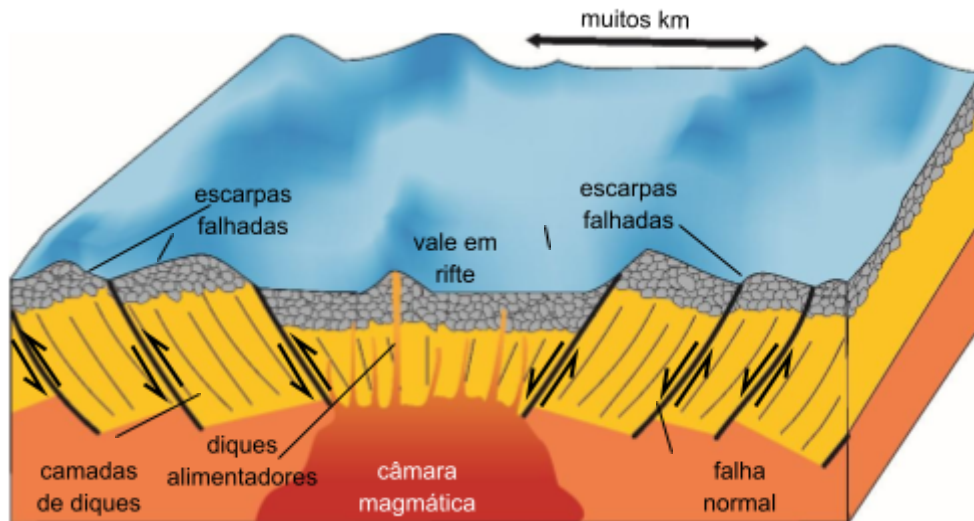


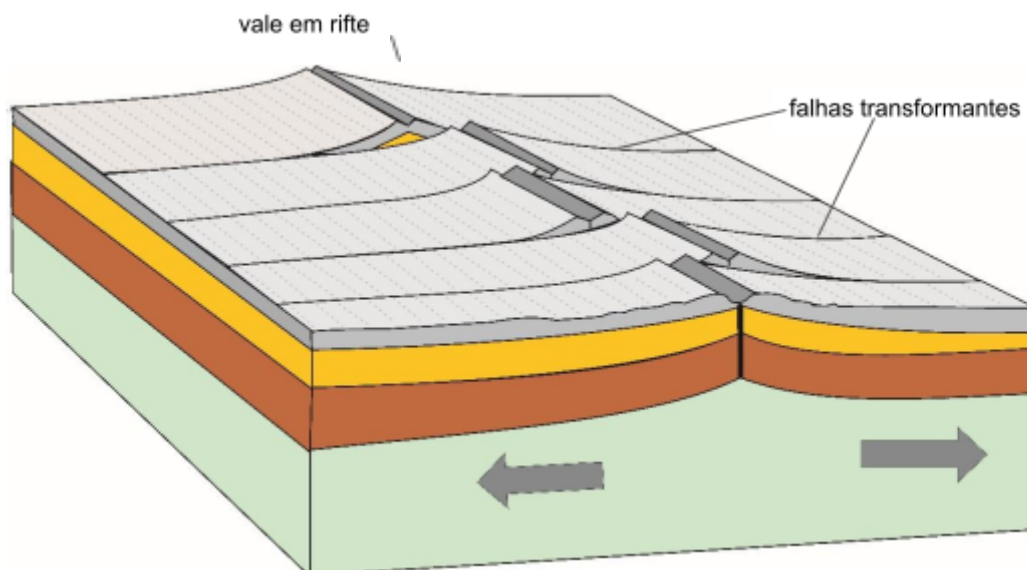
Figura 4.20. Um pequeno vale em rifte na Islândia, ligado ao rifteamento da dorsal oceânica



Perfurações feitas recentemente em alto-mar e evidências sísmicas mostram que a nova litosfera oceânica tem sido formada de maneiras diferentes em algumas partes do oceano. Em algumas áreas, a impressão que se tem é que partes do manto estão sendo puxadas para cima, ao longo de falhas profundas, para formar nova litosfera oceânica. Este processo recém descoberto ainda está sendo investigado. No entanto, assim que a essa nova litosfera oceânica em formação aparece, as lamas do fundo marinho começam a se estabelecer no topo do oceano. Essa camada de lama se torna cada vez mais espessa à medida que a placa se afasta das dorsais oceânicas e atravessa o fundo do oceano.

Margens de placas conservativas. Dorsais oceânicas são compensadas por falhas transformantes (Figura 4.17) em suas margens e são diferentes de quaisquer outras falhas. Embora elas se movam umas após as outras em um movimento normal de deslizamento, elas se estendem para zonas fraturadas além das dorsais oceânicas, onde as rochas de cada lado da falha se movem na *mesma* direção, embora em velocidades ligeiramente diferentes, como visto na Figura 4.21.

Figura 4.21. Uma série de falhas transformantes deslocando a dorsal oceânica e o vale em rifte



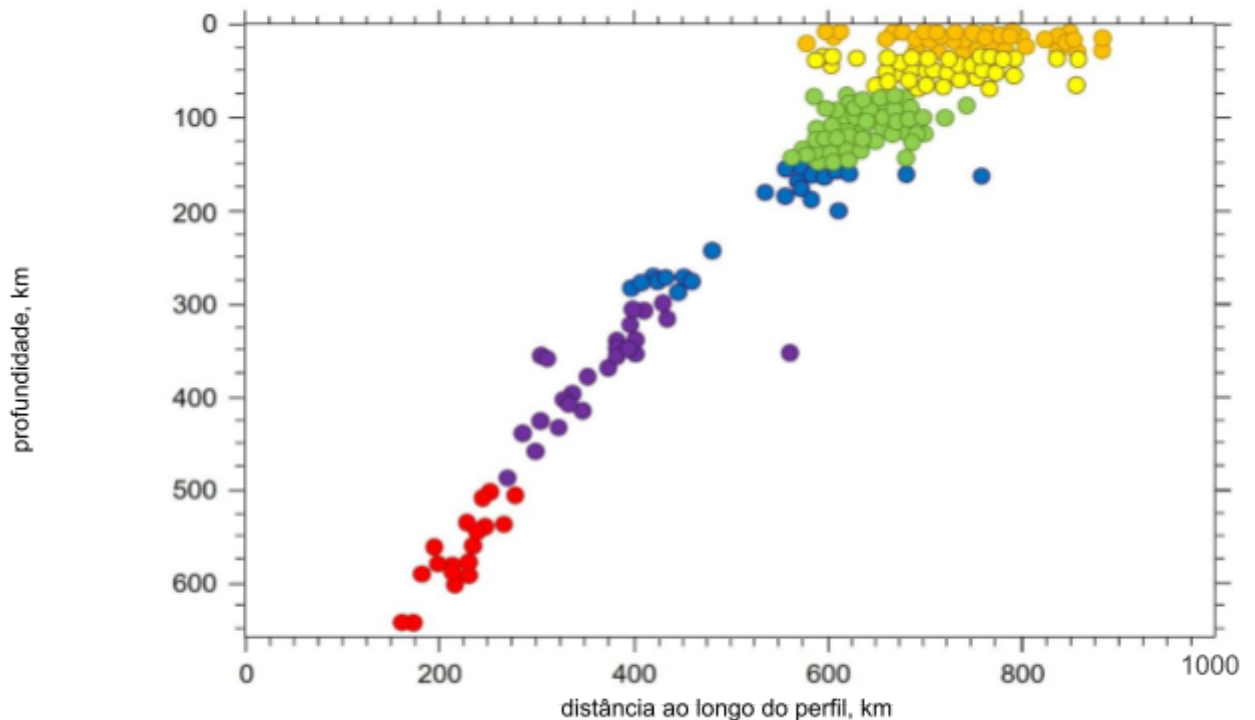
Falhas transformantes não somente deslocam as dorsais oceânicas, mas também ligam as margens das dorsais às zonas de subducção. Elas também afetam continentes; exemplos famosos de falhas que cortam continentes são a Falha Alpina, na Nova Zelândia, e a Falha de San Andreas, nos Estados Unidos (Figura 4.22). Uma vez que as falhas transformantes são margens de placas conservativas, elas não apresentam atividade vulcânica, embora isso possa ser mostrado em alguns filmes populares.

Figura 4.22. A Falha de San Andreas, localizada na Califórnia (EUA). O solo, em primeiro plano, tem sofrido falhamentos a 130 m para à esquerda desde que o riacho atravessou o vale pela primeira vez, deslocando-o por esta distância



Terremotos ocorrem em todas as margens ativas de placas tectônicas, mas, quando comparados àqueles que ocorrem em zonas de subducção, os terremotos em margens divergentes e falhas transformantes possuem epicentro raso; eles somente ocorrem em profundidade na litosfera que possui menos de 100 km de espessura. Entretanto, onde as placas são subductadas, a litosfera fria é carregada ao manto e pode causar terremotos de até 750 km de profundidade. A subducção causa uma zona inclinada de terremotos, vista na Figura 4.23.

Figura 4.23. Terremotos registrados nas zonas de subducção das Ilhas Kurile, noroeste do Oceano Pacífico. Os terremotos são classificados por cores que representam profundidade, mostrando que a placa está subductando à esquerda.



Conforme a litosfera oceânica fria vai afundando no manto, ela carrega consigo a água do mar que fica presa em suas rochas. Essa água, aquecida à medida que afunda com a litosfera, também provoca fusão parcial das rochas localizadas logo acima, produzindo magma. Uma vez formado, o magma quente possui densidade menor do que as rochas e sobe à superfície, causando atividade ígnea na placa acima.

Os efeitos da subducção podem diferir, dependendo de onde esta ocorre. Onde uma placa oceânica subducta sob outra, uma série de ilhas vulcânicas é produzida. Onde uma placa oceânica subducta sob uma placa continental, uma cadeia montanhosa é formada, associada com atividade vulcânica. Onde duas placas continentais se chocam em decorrência da subducção da litosfera oceânica entre elas, uma cadeia montanhosa ainda maior se forma como resultado dessa colisão.

Margens de placa convergentes, do tipo oceânica-oceânica. Quando duas placas oceânicas estão sendo movidas uma em direção à outra, a placa mais fria subducta por ser mais densa. A subducção produz uma trincheira e uma zona inclinada de terremotos, no fundo do mar, onde as duas placas se encontram, como visto na Figura 4.23. A fusão parcial da placa que foi subductada produz magma intermediário (pobre em ferro e em sílica), que sobe e resulta em erupções vulcânicas explosivas, produzindo uma cadeia de vulcões. A trincheira e os vulcões formam uma curva ao longo da superfície terrestre, dando outro nome para este tipo de margem: um **arco de ilhas** (Figura 4.24).

Figura 4.24. Subducção ocorrida em colisão de duas placas oceânicas

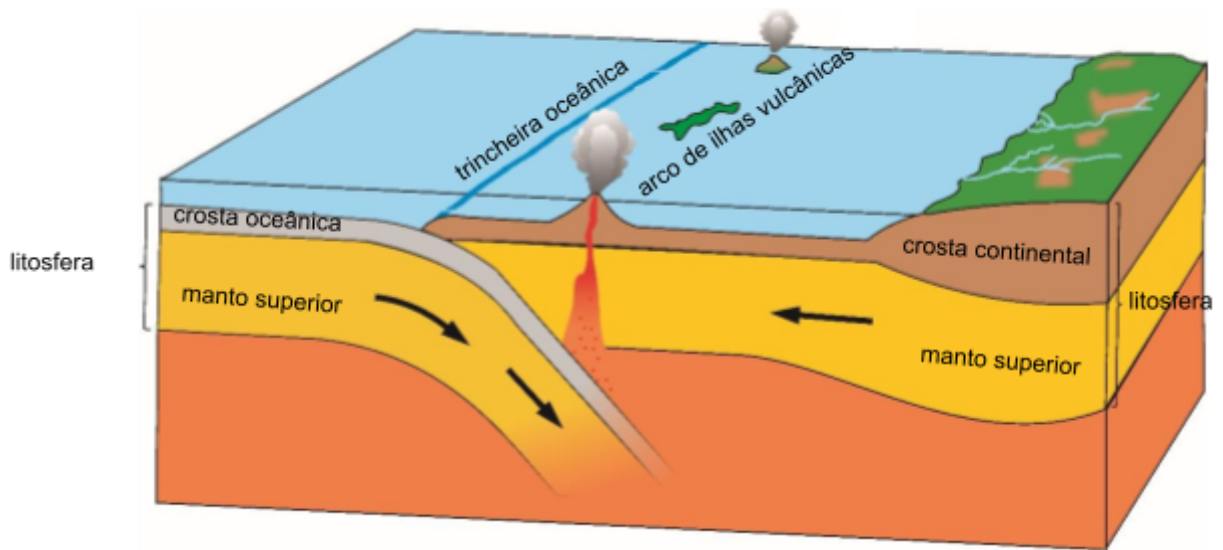


Figura 4.25. Ilhas caribenhas, evidenciando a curva da trincheira oceânica com o arco de ilhas vulcânicas, à medida que a Placa do Atlântico Norte colide com a Placa do Caribe

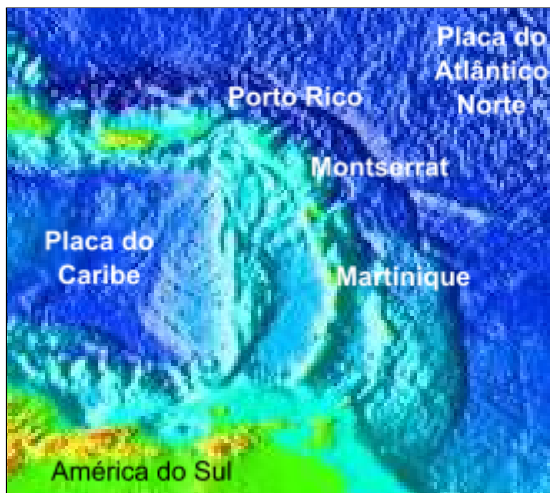


Figura 4.26. Vulcão Soufrière Hills em erupção, nas Ilhas de Montserrat, no arco de ilhas caribenhas



Margens de placas convergentes, do tipo oceano-continental. Quando uma placa oceânica colide com uma placa continental, as rochas continentais são menos densas que a litosfera oceânica, causando a subducção da placa oceânica. Tal como acontece nos arcos de ilhas vulcânicas, isso resulta em uma zona inclinada de terremotos, combinada com erupções vulcânicas explosivas. Entretanto, uma vez que existe um continente em uma das placas, isso gera muitos outros efeitos. À medida que a placa oceânica é subductada, pedaços do assoalho oceânico são forçados para fora e empilhados, como ilustrado na Figura 4.27, em uma camada espessa de sedimentos chamada **prisma acrecionário**. Isso adiciona novo material ao continente, de modo que ele também cresce em direção ao exterior. O continente também cresce para cima e para baixo, porque, conforme novo material é adicionado, montanhas são formadas e se tornam cada vez mais espessas. Conforme as montanhas se tornam mais altas, elas afundam cada vez mais no manto, porque, embora este seja sólido, é capaz de fluir. Assim, à medida que as montanhas da crosta continental se tornam mais altas, suas bases são forçadas a profundidades menores. As massas da crosta continental, forçadas para baixo para sustentar cadeias de montanhas, são chamadas de **raízes de montanha**.

Embora as temperaturas e pressões das raízes das montanhas sejam intensas por causa de sua grande profundidade, há pressões compressivas adicionais causadas pela força das placas se movendo em conjunto. São essas pressões laterais que deformam e metamorfoseiam as rochas. Enquanto isso, o magma é produzido por meio do derretimento parcial ligado à subducção da placa. Não somente magmas intermediários são produzidos, mas também ocorre o derretimento parcial da crosta mais baixa, que produz magmas ricos em sílica. Em sua maioria, são tão viscosos que se solidificam antes de atingir a superfície em grandes câmaras magmáticas, formando plutons e batólitos. O resfriamento lento dessas rochas ricas em sílica forma o granito. Se o magma rico em sílica atingir a superfície, como o magma intermediário, causará erupções explosivas muito perigosas de cinzas vulcânicas.

Figura 4.27. Subducção de uma placa oceânica sob uma placa continental

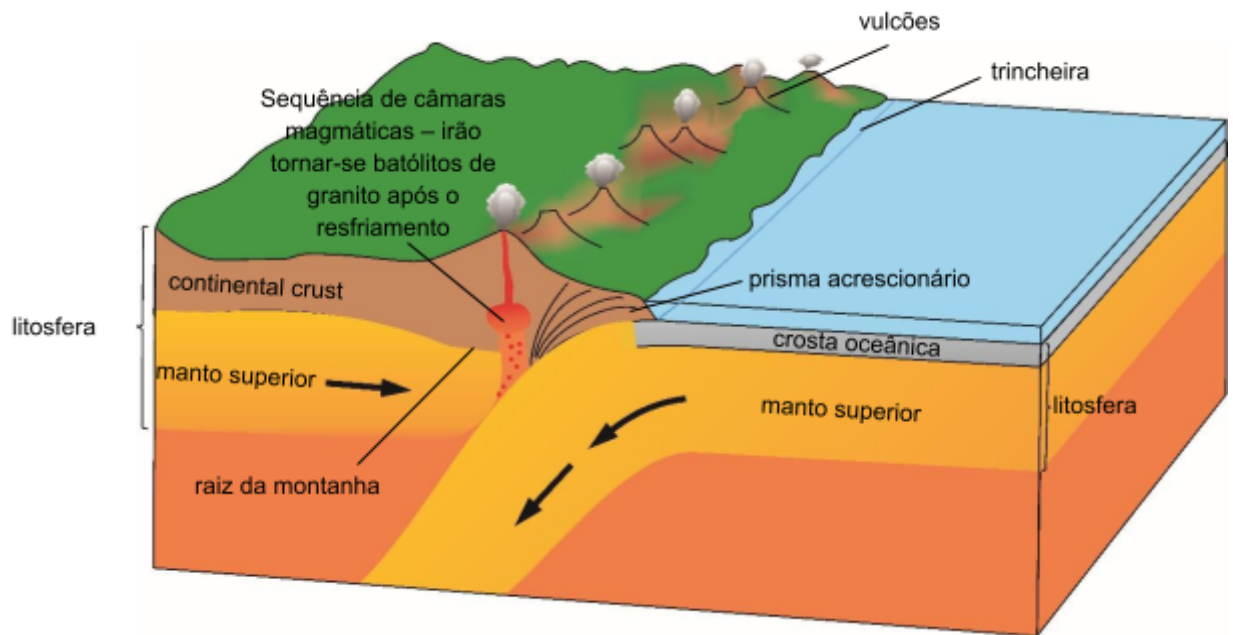


Figura 4.28. A zona de colisão formada pela Placa de Nazca subductando sob a Placa Sul Americana

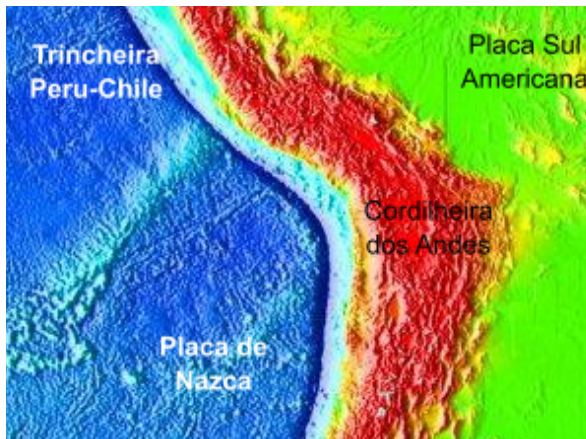
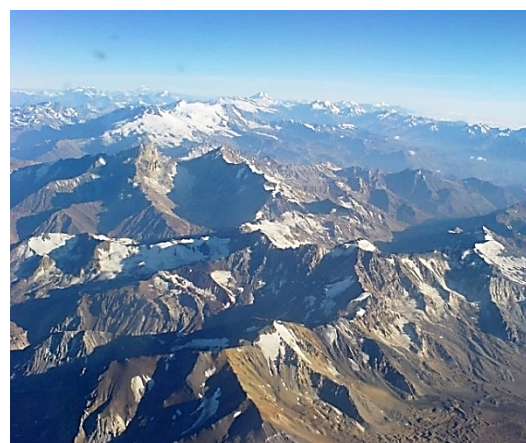


Figura 4.29. A cordilheira dos Andes entre o Chile e Argentina



Margens de placas convergentes, do tipo continente-continente. À medida que duas placas continentais se movem uma em direção à outra, a placa oceânica entre elas subducta e o oceano se fecha gradualmente. Conforme as placas continentais colidem, altas cadeias de montanhas com raízes profundas são geradas, formando as mais altas cordilheiras da Terra. A colisão causa intensa deformação, com falha de empuxo e dobramento em larga escala, juntamente com metamorfismo de alto grau. Embora a zona de colisão possa ficar ativa por

milhões de anos, nenhuma subducção pode ocorrer, então não há mais atividade vulcânica. No entanto, a região é muito suscetível a terremotos, geralmente de alta magnitude e catastróficos (Figuras 4.30, 4.31 e 4.32).

Figura 4.30. Zona de colisão entre duas placas continentais

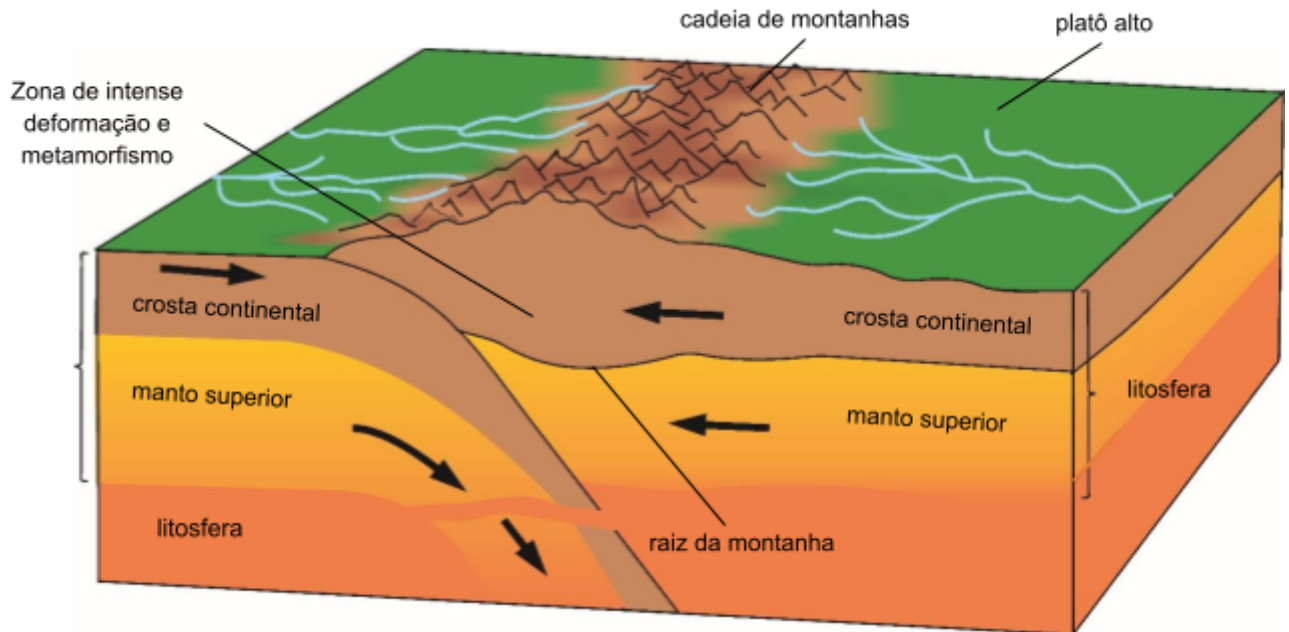


Figura 4.31. Colisão da Placa Indiana com a Placa da Eurásia, produzindo a cadeia de montanhas himalaias

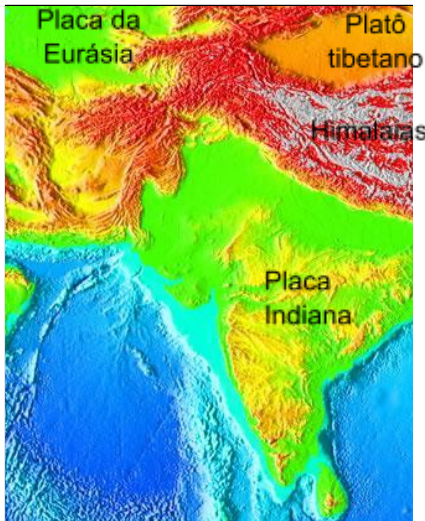
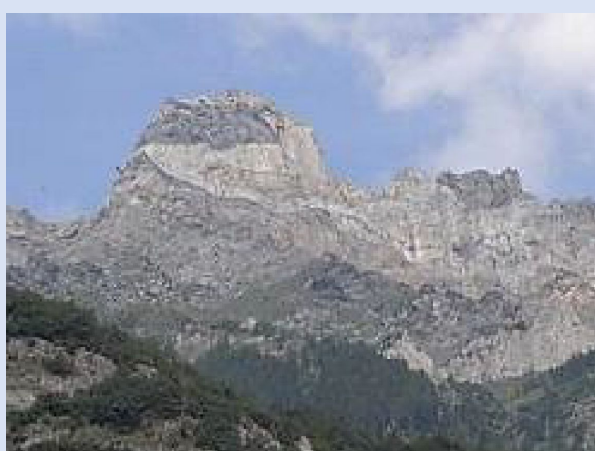


Figura 4.32. A cadeia de montanhas do Himalaia vista da Estação Espacial Internacional, com o Monte Everest localizado no topo central



Box 4.10. Folhas de empuxo (*Nappes*) produzidas por colisões de placas tectônicas.



Quando duas placas continentais colidem, camadas de rocha podem ser empurradas para cima e podem ser movidas por muitos quilômetros ao longo de falhas de baixo ângulo. Às vezes, as rochas próximas às zonas de impulso podem ser dobradas e a sequência de rochas, a partir da base, se inverte.

Glarus Thrust, nos Alpes Suíços. A rocha escura, perto do topo da montanha, foi empurrada para o norte, por mais de 100 km, sobre as rochas mais baixas, uma vez que a cadeia de montanhas alpinas foi elevada pela colisão entre as placas africana e europeia.

A Dobra Dent de Morcles, nos Alpes Suíços. As rochas mais escuras no topo da montanha têm a mesma idade daquelas que estão abaixo da dobra, que foram derrubadas pela colisão das placas africana e europeia.

Agora que sabemos o que acontece nas margens das placas tectônicas, podemos entender etapas do ciclo das rochas que eram difíceis de serem compreendidas antes da teoria da Tectônica de Placas, como as mostradas na **Tabela 4.21**.

Tabela 4.21. Processos do ciclo das rochas explicados a partir da Teoria da Tectônica de Placas.

Processos do ciclo das rochas	Explicações a partir da Teoria da Tectônica de Placas
Metamorfismo	Metamorfismo regional: ocorre quando cadeias de montanhas são formadas nas margens das placas. As rochas são carregadas para as profundidades onde a temperatura e as pressão são muito altas; a tensão decorrida da colisão das placas faz com que a rocha recristalize.
	Metamorfismo térmico: magma intrusivo faz com que as rochas que o cercam sofram metamorfismo.
Fusão (fusão parcial)	Nas zonas de subducção: a placa subductada carrega água consigo; o aumento de temperatura faz com que as rochas acima da placa derretam parcialmente, formando um magma de baixa densidade. Por ser um magma de baixa densidade, o material então ascende em direção à crosta.
	Nas margens de placas divergentes: abaixo das dorsais oceânicas, o manto se torna quente o suficiente para derreter parcialmente as rochas do entorno,

	gerando magmas ricos em ferro e magnésio que formam a nova placa oceânica.
--	--

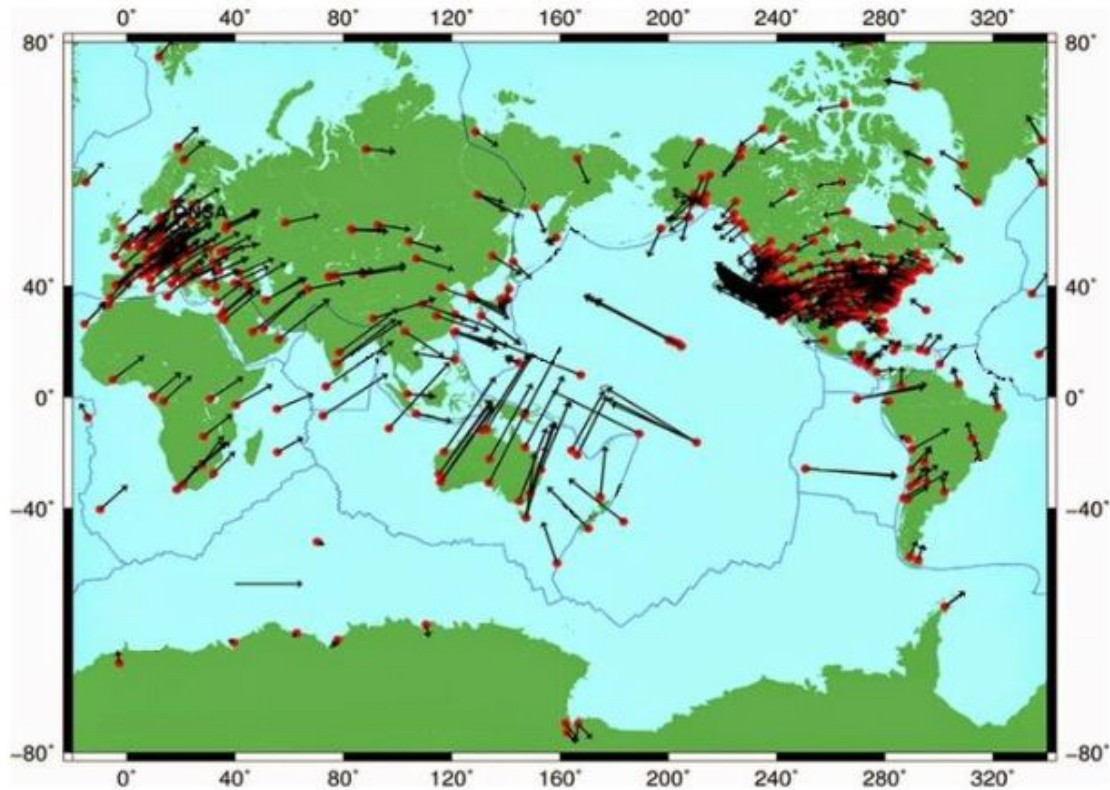
Tabela 4.21. Processos do ciclo das rochas explicados a partir da Teoria da Tectônica de Placas. Continuação.

Processos do ciclo das rochas	Explicações a partir da Teoria da Tectônica de Placas
Intrusão	À medida que o magma nas margens da placa ascende à crosta mais fria, este magma esfria e cristaliza em grandes câmaras como plútons ou batólitos.
Atividade vulcânica	Se o magma nas margens da placa e dos hot spots atingir a superfície, ele irrompe. As erupções variam de relativamente seguras a catastróficamente perigosas.
Elevação	Quando cadeias de montanhas são formadas nas margens de placas tectônicas, algumas áreas são levantadas, enquanto outras são forçadas para baixo das cadeias. Uma vez que a cadeia montanhosa "flutua" no manto sólido, a camada sobrejacente é removida pela erosão e as rochas se elevam.
Deformação	Em margens divergentes: conforme as placas são afastadas, suas fraturas se rompem, formando as falhas normais. Cada área da placa, desliza em relação à outra.
	Em margens conservativas: na formação da falha de transformação, uma placa desliza sobre a outra e as rochas fraturas se quebram em falhas de deslizamento.
	Em margens convergentes (oceânica-continente ou continente-continente), as enormes forças compressivas fazem com que as rochas próximas à superfície se quebrem em falhas inversas e de impulso; em profundidades maiores, as rochas se deformam.

4.1.4.4 Mecanismo e taxa de movimento

Hoje, o movimento das placas pode ser rastreado por satélites a partir do Sistema de Posicionamento Global (GPS). O sistema relata uma taxa de movimento que varia entre 1 e 10 cm por ano, aproximadamente. Esta é a mesma taxa de crescimento das nossas unhas (**Figura 4.33**).

Figura 4.33. Taxas de movimento das placas tectônicas; o comprimento das setas mostra a velocidade da placa medida por GPS.



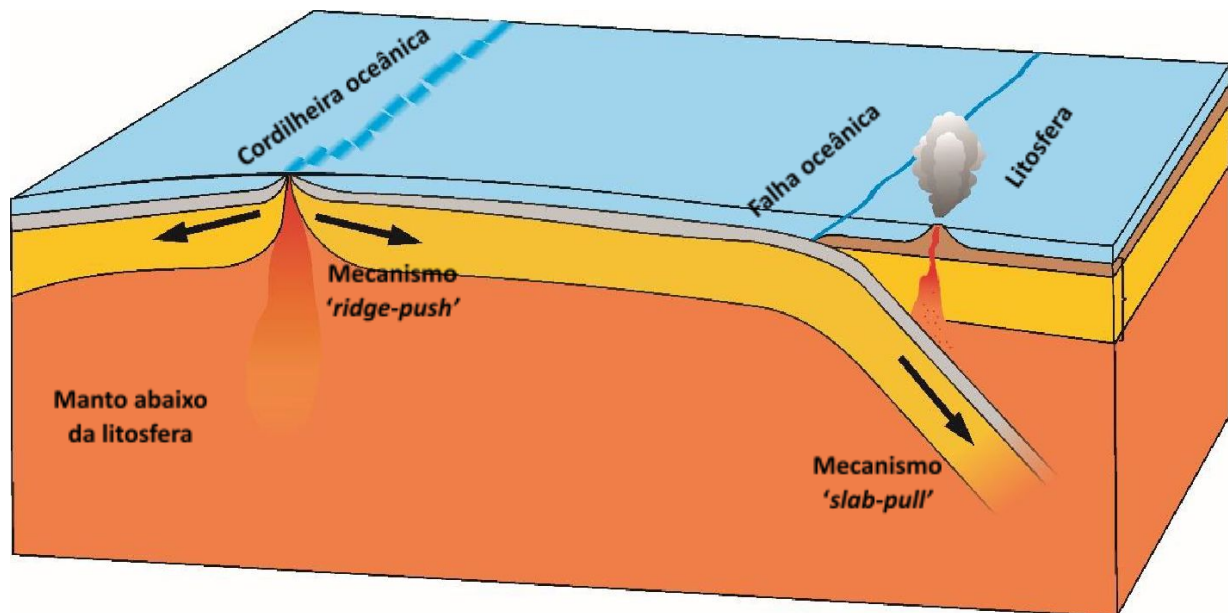
Por muitos anos, pensou-se que as correntes abaixo do manto sólido carregavam as placas; movidas pelo calor, correntes como essas são chamadas de correntes de convecção. Hoje, podemos usar informações sísmicas para fazer a varredura da Terra, assim como scanners médicos examinam seu corpo. Esta varredura, até agora, questionou a ideia de correntes de convecção em grande escala no manto. Portanto, o mecanismo de convecção do manto pode não ser a principal força motriz do movimento de grandes placas.

As placas subductam nas zonas de subducção porque são mais densas do que as rochas circundantes. Parece que o movimento das placas pode ser explicado pelo afundamento de placas de litosfera densa fria que arrasta a placa a que está fixada; este é o mecanismo de tração que puxa para baixo toda a placa. Isso funciona como um pano com uma ponta pendurada sobre uma mesa lisa, quando a borda cai no chão, ela puxa o resto do pano que está sobre a superfície.

Onde não há grande efeito da tração das placas, parece haver um empurrão das dorsais oceânicas. Como as dorsais oceânicas são mais altas do que o fundo do mar circundante, a litosfera recém-formada desliza para fora das dorsais empurrando a placa à frente; este mecanismo empurra para cima o fundo oceânico.

Os mecanismos de puxar para baixo (*slab-pull*) e empurrar para cima (*ridge-push*) parecem ser as principais forças motrizes das grandes placas, embora isso ainda esteja sendo investigado. Entretanto, outras forças também podem influenciar o processo (**Figura 4.34**).

Figura 4.34. Mecanismos dos movimentos de placas

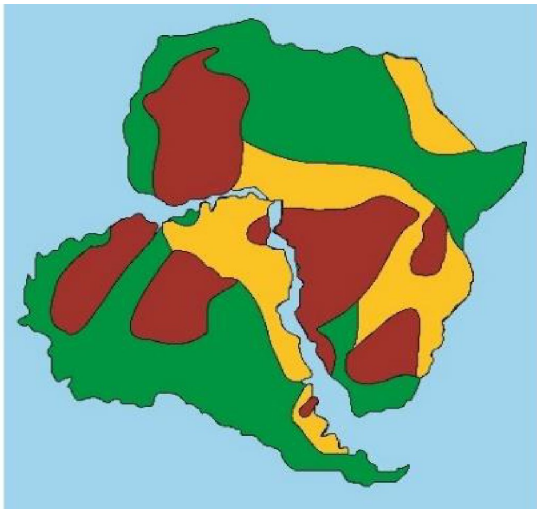
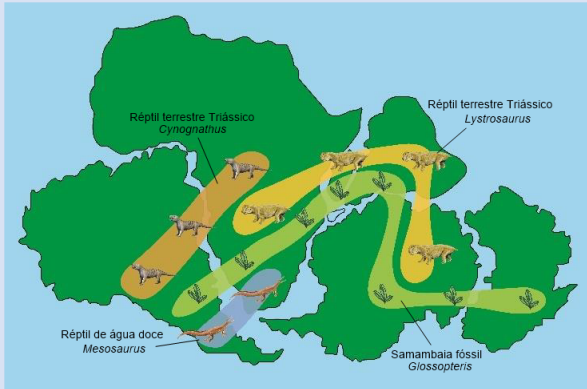


4.1.4.5 Evidências

Hoje, temos tantas evidências que a Teoria da Tectônica de Placas quase pode ser considerada como um fato. Assim como outras boas teorias, ela reuniu muitas evidências e oferece previsões que foram testadas e consideradas corretas. No entanto, também como a maioria das teorias, a Tectônica de Placas não explica todos os processos externos da Terra, e algumas de suas previsões ainda estão sendo investigadas.

As principais evidências que sustentam a teoria das placas tectônicas estão resumidas na **Tabela 4.22**.

Tabela 4.22. Principais evidências da Tectônica de Placas

Evidência	Proposto por	Explicação	Imagem
Quebra-cabeça continental	Du Toit, Wegener	Os continentes formavam um único bloco cujas partes se separam, isto é explicado pelos formatos das costas dos continentes. Reconstruções baseadas em modelagem computacional mostram que as bordas continentais se encaixam.	 Este mapa mostra a reconstrução dos continentes da América do Sul e da África do Sul. As bordas continentais são desenhadas para se encaixarem como peças de um quebra-cabeça. Linhas vermelhas representam as sobreposições das bordas, enquanto as linhas pretas representam as lacunas. Uma legenda no canto inferior direito indica: 'Sobreposições' (linha vermelha) e 'Lacunas' (linha preta).
Evidências geológicas do quebra-cabeça continental	Du Toit, Wegener	Os padrões geológicos dos continentes combinam quando eles são encaixados. Na imagem, cores iguais indicam formações geológicas de idades similares.	 Este mapa mostra a mesma reconstrução dos continentes da América do Sul e da África do Sul, mas com áreas geológicas coloridas. As cores verde, amarelo e marrom representam diferentes formações geológicas. Quando os continentes são encaixados, as cores correspondentes se alinham, demonstrando a continuidade das formações geológicas entre os dois continentes.
Evidências fósseis do quebra-cabeça continental	Wegener	Os lugares onde fósseis terrestres foram encontrados se complementam quando os continentes são “encaixados”. O mapa ao lado apresenta as localizações onde foram encontrados fósseis de <i>Cynognathus</i> (marrom), <i>Lystrosaurus</i> (laranja), <i>Mesosaurus</i> (verde) e <i>Glossopteris</i> (verde).	 Este mapa mostra a mesma reconstrução dos continentes da América do Sul e da África do Sul, com as localizações de fósseis terrestres marcadas. As localizações são: <i>Cynognathus</i> (marrom), <i>Lystrosaurus</i> (laranja), <i>Mesosaurus</i> (verde) e <i>Glossopteris</i> (verde). As localizações dos fósseis se complementam quando os continentes são encaixados, demonstrando a continuidade das faunas entre os dois continentes.

		(verde) e Mesosaurus (azul).	
--	--	------------------------------	--

Tabela 4.22. Principais evidências da Tectônica de Placas. Continuação.

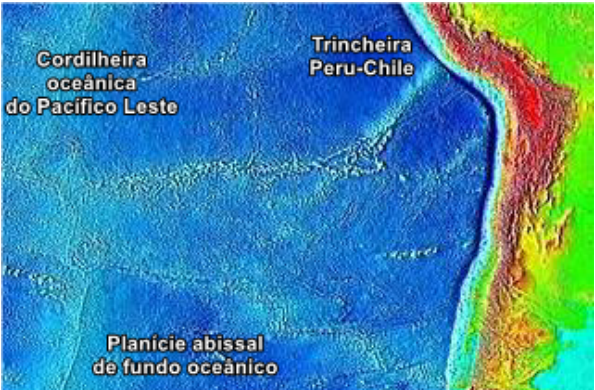
Evidência	Proposto por	Explicação	Imagem
Evidências paleoclimáticas	Wegener	Áreas continentais que foram originalmente cobertas por gelo combinam quando os continentes são remontados. Os mapas mostram a extensão de coberturas glaciais.	 Cobertura de gelo há 300-250 milhões de anos atrás Direção do movimento das camadas de gelo
Relevo	Hess	Hess percebeu que características do fundo do oceano, como trincheiras e dorsais oceânicas, poderiam ser combinadas, e que o fundo do mar espelha estas formações tendo como referência a cordilheira oceânica. Posteriormente esta hipótese foi estendida às formações continentais.	 Cordilheira oceânica do Pacífico Leste Trincheira Peru-Chile Planície abissal de fundo oceânico
Distribuição da atividade vulcânica		O padrão da atividade vulcânica, representado pelos pontos vermelhos, indica que esta atividade está relacionada aos limites das placas, ou hot spots.	

Tabela 4.22. Principais evidências da Tectônica de Placas. Continuação.

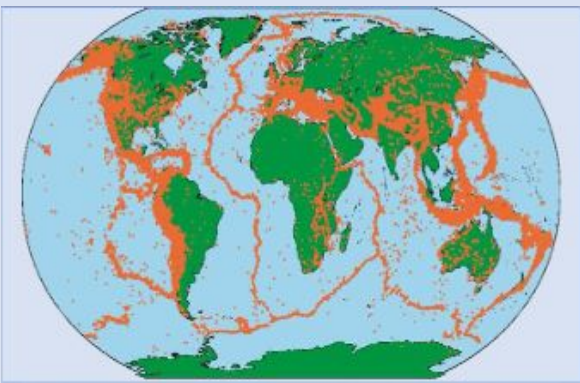
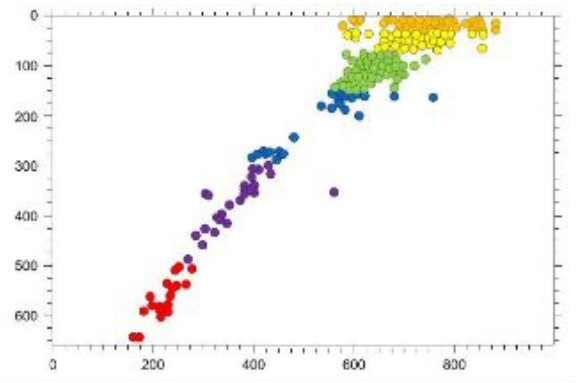
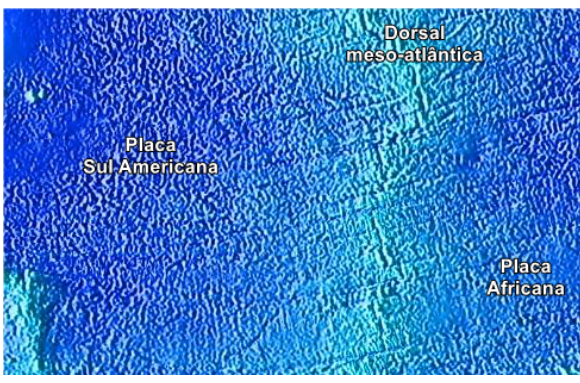
Evidência	Proposto por	Explicação	Imagem
Distribuição dos terremotos		A distribuição de grandes terremotos, representada por pontos de cor laranja, mostra que apesar de haver terremotos em lugares distantes, a maioria ocorre nas margens das placas, sobretudo em zonas de subducção.	
Profundidade dos terremotos	Benioff, Wadati	A maior profundidade dos terremotos ocorridos ao longo de zonas de subducção pode confirmar a explicação acima.	
Tarjas magnéticas	Vine e Matthews, Morley	O padrão simétrico das 'Tarjas magnéticas' nos basaltos dos cumes do fundo oceânico mostram que a litosfera espalha-se para ambos os lados a partir da cordilheira oceânica.	
Falhas transformantes	J. Tuzo Wilson	Onde as dorsais oceânicas são compensadas, existem falhas que se movem lateralmente, mas na mesma direção. A falha de San Andreas é um exemplo.	

Tabela 4.22. Principais evidências da Tectônica de Placas. Continuação.

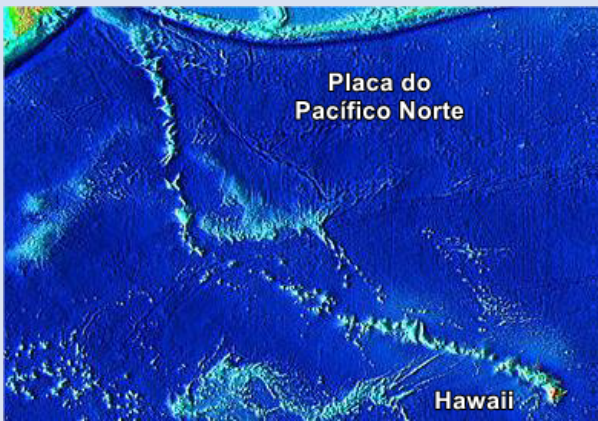
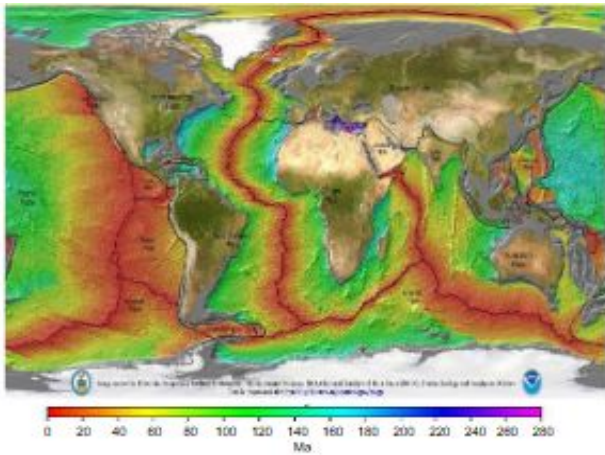
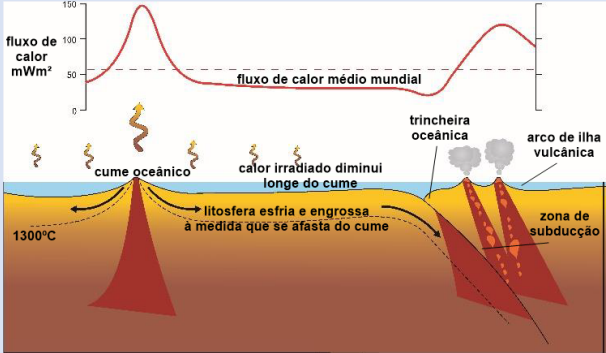
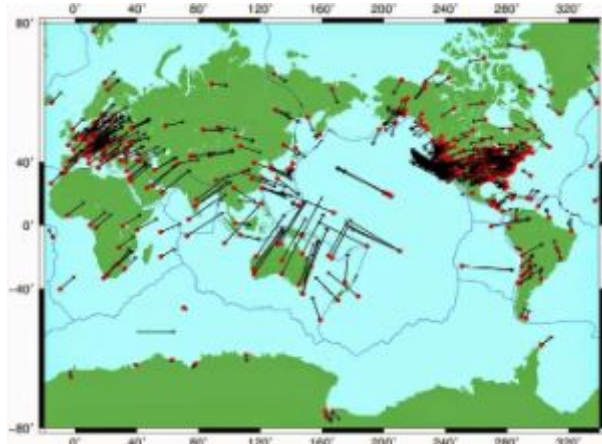
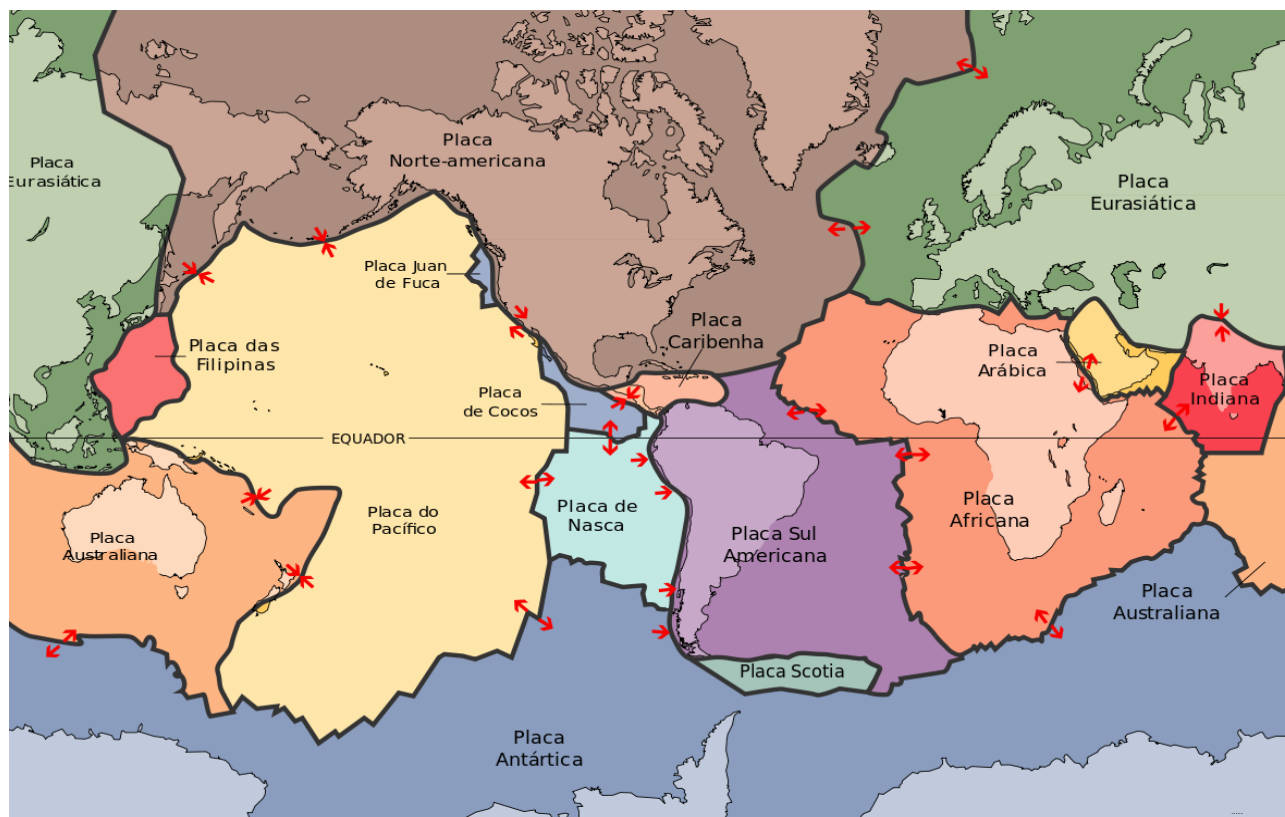
Evidência	Proposto por	Explicação	Imagem
Hotspots	J. Tuzo Wilson	Conforme as placas se movem, a atividade vulcânica irrompe a partir de hotspots em suas bordas. Vulcões extintos se tornam mais velhos e mais distantes do hotspot, indicando a direção de movimento da placa.	
Idade do fundo oceânico		Perfurações no oceano profundo permitem a datação de suas rochas. Este mapa mostra as idades das rochas mais antigas encontradas em diferentes partes de oceanos. As rochas mais jovens do fundo oceânico estão mais próximas da dorsal oceânica.	
Fluxo de calor		Medições do calor que flui do interior da Terra mostra pontos de alta temperatura em dorsais oceânicas e continentais, em áreas vulcânicas, abaixo de pontos de trincheiras, e o lento e constante resfriamento da placa conforme se afasta do cume.	

Tabela 4.22. Principais evidências da Tectônica de Placas. Continuação.

Evidência	Proposto por	Explicação	Imagem
Composição do magma		Erupções em dorsais oceânicas e pontos quentes são de basalto, enquanto as que ocorrem nas zonas de subducção são principalmente de andesito e cinzas vulcânicas. Os diferentes tipos de magma podem ser explicados pelas diferenças entre as placas e os processos que nelas ocorrem.	
Medida do movimento das placas		Os movimentos das placas podem ser acompanhados por GPS. Quanto mais longa a flecha, mais rápido é o movimento.	

As investigações científicas sobre as placas tectônicas forneceram dados necessários para desenhar um mapa detalhado das placas principais e de suas margens sobre a Terra, como na **Figura 4.35**. Um mapa-múndi apresenta apenas as placas principais, há muitas placas menores.

Figura 4.35. As principais placas tectônicas da Terra. As setas vermelhas mostram as direções do movimento da placa.



4.2 Hidrosfera

Hidrosfera é o nome dado a toda a água do nosso planeta - desde os oceanos até a condensação que você pode ver do lado de fora de uma lata de bebida gelada, do alto na atmosfera ao fundo do mais profundo poço artesiano.

4.2.1 Águas continentais

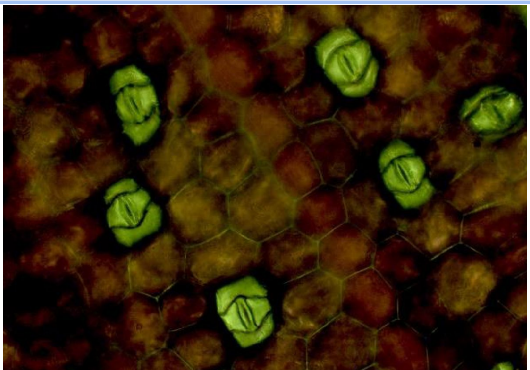
4.2.1.1 Fontes das águas continentais

O principal reservatório de água da Terra são os oceanos, a água é trazida para os continentes através dos processos do ciclo hidrológico (Capítulo 1). Embora apenas cerca de 2,5% da água da Terra seja encontrada nos continentes (o resto está nos oceanos), a água doce nos continentes participa de uma ampla gama de efeitos geológicos e é vital para a vida na Terra. As diferentes fontes de água continental são mostradas na **Tabela 4.23**.

Tabela 4.2.3. Águas continentais.

Fonte de água	Porcentagem da água continental	Imagem	Fonte
Calotas polares, geleiras e gelo permanente	68,7		A calota de gelo, Ilha Saunders, Baffin Bay, Groenlândia.
Lençóis freáticos	30,1		Lençol freático emergindo do chão – uma nascente de água no Cáucaso, Ásia ocidental.
Lençóis de <i>Permafrost</i> (água, gelo e rochas congelados)	0.86		Lençol produzido por permafrost de tundra, Alaska, EUA.
Lagos	0.26		Satpara Lake, um dos lagos de maior altitude do Paquistão.
Umidade dos solos	0,05		Sol úmido, Saxônia, Alemanha.

Tabela 4.2.3 Águas continentais. Continuação.

Fonte de água	Porcentagem da água continental	Imagem	Fonte
Atmosfera	0,04		Nuvens no céu em Muelle de El Quisco, Valparaíso, Chile, 1997.
Pântanos	0,03		Pântano de Sylhet, Bangladesh.
Rios	0,006		Rio Yukon, Canadá.
Águas biológicas	0,003		A Tradescantia zebrina vista sob microscópio. Em verde, seus estômatos, a partir dos quais lançam água na atmosfera durante a transpiração.

Mais de dois terços da água continental estão nas calotas polares, no gelo e nas neves das áreas montanhosas. Essa água acumulada é reciclada a partir do ciclo hidrológico.

A maior parte da água continental remanescente é encontrada no subsolo, em espaços de poros de rocha, como águas subterrâneas ou onde o solo está congelado, como *permafrost*. Menos de 1% da água da Terra forma todos os lagos, reservatórios e sistemas de rios. Uma pequena porcentagem da

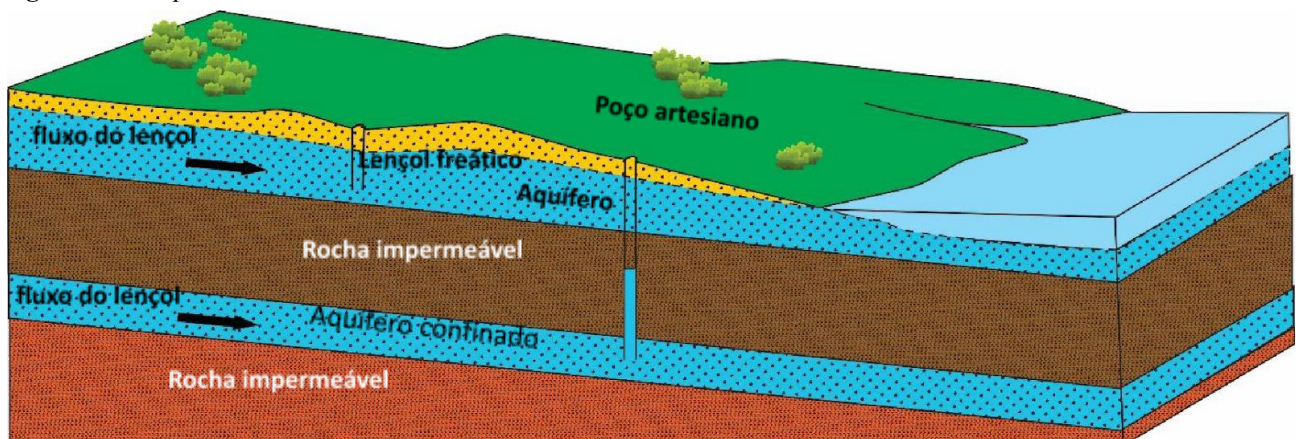
água da Terra é encontrada na atmosfera, na forma de vapor ou de gotículas. A água atmosférica é rapidamente reciclada, e trazida para os continentes através da chuva e outros tipos de precipitação, como neve e granizo.

Quando chove, parte da chuva flui sobre o solo como pequenos riachos e depois em grandes córregos e rios. No entanto, parte da água se infiltra no solo, processo conhecido como **infiltração**. Os animais e as plantas usam grande parte dessas águas e o restante é reciclado e volta para a atmosfera pela evapotranspiração das plantas. As plantas absorvem água pelas de suas raízes, movem-na para cima em seus caules e troncos, e a perdem através de suas folhas, na forma de vapor, para o ar; este é o processo de **evapotranspiração**.

Um pouco de água escorre mais para baixo, na rocha. A água desce através da rocha até atingir um nível onde todos os pequenos espaços dos poros estão cheios de água. Isso é chamado de zona saturada, pois os poros estão repletos de água. O topo da zona saturada é o **lençol freático**. A água na zona saturada é chamada de **água subterrânea** e flui morro abaixo até sair da rocha novamente em uma nascente, pântano, ou flui para um rio, lago ou mar. A água subterrânea flui para o subsolo lentamente, e às vezes pode permanecer na rocha por milhares de anos.

As águas podem ser extraídas das rochas que as retêm. Estas rochas formam os **aquíferos**. A maioria dos aquíferos estão expostos, mas às vezes a rocha que contém água está abaixo de uma camada impermeável, então o aquífero torna-se um aquífero confinado e a água que contém é **água artesianana**. Quando perfurações são feitas em ambientes de aquíferos confinados, a água sobe ao nível que tinha quando foi confinada pela primeira vez (**Figura 4.36**). Se a área onde estava primeiro confinado estiver acima da superfície da Terra, onde o poço é perfurado, a água flui para fora do solo.

Figura 4.36. Aquíferos



4.2.1.2 Abastecimento de água

A água pode ser nosso recurso mais importante. Sem água, a vida é impossível e os humanos não podem sobreviver. A água é vital para a agricultura e para muitas necessidades industriais, bem como para as necessidades domésticas do dia a dia. A maior parcela de água é globalmente usada para a agricultura. Cerca de um quarto do uso global de água é feito pela indústria e apenas cerca de 8% é utilizada por famílias em todo o mundo. No entanto, apenas cerca de 85% da população mundial tem acesso a água potável. Os 15% restantes das pessoas têm que coletar água de rios, lagos ou poços, embora o acesso à água potável seja reconhecido como o fator mais importante para a saúde humana.

A água da torneira, que vem de águas superficiais de rios e reservatórios ou subterrâneas, deve ser tratada para torná-la adequada para uso. O tratamento envolve sedimentação e filtração para remover sedimentos em suspensão, e métodos químicos e biológicos para remover material orgânico como bactérias, algas e vírus.

A maior parte da água da Terra vem de fontes superficiais, mas cerca de 40% é água subterrânea bombeada de aquíferos. A água subterrânea é filtrada naturalmente através da rocha e, portanto, costuma ser muito mais limpa do que a água superficial. O abastecimento comercial de água subterrânea ainda passa por tratamento de água, embora a maior parte da água retirada diretamente das rochas pode ser bebida com segurança. Na verdade, grande parte da água mineral é engarrafada comercialmente para venda sem qualquer tratamento.

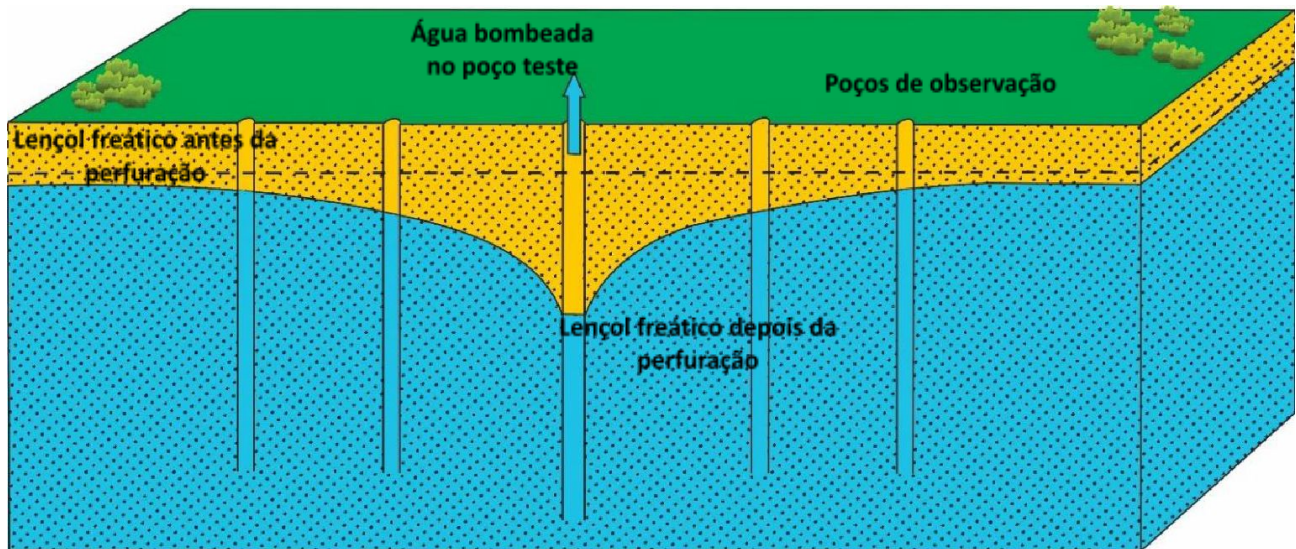
Box 4.11. Água mineral comercializada



Os hidrogeólogos exploram a água estudando a configuração do terreno e a geologia de uma área e, em seguida, perfurando um **poço de observação**. Uma série de poços de observação são perfurados em linha, e em cada lado desta linha há um poço de teste que é bombeado, puxando o lençol

freático e causando rebaixamento. Se o rebaixamento for sobre uma área ampla, então a água está fluindo e é provável que o processo seja bem-sucedido. No entanto, se a área de rebaixamento for pequena, a rocha não é muito permeável e é provável que o poço não seja confiável como fonte de água (**Figura 4.37**).

Figura 4.37 – Teste para perfuração de poços



Quando um poço bem-sucedido é encontrado, a água precisa ser bombeada (a menos que seja um poço artesiano com boa pressão). No passado, o bombeamento era feito manualmente ou em enormes máquinas a vapor. Hoje, as bombas manuais ainda são usadas em áreas rurais, juntamente com bombas de vento, elétricas ou a diesel.

Box 4.12. Métodos para bombeamento de águas subterrâneas



Estação de bombeamento vitoriana, Londres, Inglaterra, que continua utilizando um enorme motor de bombeamento a vapor.



Bomba de vento, Namaqualand, África do Sul.



Bomba a diesel utilizada atualmente, Inglaterra.



Bomba manual, Índia.

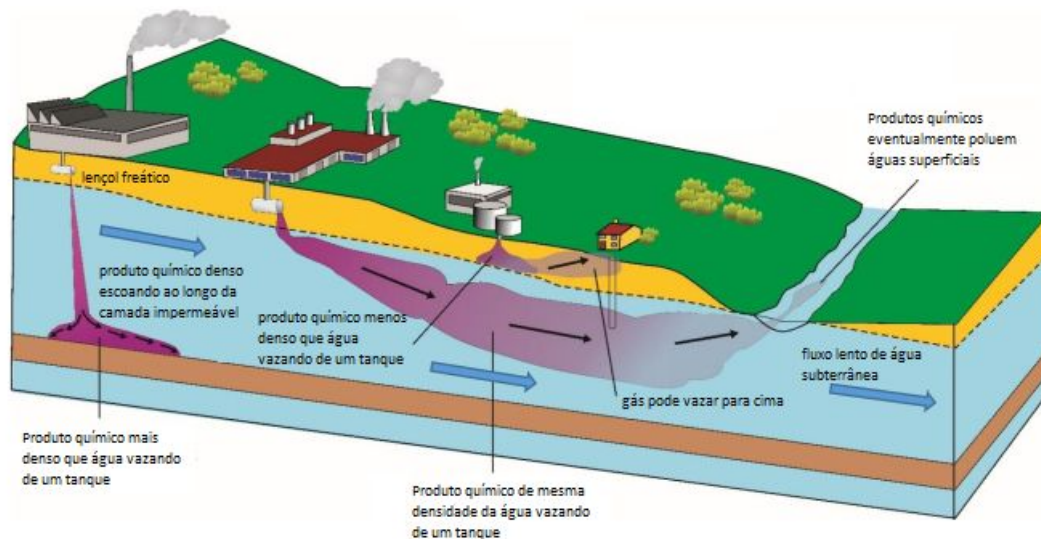
4.2.1.3. Água Contaminada

As águas superficiais e subterrâneas podem ser contaminadas por fontes naturais, mas a maior parte da contaminação da água é por atividade humana. A contaminação pode ser por fluidos leves (baixa densidade), como combustíveis que flutuam na água superficial ou no lençol freático; por fluidos pesados (alta densidade), que afundam em direção ao fundo de reservatórios ou aquíferos; ou por uma vasta gama de materiais em suspensão ou dissolvidos na água.

Os principais contaminantes das águas superficiais são provenientes da atividade urbana. Incluem sal e óleo das estradas, contaminação industrial por vazamentos de produtos químicos de tanques e combustíveis, por acúmulo de resíduos de minas e indivíduos que descartam pelo ralo produtos de limpeza, detergentes, óleo, tintas e artefatos de jardim. A agricultura também produz resíduos, incluindo resíduos animais, fertilizantes e pesticidas.

Também ocorre a poluição das águas subterrâneas, podendo originar-se de aterros urbanos, de vazamentos de esgotos e fossas sépticas, de dutos industriais e de poços mal construídos em zonas urbanas e rurais.

Figura 4.38. Extensão de poluição das águas subterrâneas



Os geólogos ambientais trabalham para prevenir a poluição das águas superficiais e subterrâneas. Eles procuram áreas de rocha impermeável para a eliminação dos resíduos, para que os fluidos dos resíduos não penetrem nas camadas permeáveis e poluam a água a ser fornecida; controlam também os locais de eliminação de resíduos industriais e de aterros sanitários para a detecção de vazamentos. A proteção do ambiente pode incluir a coleta regular de amostras de águas superficiais e seu teste de contaminação, bem como o monitoramento de poços de monitoramento em torno de potenciais locais de contaminação. Quando ocorre contaminação das águas subterrâneas, os métodos de reparação para deixá-las limpas são muito caros.

4.2.2. Água oceânica

O oceano e a água do mar cobrem hoje mais de dois terços da superfície da Terra, embora tenha havido tempos no passado geológico em que os oceanos cobriram áreas muito maiores ou muito reduzidas. Os principais oceanos profundos da Terra incluem os oceanos Pacífico, Atlântico, Índico, Ártico e do Sul. Há muitos mares nas plataformas continentais.

4.2.2.1. Composição da água

A água do mar contém cerca de 3,5% de sal dissolvido, uma vez que a salinidade da água do mar normal é de 3,5%. O sal é formado principalmente por íons de sódio e cloro, mas também inclui magnésio, cálcio, potássio, carbonato de hidrogênio, sulfato e outros íons menores. Estes foram trazidos para o mar por rios num passado geológico distante e têm se concentrado ali.

Onde a água doce dos rios se mistura com a água do mar, a salinidade é reduzida e a água torna-se salobra. Em outros locais, como mares pouco profundos e fortemente evaporados, a remoção da água provoca o aumento da salinidade até a água se tornar tão supersaturada em sal que os cristais se formam e assentam no fundo do mar. A água do mar tem um sabor desagradável, mas a água do mar supersaturada tem um sabor horrível e pode provocar ardência nos olhos.

A água doce é menos densa do que a água salgada, de modo que quando a água dos rios corre para o mar, ela flutua sobre a superfície da água salgada sem se misturar durante muito tempo. Existe normalmente uma fronteira clara entre a água doce que está acima quanto mais água do mar salgada estiver abaixo.

4.2.2.2. Marés

As zonas costeiras são afetadas pelas marés, provocadas pela atração gravitacional da lua e do sol ligada à rotação da Terra.

Figura 4.39. Maré baixa e maré alta - Ponte Humber, Inglaterra



A maioria das zonas costeiras experimenta duas marés altas e duas marés baixas todos os dias. A maré sobe como uma inundação durante várias horas até atingir o seu nível mais alto (maré alta). Então a maré diminui lentamente até atingir seu ponto mais baixo (maré baixa) antes que o ciclo comece novamente. As marés subindo e descendo movem a zona das ondas para cima e para baixo nas praias e áreas costeiras rochosas. Entretanto, as águas das marés ficam inundadas por águas bastante calmas antes de escoarem, deixando-as novamente expostas.

A principal causa das marés é a atração gravitacional da lua. A atração da lua causa uma maré alta dos lados da Terra - do lado da lua e também do lado oposto -, com marés baixas no meio, como mostra a figura 4.40. Assim, à medida que a Terra gira sob a lua uma vez por dia, a maioria das áreas experimenta duas marés altas e duas marés baixas. O tempo para isto acontecer é de cerca de 25 horas, então o padrão da maré continua cerca de uma hora a cada dia.

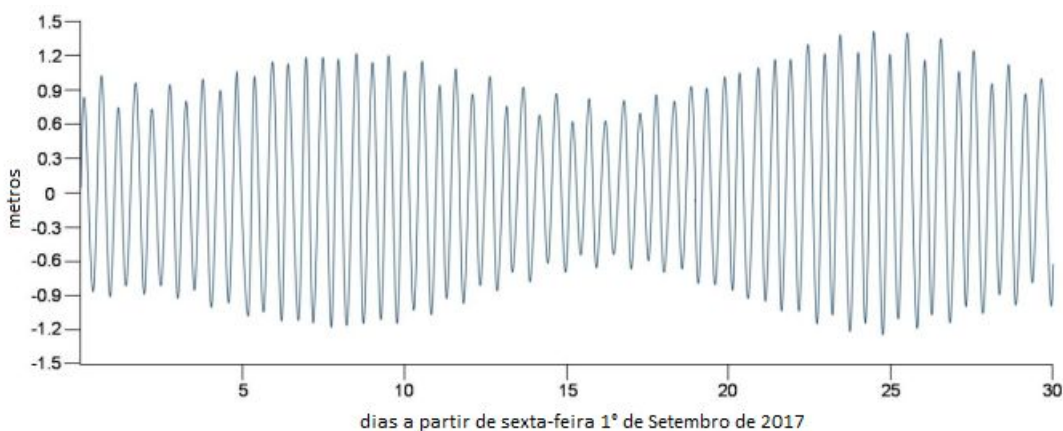
Figura 4.40. A lua causando a elevação da maré



Embora o sol esteja muito mais longe, ele é muito maior do que a lua e, por isso, também tem um efeito. Isto significa que quando a lua e o sol estão alinhados, há maior atração, com marés altas mais altas e marés baixas mais baixas - estas são as marés da Primavera (as marés da Primavera nada têm a ver com a estação da primavera, embora, confusamente, as marés mais altas da Primavera sejam geralmente na primavera e no outono). Contudo, quando a atração da lua e do sol está em ângulo reto, sua atração gravitacional global é reduzida, com marés altas mais baixas e marés baixas mais altas - as marés mortas.

O resultado para a maioria das zonas costeiras é um gráfico de maré, como mostrado na Figura 4.41. O gráfico mostra que a cada dia há duas marés baixas e duas marés altas, mas que a maré alta é mais alta e a maré baixa é mais baixa em torno do 8º e 25º dia - estes são os dias das marés da Primavera. As marés mortas ocorrem por volta do 3º e 16º dia. Se quiser ver as maiores extensões de praias e lodos de maré, visite a costa na maré baixa da Primavera. No entanto, se quiser ver a maior erosão costeira de litorais íngremes, vá nas marés mais altas da Primavera quando as marés levam as ondas até o alto da praia e dos penhascos. Ao mesmo tempo, as planícies das marés estão completamente inundadas.

Figura 4.41. Mudanças de maré - um exemplo de Bridgeport, Connecticut, EUA



4.2.2.3. Ondas

Quando se observam as ondas à beira-mar, parecem estar se movendo grandes volumes de água. No entanto, se observarmos alguma coisa flutuando além da linha de surf, veremos que ela apenas sobe e desce e dificilmente se desloca para os lados. Isto acontece porque, quando uma crista de onda passa, a água sobe e avança um pouco, enquanto que quando a onda passa, a água diminui e retrocede um pouco, de modo que a água da superfície se move apenas num círculo vertical. Mais abaixo de cada onda, a água move-se em círculos menores até que a onda acaba com a

profundidade. Por isso, embora as ondas em oceanos abertos e tempestuosos possam ter muitos metros de altura, não causam qualquer movimento horizontal global de água.

À medida que as ondas chegam à costa, a fricção no fundo do mar aumenta, por isso no fundo a onda desacelera, fazendo com que a onda cresça mais alto. Eventualmente, a onda torna-se suficientemente alta para cair para a frente numa quebra. Quando a ressaca do mar está alta, as ondas são boas para a prática do surf. Quando a ressaca desaba na praia, uma a água de uma onda inunda a praia, mas depois volta a fluir sob gravidade - até chegar a próxima onda.

Figura 4.42. Ondas - grandes e pequenas



As ondas são causadas por ventos que sopram sobre a superfície em oceano aberto. A fricção entre o vento e a água causa a subida de pequenas ondas, que são empurradas para a frente pelo vento. Assim, quanto mais longo o tempo e maior a distância do oceano sobre o qual o vento sopra, maiores as ondas se tornam; ventos mais fortes também produzem ondas maiores. As melhores praias de surf, portanto, com as maiores ondas, encontram-se em frente aos oceanos abertos. Ondas e marés juntas produzem uma série de características costeiras.

Tabela 4.24. Características costeiras produzidas pelas ondas e marés

Processo	Descrição	Imagem	Fonte
Formação de praia tempestuosa	Quando uma tempestade coincide com a maré alta da Primavera, uma onda de tempestade empurra as demais ainda mais para cima da praia do que o normal, construindo um banco de seixos e cascalhos na parte de trás da praia		Uma praia de tempestade na parte de trás da praia de Veluga em Batanes, nas Filipinas
Formação plana de maré	Durante as marés altas, e particularmente nas marés altas da nascente, as planícies de maré são cobertas por água; a lama instala-se com a água parada para formar uma camada cada vez que a planície é inundada; as camadas acumulam-se com o tempo nas planícies de maré		Lamas planas de maré perto de Palau Melaka, Cidade de Malacca, Malásia
Formação de “espetos”	Quando as ondas atingem uma praia num ângulo, a onda de colapso empurra a areia diagonalmente para praia, mas a onda flui diretamente para a praia, carregando a areia. Assim, a areia é movimentada de forma constante ao longo da praia num movimento com o formato de dentes de uma serra. No fim da praia, a areia é transportada para o mar, formando um espeto		Imagem de satélite de Farewell Spit na ponta norte da Ilha Sul, Nova Zelândia

4.2.2.4. Circulação de fluidos em grande escala na Terra

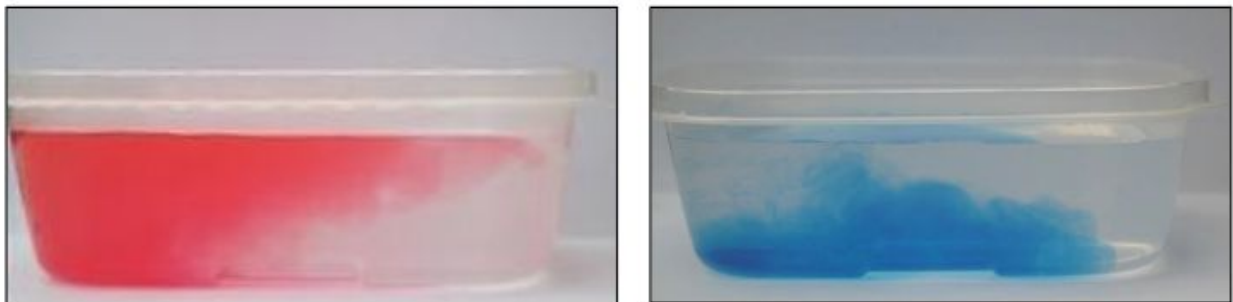
Tanto os oceanos como a atmosfera são fluidos e forças semelhantes atuam sobre estes fluidos, produzindo efeitos semelhantes.

Quando ambos os tipos de fluidos (água e ar) são aquecidos, tornam-se menos densos do que o fluido circundante e então sobem; quando atingem condições superiores mais frias, fluem para o exterior. Nos oceanos, isto significa que a água que foi aquecida nas regiões tropicais flui como correntes através da superfície do oceano. À medida que a água quente flui para longe, a água mais fria de baixo sobe; esta água é frequentemente rica em nutrientes e por isso estas são áreas do oceano que são propícias para a vida. Entretanto, na atmosfera, o ar quente ascendente exerce menos pressão sobre a superfície terrestre, causando **baixa pressão**. O ar quente sobe e flui para o exterior na atmosfera superior. Estes fluxos de fluidos fazem parte da convecção.

Quando os fluidos são resfriados, tornam-se mais densos e descem. Nos oceanos, a água mais fria encontra-se nas regiões polares. Esta água fria afunda e flui sobre o fundo do oceano. Na atmosfera, o ar frio desce, causando uma **alta pressão**. Quando atinge a superfície da Terra, flui através da superfície em direção às áreas de baixa pressão; este fluxo de ar superficial é o vento. Estes fluxos completam o ciclo de convecção.

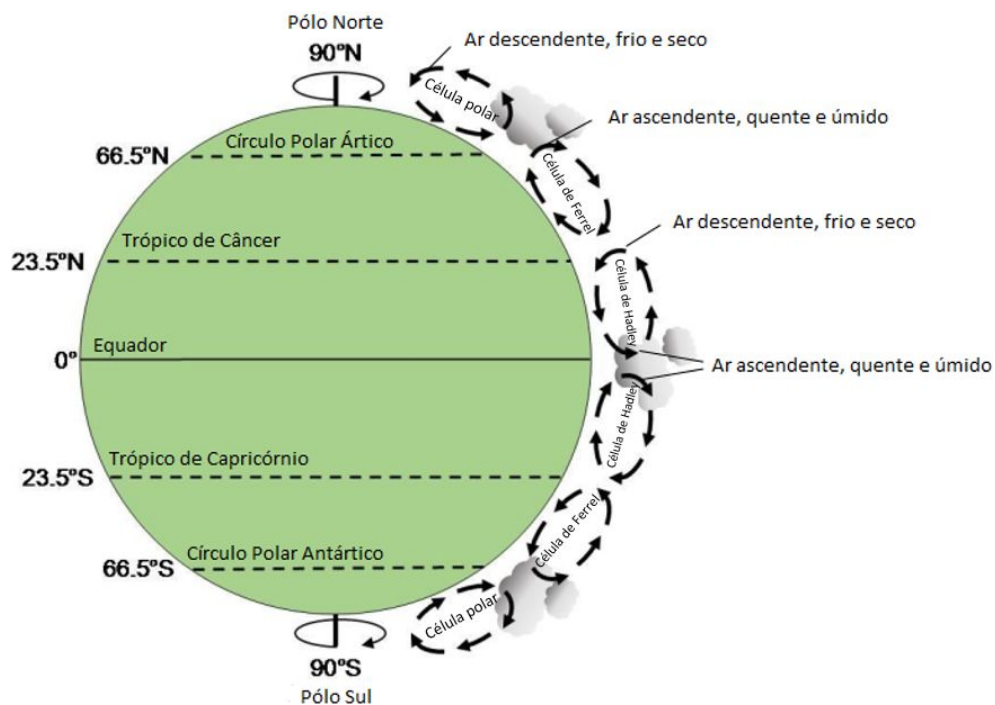
Os fluxos de fluidos quentes e frios acontecem também em escalas muito menores. Vê-se frequentemente o tremeluzir do ar quente subindo sobre um aquecedor ou fogo; o contrário acontece se abrir um congelador com os pés descalços, pode-se sentir o ar frio fluindo para baixo sobre a pele. Se estiver tomando banho e adicionar mais água quente, frequentemente pode-se sentir a água quente fluir sobre a superfície, ao passo que se adicionar água fria, ela flui pelo fundo da banheira e não é tão agradável (Figura 4.43).

Figura 4.43. Corrente quente de cor vermelha fluindo sobre a superfície; corrente fria de cor azul fluindo sobre o fundo - ambas em um recipiente de plástico.



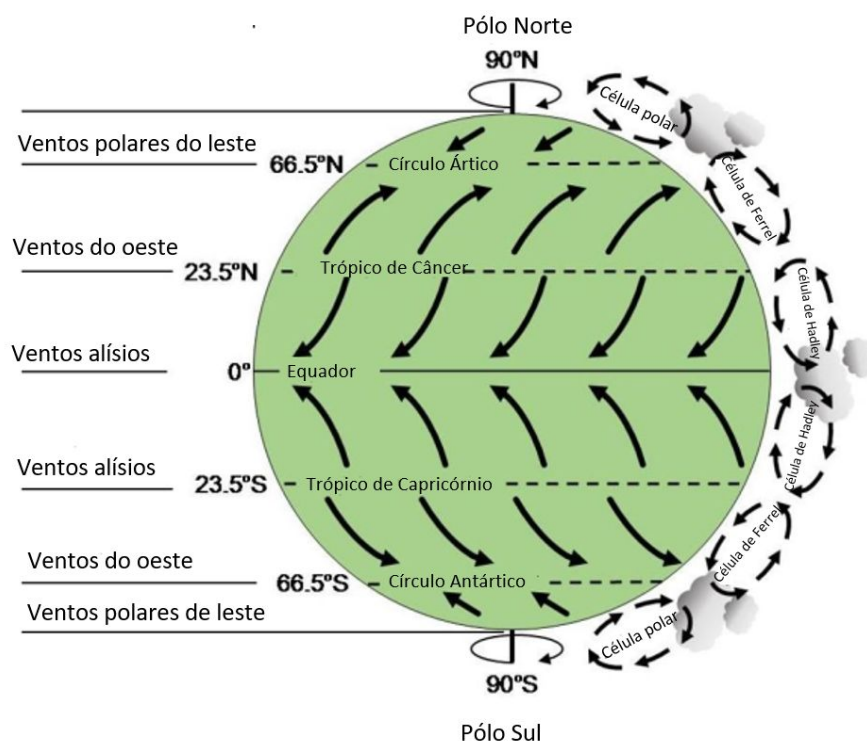
As áreas equatoriais, sendo muito quentes, têm ar ascendente e baixa pressão. O ar quente que flui através da atmosfera superior torna-se mais fresco e afunda nas áreas subtropicais do deserto, como mostra a Figura 4.44. Quando este ar afundado chega ao solo, parte dele flui de volta para a linha do Equador para completar a circulação tropical/subtropical chamada célula Hadley. Mas parte do ar que se afunda flui em direção aos polos. Ao atravessar os mares quentes, torna-se mais quente e eventualmente sobe. Na atmosfera superior, algum ar flui de volta em direção à linha do Equador para completar a célula de circulação de Ferrel. Uns vão em direção aos polos, porém tornam-se mais frios. Eventualmente eles afundam sobre os polos e fluem em direção ao Equador na superfície da Terra, completando a célula de circulação Polar.

Figura 4.44. Circulação de massa de ar na Terra



Este simples padrão de circulação atmosférica é afetado pela rotação da Terra. Os fluxos de ar no Hemisfério Norte são desviados no sentido horário, enquanto que os do Hemisfério Sul são desviados no sentido anti-horário. Isto dá um padrão generalizado de circulação do vento de superfície, como na Figura 4.45.

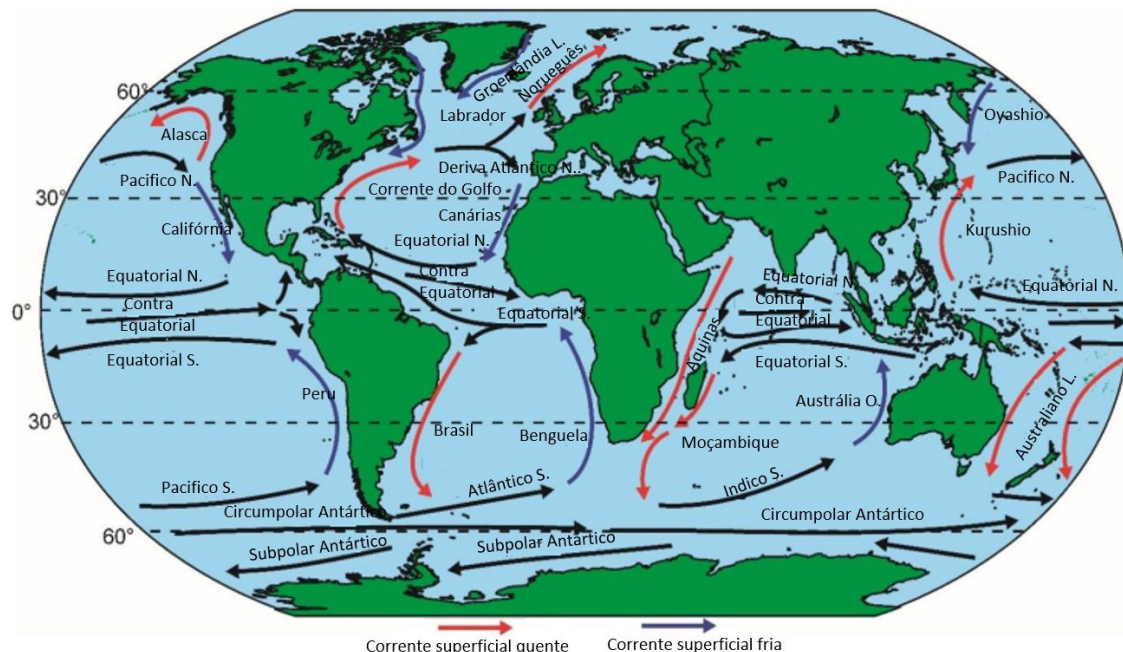
Figura 4.45. Padrão generalizado de vento de superfície na Terra



Os ventos de superfície gerais na base da célula de Hadley são os ventos alísios de leste. Aqueles na parte inferior da célula de Ferrel são os ventos de oeste (ventos que sopram do oeste) e os ventos de superfície da célula polar são os ventos polares do leste.

Os ventos globais arrastam-se na superfície do oceano, movendo-se na direção em que o vento sopra e aumentando a direção natural do fluxo - no sentido horário no Hemisfério Norte e no sentido anti-horário no Hemisfério Sul. Assim, as principais correntes oceânicas de superfície rodam no sentido dos ponteiros do relógio no Norte e no sentido anti-horário no Hemisfério Sul, impulsionadas pela rotação da Terra (Figura 4.46).

Figura 4.46. Circulações da superfície oceânica



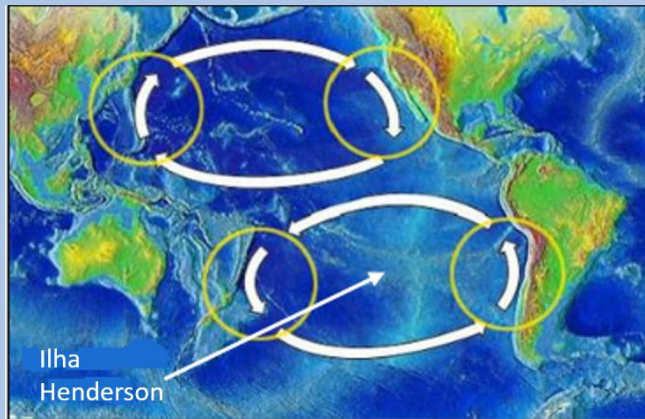
Caixa. 4.13. Correntes oceânicas e a ilha mais poluída da Terra

A ilha Henderson no Oceano Pacífico Sul é desabitada, sendo uma das ilhas mais afastadas de qualquer continente. A cientista Jennifer Lavers, que liderou uma expedição para a ilha em 2015, ficou espantada com a quantidade de poluição de plástico que se acumulou ali. Ela disse: "Tenho visto muito plástico nas minhas viagens - em alguns dos lugares mais remotos - mas a ilha de Henderson é o topo do bolo. A quantidade de plástico é verdadeiramente alarmante e tira-me o fôlego". A expedição encontrou até 671 peças de plástico por metro quadrado de praia e estimou que as praias de toda a ilha continham mais de 37 milhões de partículas de detritos - a pior poluição plástica registada a nível mundial. Estava gravemente danificando a vida selvagem: foi encontrada uma tartaruga estrangulada por cordel plástico e caranguejos eremitas estavam fazendo as suas casas em potes plásticos de cosméticos.

A poluição reúne-se perto do centro do Giro do Pacífico Sul. Esta corrente oceânica de superfície circula no sentido anti-horário no Sul do Oceano Pacífico, transportando detritos flutuantes em direção ao centro.

Jennifer Lavers acrescentou: "Uma vez que o plástico está no oceano, é virtualmente impossível, com a tecnologia atual, tirá-lo de lá. O foco tem de estar em evitar que ele chegue lá em primeiro lugar". Ela viu muitas escovas de dentes de plástico e disse que as escovas de dentes feitas de bambu e fibra de madeira custavam o mesmo que as de plástico, mas não poluíam a Terra durante centenas de anos. Todos deveriam deixar de destruir as praias e usar menos plástico, mudando para materiais menos nocivos.

Caixa. 4.13. Correntes oceânicas e a ilha mais poluída da Terra



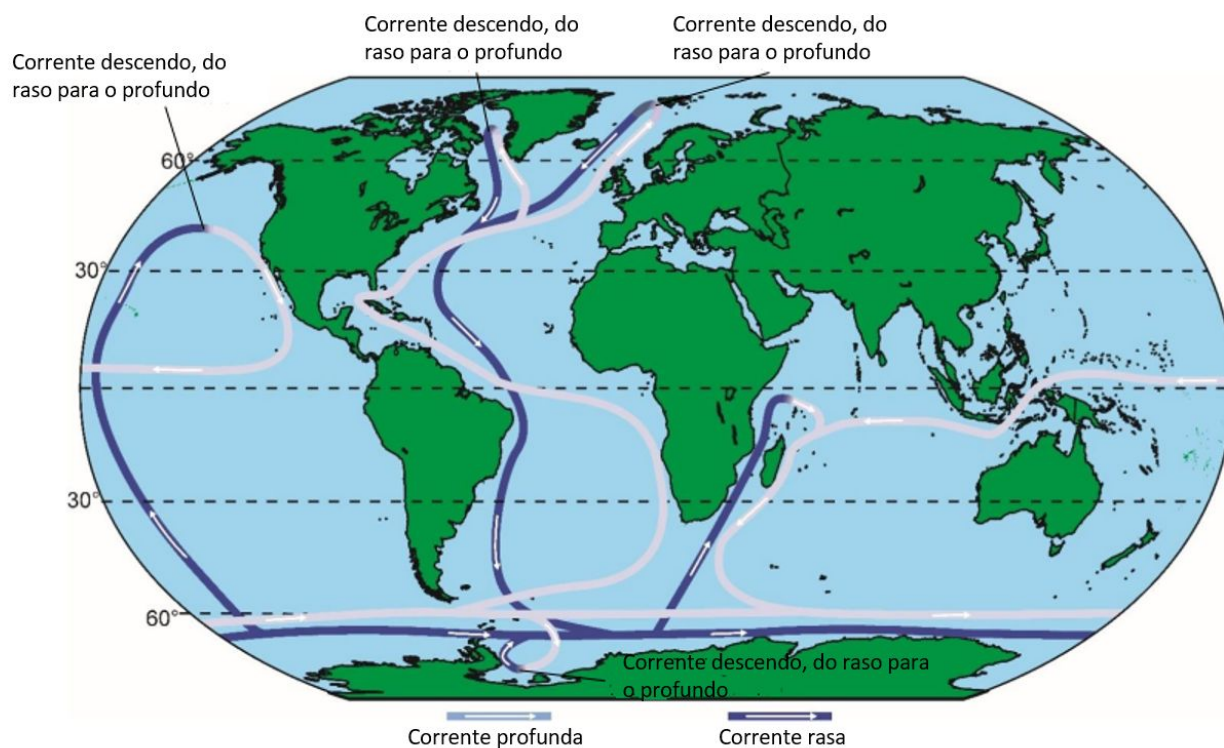
Correntes oceânicas de superfície circulantes no norte e no sul do Oceano Pacífico



A praia poluída de Henderson desabitada Ilha no remoto sul do Oceano Pacífico

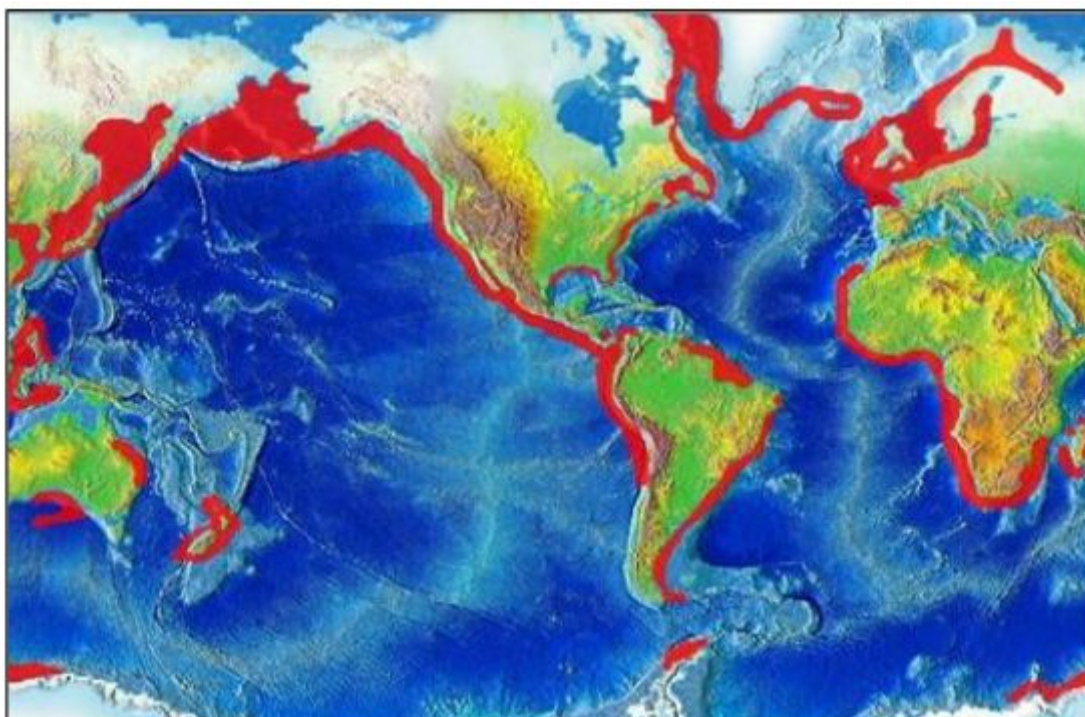
As correntes oceânicas superficiais se ligam às correntes oceânicas profundas. Onde as correntes oceânicas quentes fluem em direção aos polos, elas se tornam mais frias e mais salinas devido à evaporação. Isso aumenta sua densidade, de modo que afundam perto dos polos como correntes de água salgada frias e densas. Isso produz o padrão de circulação raso a profundo mostrado na Figura 4.47.

Figura 4.47. O padrão de circulação raso a profundo dos oceanos da Terra



O afloramento de águas oceânicas profundas, frias e ricas em nutrientes, provocado pelos ventos que sopram na superfície mais quente do curso de água, resulta em florescimentos de plânctons; estes fornecem os alimentos nas melhores zonas de pesca da Terra, mostrados na Figura 4.48.

Figura 4.48. As melhores zonas de pesca, mostradas em vermelho, produzidas pelo afloramento das águas frias e profundas do oceano



As interações mostram quão estreitamente os sistemas da Terra estão interligados. O fluxo de ar atmosférico, ou vento, impulsiona as correntes marítimas de superfície, enquanto o oceano aquece o ar, contribuindo para a circulação atmosférica. Então, o afloramento oceânico de água rica em nutrientes causa vida marinha abundante. A atmosfera, a hidrosfera e a biosfera estão claramente ligadas entre si por estes processos.

4.3. Atmosfera

A atmosfera da Terra, tal como as outras esferas, é crucial para a vida na Terra. A atmosfera tem várias camadas, mas a camada mais importante para a vida é a camada mais baixa, a troposfera; esta é a camada mais oxigenada e tem a temperatura certa para a vida. A troposfera tem cerca de 16 km de espessura na linha do Equador, afinando em direção aos polos. Se a crosta terrestre for equivalente em espessura a um selo postal colado numa bola de futebol, então a troposfera é como um selo postal de meia espessura colado no topo. A camada acima da troposfera é também importante porque contém ozônio, que nos protege da radiação ultravioleta nociva do Sol (Figuras 4.49 e 4.50).

Figura 4.49. O 'mármore azul' da Terra mostrando a própria camada fina de atmosfera em púrpura em torno do lado exterior



Figura 4.50. Vai e vem espacial do Endeavour em órbita na atmosfera exterior, mostrando a camada troposférica laranja e a camada branca acima que contém ozônio



4.3.1. Composição atmosférica

À medida que a Terra resfriava há mais de 4000 Ma, qualquer atmosfera inicial que se formava foi varrida pelo vento solar e a Terra foi bombardeada por meteoritos. Mas, à medida que o bombardeamento diminuía, a intensa atividade vulcânica adicionava água, dióxido de carbono e outros gases como nitrogênio, metano e enxofre a uma nova atmosfera. Grande parte da água caiu como chuva atmosférica, formando os primeiros oceanos.

Esta atmosfera precoce não continha oxigênio. Há cerca de 2500Ma, as primeiras bactérias a serem fotossintetizadas evoluíram nos oceanos. As bactérias absorviam dióxido de carbono da atmosfera e liberavam oxigênio através da fotossíntese (Figura 4.51). O oxigênio formado pela primeira vez

reagiu com outros materiais, como o ferro, mas só cerca de 200Ma mais tarde é que o oxigênio livre começou a acumular-se na atmosfera.

Figura 4.51. Bactérias microscópicas do oceano que realizam fotossíntese, absorvendo dióxido de carbono e liberando oxigênio



O oxigênio livre na atmosfera transformou a superfície terrestre num ambiente oxidante pela primeira vez, mas só no final do período Pré-cambriano, início do Cambriano há 541Ma, é que os animais que utilizavam o oxigênio tornaram-se abundantes na Terra. Desde então, as porcentagens dos diferentes gases que compõem a atmosfera têm continuado a mudar. A atmosfera contém hoje 78,09% de nitrogênio, 20,95% de oxigênio, 0,93% de argônio e 0,04% de dióxido de carbono, com pequenas quantidades de outros gases. Contém também uma quantidade variável de vapor de água até mais de 4%, mas isto não está incluído nos cálculos percentuais de gases atmosféricos porque muda muito.

A medida da quantidade de vapor de água no ar é a sua umidade. Quando o ar atinge 100% de umidade, pode não conter mais vapor de água. Então o gás invisível começa a mudar de estado, para gotículas de água líquida minúsculas (em condensação, névoa, nevoeiro, orvalho ou nuvem). As gotículas podem então juntar-se para formar gotículas de água ou cristais de gelo, que caem como chuva ou outros tipos de precipitação. O ar muito úmido é desagradável se estiver quente (muitas vezes chamado 'tórrido') ou frio (frequentemente descrito como 'cru'), de modo que as pessoas geralmente preferem condições de ar seco.

4.3.2. Fluxo atmosférico

O fluxo de ar global é impulsionado pelas diferentes quantidades de aquecimento do ar que causam as diferenças de densidade, juntamente com a rotação da Terra, como mostrado na Seção 4.2.2.4 acima.

Estes são também fatores chave em fluxos de ar mais locais. As massas de ar quente elevam-se através de regiões da Terra; ao fazê-lo, a rotação da Terra as faz girar no sentido anti-horário no Hemisfério Norte e no sentido horário no Hemisfério Sul. Estas massas de ar ascendentes, causando baixa pressão sobre a superfície da Terra, são chamadas ciclones. Na base dos ciclones, na superfície da Terra, o ar flui para dentro como ventos em espiral que são apanhados pela formação de nuvem da Figura 4.52.

Figura 4.52. As nuvens em espiral de um ciclone perto da Islândia em 4 de Setembro de 2003



Formam-se nuvens porque o ar ascendente resfria e o ar mais frio pode conter menos água do que o ar mais quente. A água forma gotículas em nuvens, que depois produzem chuva ou neve. Assim, os ciclones causam normalmente condições de vento e umidade.

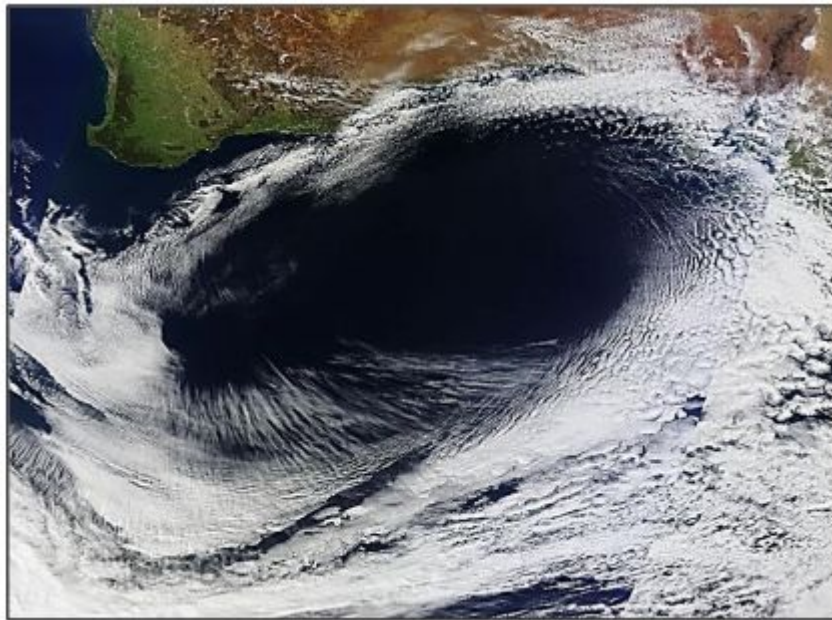
Quando os ciclones se desenvolvem sobre o mar em zonas tropicais, o mar quente contém muito calor, que pode transformar ciclones em furacões ou tufões muito maiores (Figura 4.53). Quando os furacões e tufões atingem a terra, eles trazem ventos ciclônicos e chuvas muito fortes. Os ventos fortes podem forçar a água do mar para a costa em surtos de tempestades que podem ser muito prejudiciais quando coincidem com marés altas.

Figura 4.53. Furacão Isabel no Oceano Atlântico Norte em 2003, com o olho característico no centro. Ventos altamente prejudiciais de 265kmh^{-1} foram registrados com muitos milímetros de chuva



Em outros lugares, as massas de ar frio e decrescentes também rotacionam, no sentido do ponteiro do relógio no Hemisfério Norte e na direção oposta no Sul. Estes anticiclones são áreas de alta pressão (Figura 4.54). O ar suavemente diminui nas zonas de alta pressão, causando ventos mais leves do que os ciclones e pouco vento nos centros. À medida que o ar diminui, aquece e pode reter quantidades crescentes de vapor de água, de modo que os anticiclones têm poucas nuvens ou chuva.

Figura 4.54. Um anticiclone próximo ao sul da Austrália em 2012. Ventos e trilhas de nuvens em espiral no sentido anti-horário (eles iriam espiralar no sentido horário no Hemisfério Norte), mas o ar que desce e aquece não produz nenhuma nuvem no centro



Em escalas ainda menores, a descida do ar frio pode aprisionar a poluição, a fumaça e as nuvens abaixo, o que pode ser muito desagradável em algumas cidades (Figura 4.55). Em outras áreas, o forte aquecimento da terra pode causar redemoinhos de ar quente ascendente, chamados térmicos, onde aves e planadores podem voar durante muitas horas (Figura 4.56).

Figura 4.55. Nevoeiro de poluição em Xangai, China, aprisionado sob ar fresco que desce



Figura 4.56. Um parapente perto de Reichenburg, Suíça, usando térmicas para levantamento

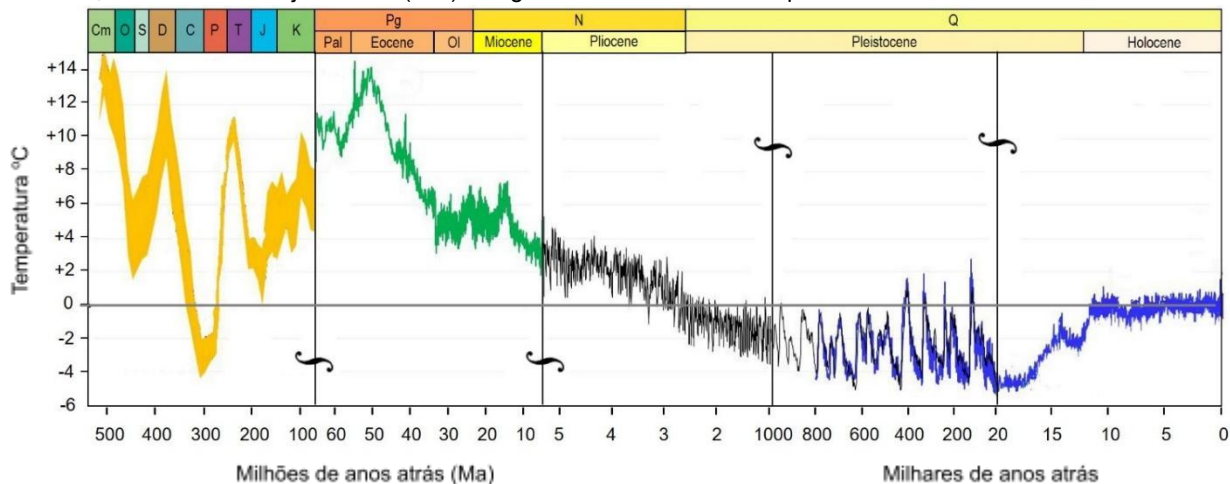


Em uma escala ainda menor, a fumaça sobe porque é carregada para cima pelas correntes de ar quente. Por outro lado, se você estiver ao pé de uma geleira em um dia calmo, sentirá redemoinhos de ar frio descendo da geleira e fluindo ao seu redor.

4.3.3 Mudanças atmosféricas

Evidências de várias fontes diferentes mostram que a temperatura média da superfície da Terra mudou muito no passado. A Figura 4.57 tem cinco gráficos que mostram como se pensa ter variado a temperatura acima e abaixo do 0 no gráfico, correspondendo à temperatura média da superfície atual de 14°C. O primeiro gráfico mostra a mudança de temperatura de 540Ma para 65Ma atrás, o segundo de 65Ma para 6Ma, o terceiro de 6Ma para 1Ma, o quarto de 1Ma a 20.000 anos atrás e o gráfico final dos últimos 20.000 anos.

Figura 4.57 A temperatura média da superfície terrestre (°C) evidenciada por diferentes indicadores. Cinco gráficos são traçados, de ponta a ponta, mostrando a mudança ao longo de períodos de tempo cada vez mais curtos, até os dias de hoje. O zero (0°C) nos gráficos é a média de temperatura terrestre atual de 15°C.

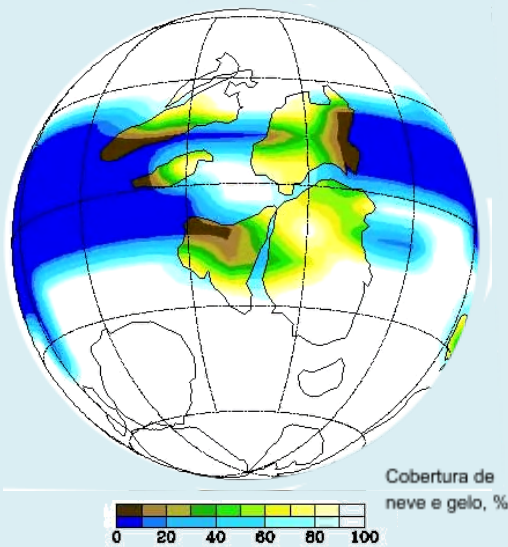


Os gráficos mostram que, no passado geológico, as temperaturas médias mais elevadas eram mais de 10°C acima das temperaturas atuais (por vezes mais de 14°C); as mais baixas marcam 5°C abaixo das de hoje. Nas temperaturas de hoje, os polos são glaciais, mostrando que quando as temperaturas eram mais baixas no passado, as glaciações deveriam ter sido muito mais generalizadas. Os gráficos mostram glaciações generalizadas ou **condições de armazenamento de gelo** no Pleistoceno e períodos Carbonífero/Permiano. Há também provas das condições do armazenamento de gelo nos períodos Ordoviciano/Siluriano e de duas glaciações na época pré-cambriana, antes do início dos gráficos da Figura 4.57. A última era do gelo pré-cambriano foi a maior que a Terra já experimentou; toda a Terra pode ter sido coberta de gelo (a chamada "**Terra bola de neve**" conhecida em inglês como "*snowball Earth*") ou uma zona de mar aberto pode ter permanecido perto da linha do Equador (Terra parcialmente coberta de gelo, conhecida como "**Terra bola de neve derretida**" em inglês "*slushball Earth*").

Box 4.14. Terra bola de neve ou Terra bola de neve derretida?

A teoria da Terra bola de neve é baseada em evidências de que entre 650 e 635 Ma as rochas sedimentares depositadas por mantos de gelo cobriram continentes que as medições paleomagnéticas mostram que estavam perto do Equador. Essa ideia seria fortalecida se fosse possível demonstrar que todos os depósitos sedimentares que se formaram naquela época eram glaciais. Mas isso é muito difícil de provar, uma vez que não há fósseis disponíveis para datar as rochas sedimentares depositadas naquela época (já que a vida com partes duras ainda não tinha evoluído e normalmente não seria encontrada em depósitos glaciais de qualquer maneira). Também há evidências sedimentares de que havia pelo menos algumas áreas de águas abertas na época. Muitos geocientistas ficam mais felizes com a ideia da Terra bola de neve derretida (com águas livres de gelo nos mares próximos ao Equador) do que com

a ideia da Terra bola de neve. No entanto, há boas evidências de que a Terra experimentou uma glaciação muito severa por volta de 640Ma atrás.



Simulação computacional da cobertura de gelo durante a Terra bola de neve

Um dos processos que se acredita ter desencadeado glaciações em todo o mundo é o feedback positivo do efeito albedo, descrito na seção 1.3 deste livro. Conforme as camadas de gelo aumentaram, elas refletiram mais e mais da radiação do Sol, resfriando a Terra e causando mais crescimento da camada de gelo, até que grande parte do planeta foi coberto por gelo.

O fim desta severa idade do gelo pode ter sido desencadeado por vulcões que bombearam grandes quantidades de dióxido de carbono para atmosfera, causando um aquecimento em larga escala devido ao efeito estufa.

Entre os períodos muito frios, houve tempos em que a Terra era muito mais quente do que hoje, particularmente no Paleoceno/Eoceno, o Permo-Triássico, o Devoniano e os períodos Cambriano. Estes períodos, quando não existiam camadas de gelo globais, são muitas vezes chamadas "condições de estufa".

Figura 4.58. Extração de um núcleo de gelo de um tubo de núcleo retirado de um furo de sondagem de gelo



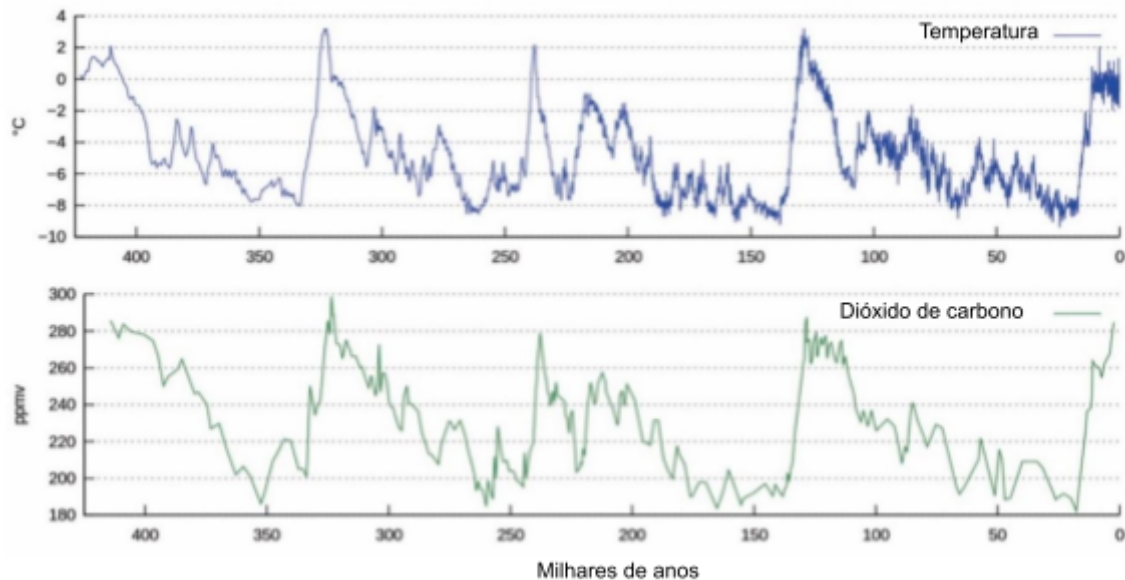
Ao longo do tempo geológico, a energia solar que chega na Terra tem aumentado, então podemos esperar temperaturas globais para mostrar um aumento constante também. Uma vez que não tem havido um aumento da temperatura média da Terra, outros fatores podem estar afetando.

Os núcleos de gelo dão pistas sobre os principais fatores que estão afetando a temperatura da Terra. Os furos de sondagem são perfurados nas partes mais espessas do gelo polar para extrair núcleos de gelo (Figura 4.58). Os dados dos núcleos de gelo podem ser utilizados para mostrar a temperatura, bem como dos diferentes gases que estavam na atmosfera no momento em que essa camada se formou.

A Figura 4.59 mostra gráficos de temperatura e o conteúdo de dióxido de carbono da atmosfera nos últimos 400.000 anos. Os gráficos mostram uma ligação muito estreita entre a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera e a temperatura da Terra. Enquanto

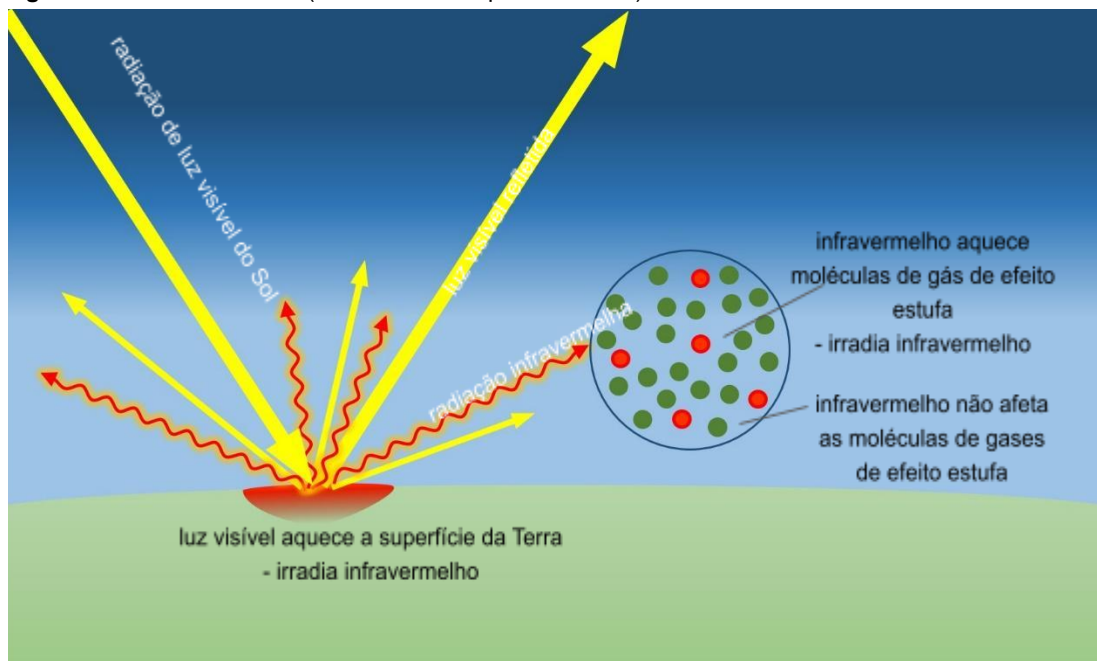
alguns geocientistas argumentam que é a temperatura da Terra que causa a mudança nos níveis de dióxido de carbono, a maioria dos geocientistas pensa o contrário, acreditando que as mudanças nos níveis de dióxido de carbono causam as alterações na temperatura da Terra. Por conseguinte, é amplamente aceito que os níveis elevados de dióxido de carbono causam temperaturas elevadas na Terra.

Figura 4.59. Gráficos da variação de temperatura e variação de CO₂ na atmosfera nos últimos 400.000 anos registrado no núcleo de gelo Vostok na Antártida (ppmv = partes por milhão de CO₂ na atmosfera em volume)



A ligação entre a temperatura da Terra e a quantidade de dióxido de carbono (e outros gases-chave) na atmosfera é chamado de **efeito estufa**, como mostrado na Figura 4.60.

Figura 4.60. O efeito estufa (infravermelho equivale a calor)



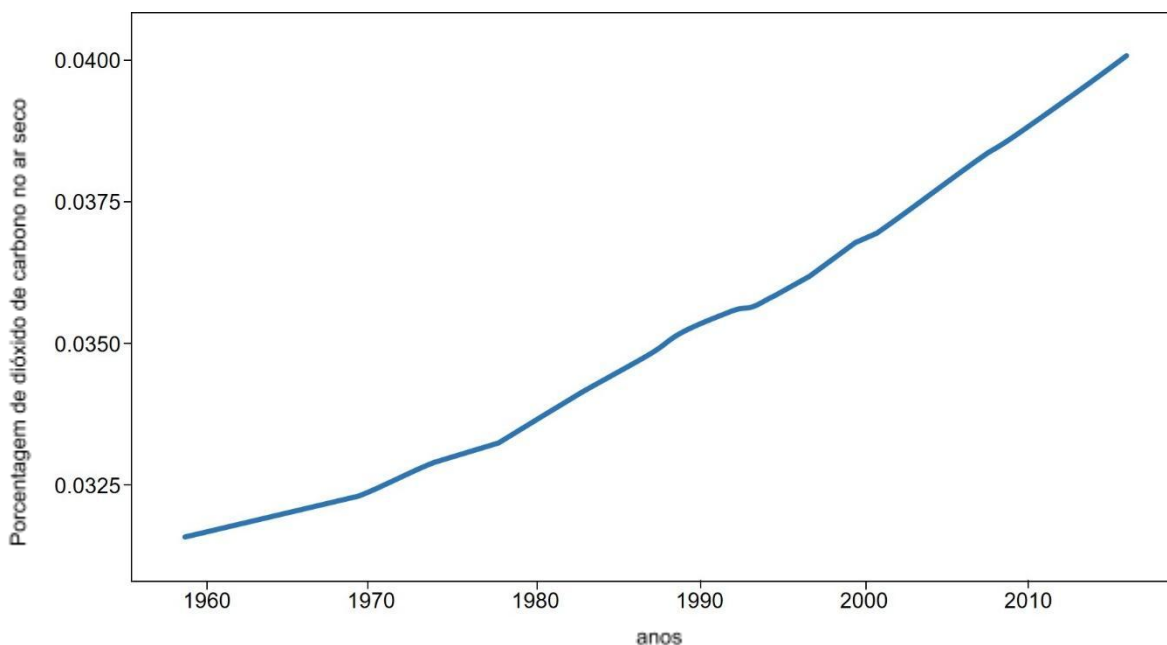
A radiação do Sol chega à Terra como luz visível. Parte desta é refletida de volta para o espaço, mas uma parte é absorvida pela superfície da Terra e refletida novamente como calor, ou radiação infravermelha. Algumas das radiações que são refletidas atravessam a

atmosfera e saem para o espaço, mas algumas são absorvidas por gases do efeito estufa, fazendo o calor aumentar. Quanto mais gás com efeito de estufa houver na atmosfera, mais quente ela se torna, aquecendo a Terra, por sua vez. O gás de efeito estufa mais abundante na atmosfera da Terra é o vapor de água, seguido do dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. A quantidade de vapor de água na atmosfera varia a todo o momento e as quantidades de metano e óxido nitroso são pequenas, de modo que o gás principal que afeta a Terra a longo prazo parece ser dióxido de carbono.

Se não houvesse gases com efeito de estufa na atmosfera, toda a radiação do Sol seria irradiada de novo, e a Terra seria tão fria que ficaria permanentemente congelada. Portanto, precisamos do efeito estufa para a Terra ser suficientemente quente para a vida. O problema surge quando são adicionados gases com efeito de estufa extra à atmosfera causando o **efeito estufa aumentado**. Parece que os períodos muito quentes do passado da Terra (condições de estufa) estão ligados a níveis elevados de gases de efeito estufa na atmosfera. Estes podem estar ligados a períodos de atividades tectônicas provocando o aumento da atividade vulcânica, liberando os gases de efeito estufa.

Mudanças climáticas parecem, portanto, estar intimamente ligadas às quantidades desses gases na atmosfera. É por isso que os cientistas estão preocupados com o aumento da quantidade de dióxido de carbono na atmosfera. A quantidade de dióxido de carbono na atmosfera vem sendo monitorada a partir do observatório no topo do tranquilo vulcão Mauna Loa, no Havaí, desde 1958. Estas medidas mostram o aumento constante visto na Figura 4.61.

Figura 4.61. A alteração dos níveis de dióxido de carbono na atmosfera desde o início das medições em 1958, medida a partir do observatório Mauna Loa, Hawaii. (O topo do Mauna Loa foi escolhido como o local para estas observações porque é elevado e longe das massas terrestres continentais; as medições não estão relacionadas com qualquer atividade vulcânica).

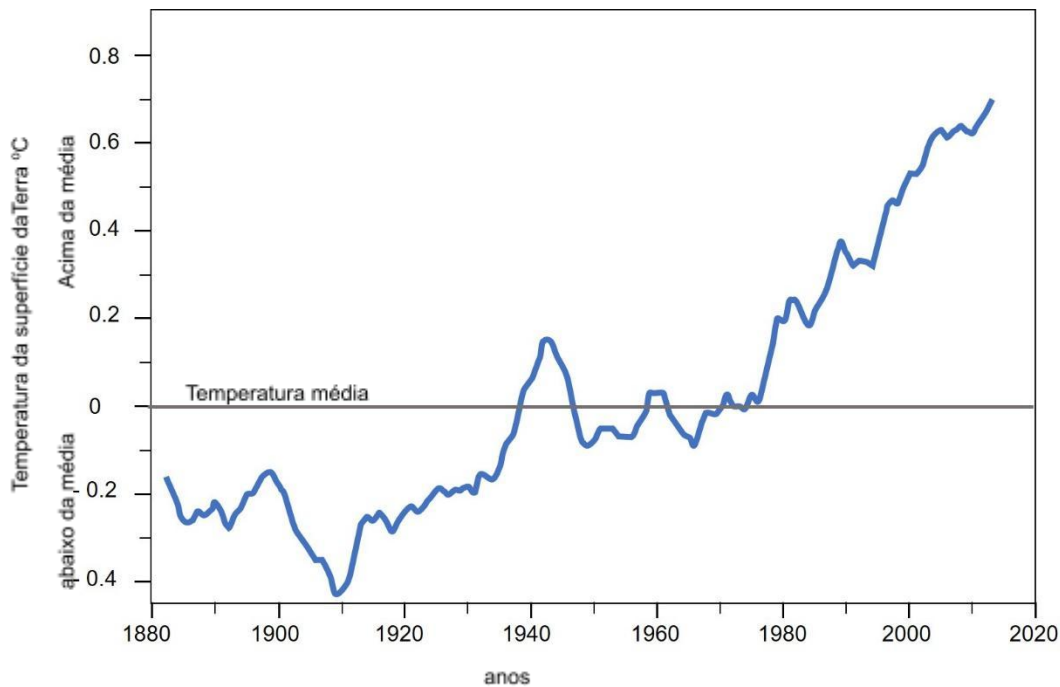


A maioria dos cientistas pensa que este aumento constante do teor de dióxido de carbono na atmosfera é, na sua maioria, devido à combustão de combustíveis fósseis como o carvão, o petróleo e o gás natural, juntamente com o desmatamento em larga escala de zonas de floresta tropical provocadas por humanos. A queima de combustíveis fósseis libera dióxido de carbono extra para a atmosfera e a destruição da vegetação deixa menos

plantas disponíveis para remover e armazenar dióxido de carbono através da fotossíntese. Embora saibamos que os oceanos podem absorver parte do dióxido de carbono extra da atmosfera, os cientistas continuam a investigar o quanto pode ser absorvido e como isto pode afetar os oceanos.

Este aumento constante do teor de dióxido de carbono na atmosfera parece estar ligado a um aumento da temperatura da Terra medida desde os anos 60, mostrado no gráfico dos dados compilados pelo *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* nos EUA, mostrado na Figura 4.62.

Figura 4.62. Mudança na temperatura da superfície terrestre, de acordo com dados compilados pela NASA.



Portanto, à medida que o dióxido de carbono aumenta na atmosfera, provavelmente devido à atividade humana, a Terra está se tornando mais quente. Uma Terra mais quente pode parecer uma boa ideia para as pessoas que vivem em países mais frios, mas um aquecimento constante da Terra pode causar grandes problemas, conforme previsto na Tabela 4.25.

Tabela 4.25. Prováveis problemas causados pelo aquecimento global.

Problema potencial	Efeito esperado
Um “ponto de virada” pode ser alcançado (como descrito na Seção 1.3) onde o retorno da radiação faz com que a Terra se torne muito mais quente	Todos os problemas no quadro abaixo seriam muito maiores.
Oceanos mais quentes contribuem mais com o aquecimento da atmosfera	Oceanos aquecidos geram tempestades, então a Terra se tornaria mais suscetível a tempestades
Condições mais quentes levam a maiores taxas de evaporação e condensação	Mudanças no ciclo da água significam que algumas áreas do planeta ficariam mais

	úmidas e outras mais secas.
As calotas de gelo terrestres derretem, adicionando água aos oceanos	As subidas do nível do mar provocam inundações adicionais nas zonas baixas, particularmente durante as tempestades
As águas do oceano expandem-se à medida que aquecem	A expansão das águas do oceano contribui para o aumento do nível do mar.
O aumento do nível do mar reduz a área de terra disponível para agricultura e indústria	Migração em massa de pessoas pode acontecer, em busca de áreas mais favoráveis em terras já povoadas no mundo.
O aquecimento dos oceanos afeta o volume e velocidade das correntes oceânicas com efeitos sobre oceanos e atmosfera	As correntes oceânicas redistribuem o calor na Terra; mudanças destas correntes pode tornar algumas regiões mais quentes e outras mais frias
Zonas climáticas movem-se em direção aos polos	O movimento das zonas climáticas leva algumas espécies a florescerem em novas áreas, mas outras a extinção.
O oceano se torna mais ácido a medida que dissolve dióxido de carbono	Espécies de corais que não podem se adaptar a águas mais ácidas são extintas juntamente com os recifes.

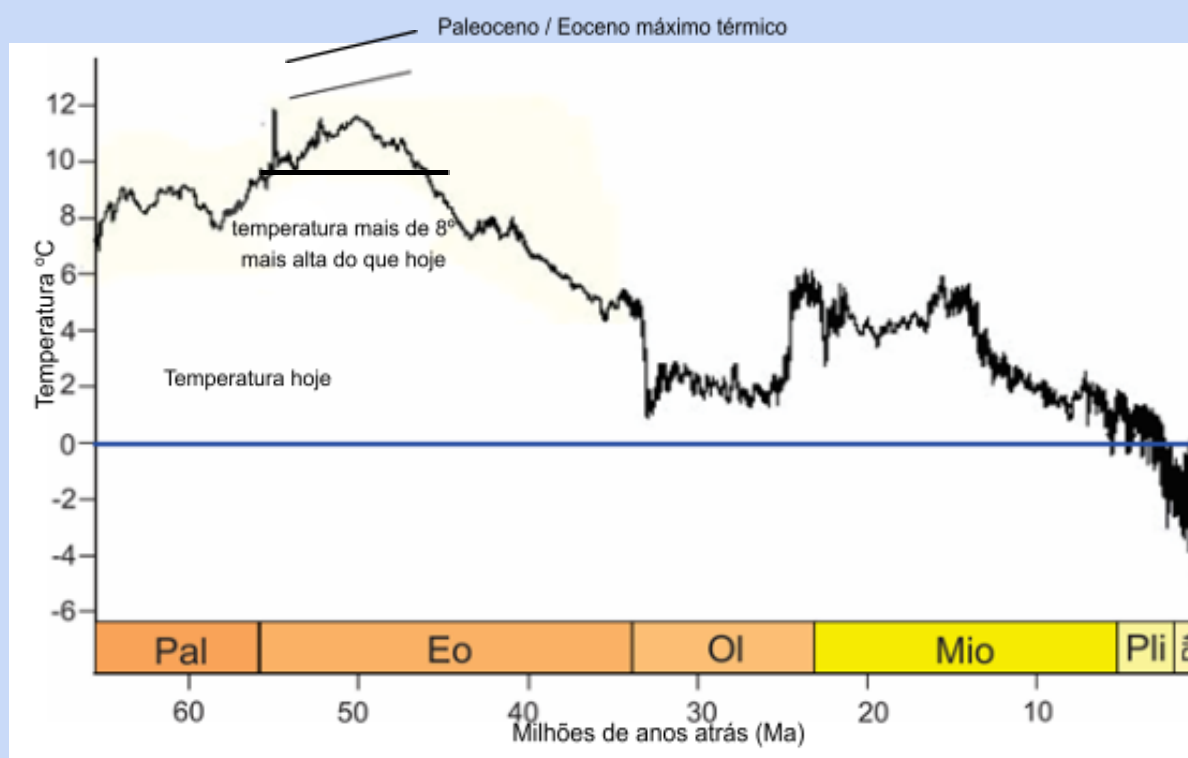
Pode haver algumas vantagens no aquecimento global, tais como a possibilidade de cultivo de novas culturas em áreas mais perto dos polos, aumento do crescimento das florestas incentivado pelo dióxido de carbono adicional, e a passagem marítima do noroeste para norte, do norte do Canadá, tornando-se viável para embarque no verão. No entanto, a maioria das pessoas argumentam que as desvantagens superam fortemente as possíveis vantagens.

A Terra foi submetida a forte aquecimento global no passado, como durante os tempos do Paleoceno / Eoceno, e sobreviveu. No entanto, a sobrevivência dos humanos e de uma ampla gama de outras espécies nessas condições é muito duvidosa.

Caixa 4.15. A Terra durante o máximo térmico Paleoceno/Eoceno

Durante as condições do efeito estufa na fronteira entre o Paleoceno e os períodos iniciais do Eoceno, há alguns 56Ma atrás, há provas de que a Terra era até 12°C mais quente do que hoje e permaneceu a mais de 8°C mais quente durante quase 10 milhões de anos. Isto esteve provavelmente ligado ao fato de enormes quantidades de dióxido de carbono serem liberados para a atmosfera naquele momento, geocientistas estão a investigar muito ativamente este período de alta temperatura, porque pode lançar alguma luz aos estudos atuais sobre mudanças climáticas.

Caixa 4.15. A Terra durante o máximo térmico do Paleoceno / Eoceno, continuação



Nesta altura não havia camadas de gelo na Terra e a expansão do oceano quente contribuiu para a ascensão em níveis do mar que inundaram muitas áreas continentais de baixa altitude. As provas fósseis mostram que as florestas cobriam a Terra inteira, desde a linha do Equador até aos polos, à exceção de algumas áreas mais secas. As florestas tropicais cresceram no Norte da América e Europa e as palmeiras cresceram no Ártico. Novas espécies de mamíferos evoluíram, mas principalmente estas eram espécies anãs muito pequenas, provavelmente porque os mamíferos menores estavam melhor adaptados às condições quentes do que os animais maiores. Os répteis eram abundantes, particularmente pítons e tartarugas. Os insetos eram comuns. E então ocorreram grandes mudanças nos oceanos. Enquanto muitas espécies microscópicas de fundo se extinguiram, os organismos planctônicos perto da superfície do mar floresceram. Os oceanos quentes estavam repletos de peixes e vida marinha. Este era um mundo muito diferente da Terra hoje.

Os gráficos da temperatura da Terra, particularmente nos últimos milhões de anos, como mostrado nas Figuras 4.57 e 4.59, mostram ciclos regulares de mudança de temperatura. Pensa-se que estes estão ligados à quantidade de radiação do Sol recebidos pela Terra, devido principalmente a mudanças regulares na forma como a Terra gira em sua órbita em torno do Sol. No entanto, os efeitos do efeito estufa modernos podem ter ainda mais impacto do que essas mudanças regulares causadas na época.

4.4 Biosfera

Quanto mais estudamos a vida na Terra, mais descobrimos como os processos da biosfera estão intimamente interligados com os das outras esferas, a geosfera, a hidrosfera e a atmosfera. Descobrimos também como pequenas alterações numa parte de um destes sistemas podem produzir grandes alterações noutros locais.

4.4.1 Evolução

William Smith tinha mostrado que os fósseis nas rochas eram sempre encontrados na mesma sequência (ver secção 3.2) mas os cientistas não sabiam por que é que isso aconteceu. Em 1858, uma teoria que explicava por que as sequências fósseis mudaram neste caminho foi apresentada por Charles Darwin e Alfred Russel Wallace; esta é a teoria da evolução.

A teoria da evolução é baseada em três observações científicas sobre a biosfera:

- 1) os organismos individuais (tais como animais, plantas, fósseis) são diferentes uns dos outros;
- 2) alguns indivíduos estão mais bem adaptados para sobreviver e reproduzir-se do que outros; e
- 3) muitas das características dos indivíduos são transmitidas de uma geração para a seguinte.

Isso deu origem a um processo que fazia com que grupos de animais e plantas mudassem ou evoluíssem, o que Darwin chamou de seleção natural. Mais tarde, isto foi chamado de "sobrevivência do mais apto", onde os organismos que melhor se adaptam para sobrevivência se reproduzem, enquanto que os menos aptos, desaparecem. A evolução foi, pela primeira vez, capaz de explicar a maior parte das enormes observações que tinham sido feitas sobre a vida na Terra.

Sabemos agora como as três observações científicas da evolução podem ser explicadas:

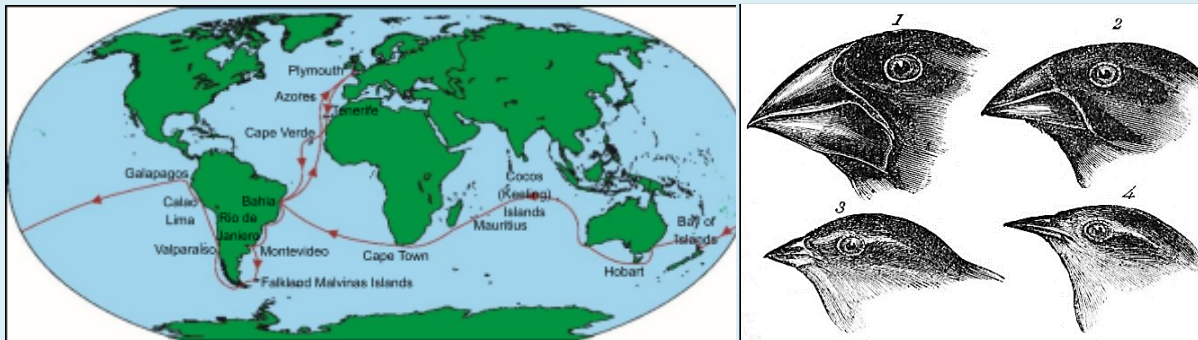
- 1) os indivíduos diferem uns dos outros porque a reprodução sexual faz com que cada indivíduo tenha um conjunto de genes;
- 2) algumas combinações de genes de um indivíduo dão-lhe uma melhor chance de sobrevivência do que outras; por exemplo, algumas combinações de genes podem dar a um animal patas mais longas, permitindo-lhe correr mais depressa; outra combinação de genes pode fazer com que uma árvore tenha um tronco mais grosso, permitindo-lhe crescer mais alto;
- 3) durante a reprodução sexual em plantas e animais, metade dos genes provêm de um dos pais e metade do outro; a metade dos genes recebidos de um progenitor trazem algumas das características do progenitor para a outra geração.

As provas dos registros fósseis mostram que alguns tipos de vida parecem evoluir de forma constante, enquanto outros mostram um grupo evoluindo subitamente para um grupo diferente. Os súbitos saltos evolutivos parecem ocorrer onde um grupo de animais ou plantas são separados do resto do seu grupo, por exemplo, numa ilha ou no topo de uma gama de montanhas. Nestas condições, quando uma planta ou animal desenvolve uma nova característica, não se perde com a reprodução cruzada com outros indivíduos habituais, mas podem ser preservados e desenvolvidos ao longo das gerações.

Caixa 4.16. Charles Darwin e a evolução

Em 1831 Charles Darwin juntou-se à viagem de exploração do navio à vela HMS Beagle como naturalista, um cientista que estuda tanto a geologia como a biologia. Durante a viagem à volta do mundo de quase cinco anos, Darwin registou um enorme número de observações da geologia, dos fósseis e da vida selvagem dos países que visitou e recolheu muitos espécimes. Algumas das aves que recolheu das Ilhas Galápagos, no leste do país, no Oceano Pacífico demonstraram mais tarde serem tipos de tentilhão. Estas aves tinham-se adaptado a diferentes estilos de vida em diferentes ilhas com adaptações especiais em seus bicos para lhes permitir comer nozes, fruta ou vermes. Darwin raciocinou que provavelmente uma espécie de tentilhão tinha originalmente chegado às ilhas a partir do sul do continente Americano, mas que, à medida que mudava para ilhas diferentes, ficavam isolados e evoluíam de forma diferente para espécies

distintas. Esta e outras observações semelhantes foram um importante estímulo para o seu pensamento sobre a evolução.



Após a viagem em 1839, Darwin publicou o seu livro de observações, incluindo os seus estudos sobre rochas vulcânicas e a sua experiência de um terremoto de magnitude 8,5 no Chile. Foi só 20 anos mais tarde, em 1859, que ele publicou o seu livro sobre a teoria da evolução, intitulado "A Origem das Espécies".

As diferentes distribuições dos continentes resultantes do movimento das placas tiveram efeitos importantes sobre a evolução da vida na Terra. Quando todos os continentes estavam juntos em um supercontinente, havia poucas áreas terrestres isoladas e poucas possibilidades de um salto evolutivo. Enquanto isso, ao redor das costas do supercontinente, as áreas rasas do mar foram interconectadas novamente, reduzindo também as oportunidades de evolução.

Em outros tempos, quando os continentes estavam separados, ocorreram saltos evolutivos sobre as massas de terra separadas e nos mares rasos separados. Um exemplo são as mudanças evolucionárias que deram à Nova Zelândia uma mistura única de vida selvagem.

Figura 4.63. Mapa dos continentes a 280Ma, durante o período Permiano, com um supercontinente unindo áreas terrestres e mares rasos interconectados (evolução mais lenta)

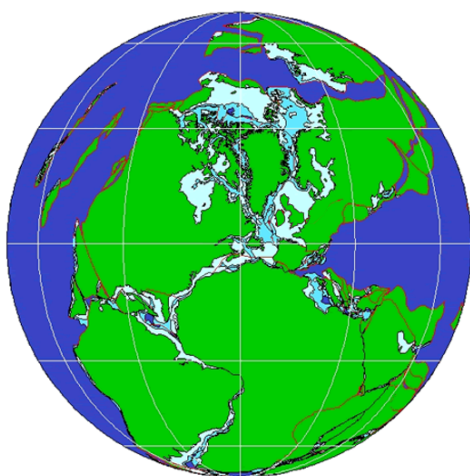
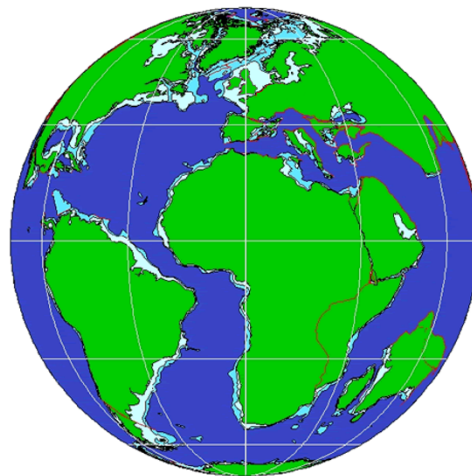
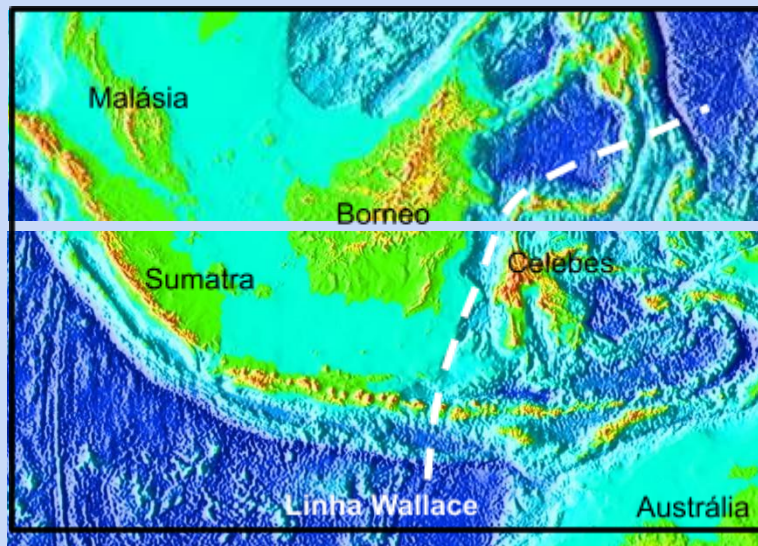


Figura 4.64. Mapa dos continentes a 85Ma, durante o período Cretáceo, com continentes e mares rasos separados (evolução mais rápida)



Caixa 4.17. A Linha Wallace

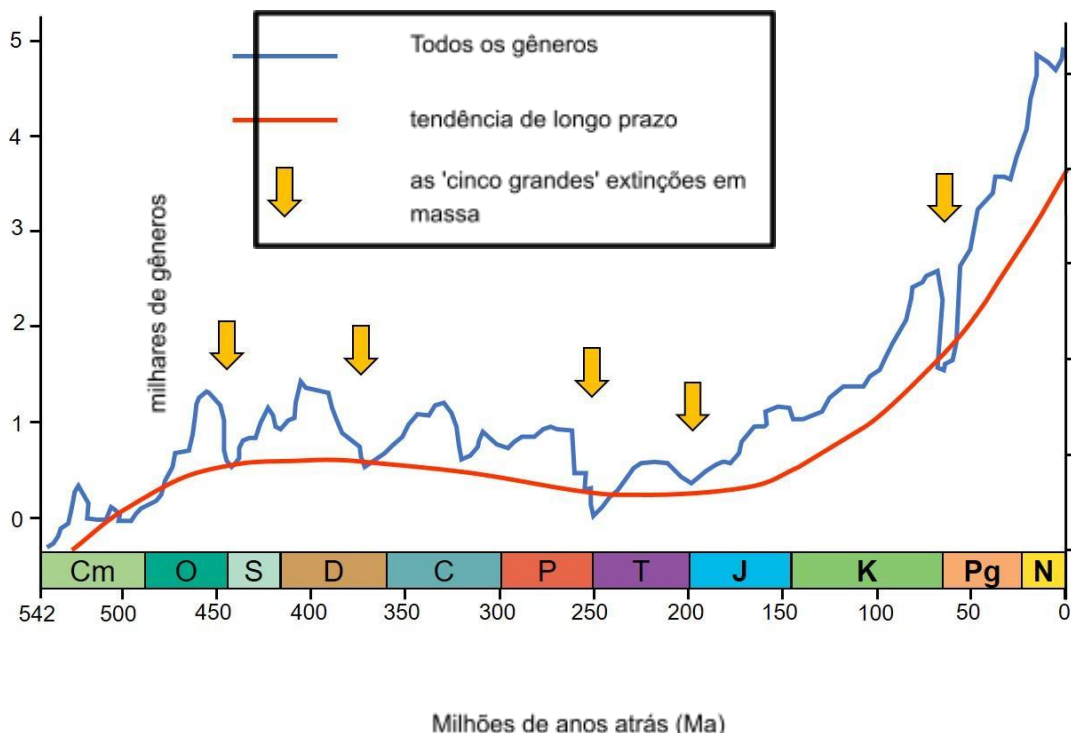
Alfred Russell Wallace, que com Charles Darwin co-desenvolveu a teoria da evolução, reuniu as suas ideias durante as suas amplas viagens, primeiro na região amazônica da América do Sul e depois no sudeste asiático. Ele identificou a linha no sudeste asiático, agora chamada Linha Wallace, que separa grande parte dos animais asiáticos a oeste de uma mistura de animais asiáticos e australianos para o leste. Isto levou-o a pensar sobre como estes diferentes grupos de animais poderiam ter-se formado primeiro, e assim o levou a desenvolver a teoria da evolução. Quando a Australásia foi separada da Ásia no passado geológico, diferentes grupos de animais evoluíram nos diferentes países e regiões.



A sequência global de rochas registra vários episódios de extinção em massa, quando muitos grupos diferentes se extinguiram ao mesmo tempo. De fato, os limites de cada um dos principais períodos geológicos desde o Cambriano foram definidos onde um evento de extinção em massa causou grandes alterações no registro fóssil. Normalmente, antes de um evento de extinção em massa, a vida parecia estar progredindo normalmente. Então, no evento, uma grande variedade de grupos subitamente morreu. Após o evento, os grupos que sobreviveram evoluíram para uma série de novos grupos, provavelmente porque não houve competição por parte dos grupos que tinham morrido. Assim, para além de provocar a extinção de muitos grupos, extinções em massa também desencadearam a evolução posterior de muitos novos grupos.

Nos últimos 450 milhões de anos, houve cinco grandes extinções em massa, quando mais de 60% de todas as espécies da Terra morreu, mas a maior foi no final do período Permiano, quando mais de 90% se extinguiu.

Figura 4.65. A tendência a longo prazo da vida na Terra é as grandes extinções, como mostra o número de gêneros (agrupamentos biológicos contendo números de espécies)



Muitas teorias diferentes foram apresentadas para explicar as extinções em massa; estas incluem enormes erupções vulcânicas, quedas globais do nível do mar, impactos por asteroides e grandes alterações climáticas (resfriamento e aquecimento). Por vezes, vários destes acontecimentos, juntamente com outras grandes mudanças, parecem ter acontecido ao mesmo tempo.

Caixa 4.18. A "grande morte" extinção em massa

No final do período Permiano (e no início do Triássico) em 252Ma, mais de 90% de todas as espécies na Terra morreram. Até 96% de todas as espécies marinhas foram extintas, com a maior extinção em terra de animais e insetos também. As condições devastadoras durante esta extinção em massa são quase impossíveis de imaginar - não só fez tanto a vida animal e vegetal extinguírem-se em terra, mas também nos oceanos, quando "quase toda a vida morreu".

Muitas ideias têm sido propostas para explicar esta 'grande morte', incluindo a extrusão de enormes volumes de lava basáltica, que aconteceu na altura da extinção e teria libertado enormes quantidades de cinzas e gás vulcânico para a atmosfera. As cinzas teriam bloqueado a luz solar, impedindo a fotossíntese, enquanto a libertação de dióxido de carbono vulcânico teria provocado aquecimento global e acidificação dos oceanos.

A extinção em massa pode ter sido desencadeada por um asteroide que atingiu a Terra, mas se assim fosse, e o local do impacto estivesse nos oceanos, o sítio já teria provavelmente desaparecido por esta altura, uma vez que o fundo do oceano é reciclado por tectónica de placas. No entanto, nenhuma outra prova de um grande impacto parece ter sido preservada a partir desse tempo, por isso, a explicação da colisão de asteroides para este evento parece improvável.



Folhas e vagens de sementes da árvore *Glossopteris* - encontradas antes do evento "grande morte", mas não depois.

Caixa 4.19. A extinção em massa K-Pg

Aos 66Ma, no fim do Cretáceo e no início dos períodos do Paleogeno, três quartos da vida na Terra tornaram-se extintos. Não há grandes anfíbios, grandes répteis (incluindo os dinossauros, mas não incluindo crocodilos), ou grandes mamíferos que sobreviveram. Grupos marinhos foram também devastados; as amonites foram extintas, juntamente com muitos grupos de peixes, tubarões e plânctons.

As condições nessa altura deveriam ter sido devastadoras, com tantas plantas e animais em terra e no mar moribundo num período de tempo muito curto.

Foi sugerida uma série de ideias científicas para explicar um acontecimento tão repentino e dramático, incluindo as enormes erupções vulcânicas das armadilhas basálticas Deccan (no que é agora a Índia), a subida do nível do mar, mudanças climáticas ou uma combinação de todas essas opções.

Quando foi descoberto, nos anos 80, que a fronteira K-Pg é marcada em muitas sequências rochosas por uma camada de sedimentos lamacentos ricos no elemento irídio, foi proposta a ideia de que um asteroide atingiu a Terra; asteroides são ricos em irídio, mas a Terra em si não é. Pouco depois, a cratera de Chicxulub foi descoberta no Golfo do México na América Central. Esta cratera de 180 km de largura e 20 km de profundidade é considerada como o local de impacto de um asteroide com pelo menos 10 km de largura. A prova do impacto é dada por "quartzo chocado" (cristais de quartzo deformados por pressão) e contas de vidro (tektites) de rochas derretidas e ejetadas pela colisão. Os cientistas estão quase certos de que uma colisão de asteroide causou a cratera, mas se essa colisão causou a extinção em massa de K-Pg, ou contribuiu para ela, ou teve pouco efeito na vida na Terra na época, ainda está sendo calorosamente debatido.

A extinção em massa do K-Pg deixou muitos habitats quase vazios, dando oportunidades para uma súbita explosão de evolução após o evento de extinção. As aves, peixes e mamíferos em particular evoluíram para muitos novos grupos; os mamíferos desenvolveram-se em cavalos, morcegos, baleias e primatas.



Tyrannosaurus rex - um dos últimos grupos de dinossauros encontrado antes da extinção em massa do K-Pg



Geólogos coletando sedimentos da fronteira K-Pg, Wyoming, EUA

A extinção em massa do Cretáceo/Paleogeno é frequentemente chamada de extinção em massa do K-Pg porque, na coluna geológica, o período Cretáceo pode ser abreviado para 'K' (a letra 'C' tinha sido utilizada mais abaixo na coluna para "Carbonífero") e o Paleogeno é abreviado para "Pg" (uma vez que "P" tinha sido usado anteriormente para o período 'Permiano') (Figura 4.65). De forma confusa, a extinção em massa K-Pg costumava ser chamada de extinção em massa K-T antes do T ("Terciário") ter sido subdividido. Uma das subdivisões passou a chamar-se "Paleogeno" e o termo "terciário" já não é formalmente utilizado.

As extinções em massa tiveram não só maus, mas também bons efeitos, uma vez que cada extinção em massa deixou novos habitats disponíveis para novas explosões de evolução. Assim, sem extinção, em geral, e sem extinção em massa, em particular, a evolução poderia não ter produzido a enorme diversidade da vida na Terra de hoje.

4.4.2 Impacto em outros sistemas

Parece que quanto mais estudamos os sistemas da Terra, mais descobrimos os efeitos vitais que a vida tem sobre esses sistemas. A biosfera teve grandes efeitos na evolução de todo o planeta.

Por exemplo, o intemperismo de rochas envolve uma variedade de processos. O congelamento-descongelamento e o aquecimento e resfriamento têm efeitos físicos de quebrar a rocha em pedaços pequenos. As plantas também têm muitos efeitos físicos, desde radículas de líquens separando grãos de rocha até o movimento das raízes das árvores nas tempestades que afastam as pedras das superfícies das rochas. Da mesma forma, os efeitos químicos da chuva ácida e da oxidação na decomposição química das rochas são aumentados pela vida no solo, adicionando dióxido de carbono extra à chuva, tornando a água do solo ainda mais ácida e capaz de atacar as rochas. A matéria orgânica em decomposição também produz ácido, aumentando o conteúdo de ácido da água, com uma série de outros efeitos de degradação bioquímica. O solo só se forma onde há vida, que adiciona material vegetal e animais ao solo. Assim, onde há pouca vida, como em áreas polares ou desertos secos, não há solo.

A vida desempenha um papel fundamental na formação de rochas, bem como no desgaste da rocha, conforme mostrado na Tabela 4.26. Cerca de 10% de todas as rochas encontradas na superfície da Terra são calcários, e a maioria deles resulta de processos biológicos. A vida é, portanto, muito importante para a formação de rochas.

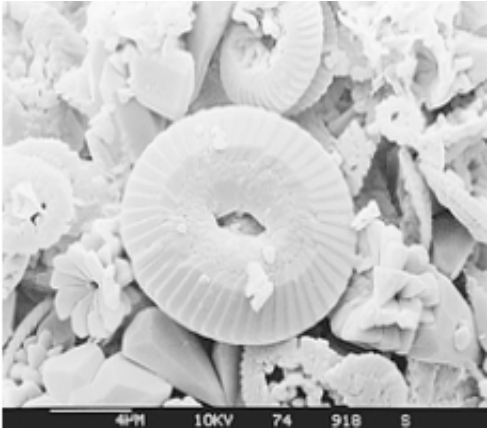
Por outro lado, a vida tem produzido todos os nossos suprimentos de combustível fóssil. O carvão é formado conforme descrito na Tabela 4.26 e durante sua formação libera gás natural, ou metano. O petróleo é formado principalmente pela quebra de minúsculas plantas planctônicas e animais depositados na lama do fundo do mar e posteriormente enterrados.

Tabela 4.26. A contribuição da vida para a formação de rochas

Processo	Descrição	Imagem	Fonte
Formação de carvão	Quando há vida vegetal abundante e as plantas morrem, elas não se deterioram completamente se caírem em um ambiente sem oxigênio; primeiro eles formam turfa e depois, por meio do soterramento, carvão		Fósseis de folhas no carvão carbonífero

Formação de recifes em calcário	Corais e outros animais constroem recifes hoje e também foram grandes construtores de recifes no passado geológico; eles são contribuintes importantes para a formação de calcário		Coral fóssil da idade do Pleistoceno no Parque Estadual Geológico Windley Key Fossil Reef, Flórida, EUA
--	--	--	---

Tabela 4.26. A contribuição da vida para a formação rochosa (continuação)

Processo	Descrição	Imagem	Fonte
Pedras calcárias formadas por detritos fósseis	A maioria dos calcários é formada por detritos fósseis. Os fósseis às vezes são fáceis de ver, como neste espécime, mas também podem ser quebrados em pequenos fragmentos, impossíveis de ver apenas a olho nu	 20mm_	Pedra de construção desgastada: calcário formado por bivalves cenozóicos e gastrópodes quebrados no Templo de Zeus, Olímpia, Grécia
Giz - calcário de grão -muito fino- formado de cocólitos	Antes dos microscópios eletrônicos de varrimento (MEV) se tornarem disponíveis, os geólogos tinham pouca ideia de como o giz se formava. Agora MEVs mostram que o giz é feito principalmente de cocólitos, as minúsculas plaquetas de carbonato de cálcio de algas planctônicas, junto com outros microfósseis		Imagem de um microscópio eletrônico de varrimento de cocólitos; estes compõem a lama de carbonato muito fina que pode eventualmente se tornar giz

Sedimentos mudados por escavação	Abrigo de animais em muitos arenitos e argilitos destroem a base original e outras estruturas		Abrigos de animais semelhantes a caranguejos em argila jurássica, Makhtesh Qatan, sul de Israel
---	---	--	---

O equilíbrio entre o armazenamento de carbono na formação do calcário e sua liberação por meio do intemperismo provavelmente desempenhou um papel fundamental no passado geológico, por meio da quantidade de dióxido de carbono na atmosfera, resultando no efeito estufa. A subducção dos calcários nas margens das placas convergentes também pode ter desempenhado um papel importante nos climas do passado geológico, por meio da quebra do calcário para formar dióxido de carbono, posteriormente liberado como gases vulcânicos.

Caixa 4.20. A hipótese Gaia de James Lovelock

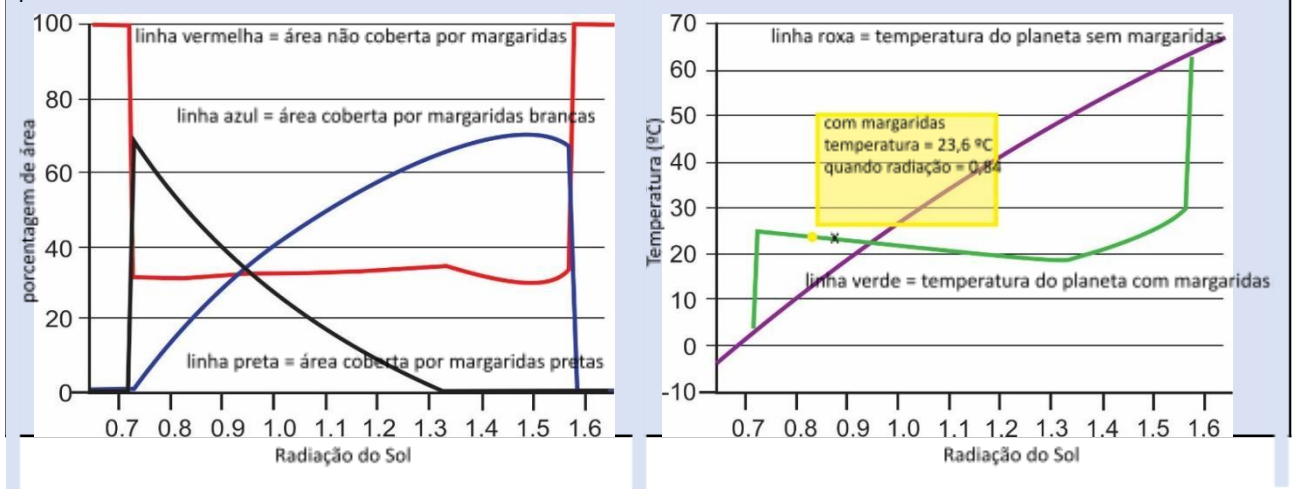
James Lovelock propôs não apenas que a vida desempenha um papel importante nos sistemas terrestres, mas também controla os sistemas terrestres. Ele chamou sua ideia de hipótese Gaia (em homenagem à deusa grega da Mãe Terra, Gaia) e argumenta que, da mesma forma que seu corpo tem muitos sistemas diferentes para regulá-lo, o mesmo acontece com a Terra. Por exemplo, se ficar com muito calor, você suará para se refrescar, mas se ficar com muito frio, você ficará aquecido com calafrios. Quando os cientistas não concordaram que a Terra pudesse ter sistemas para regular sua temperatura e outros aspectos de seus sistemas, Lovelock desenvolveu um programa de computador que chamou de 'Daisyworld' para mostrar como isso poderia funcionar.

Na simulação mostrada nos gráficos, a linha marrom no gráfico à direita mostra como a temperatura de seu planeta simulado, se não tivesse vida, aumentaria com o aumento da radiação do sol. O planeta simulado de Lovelock é semelhante à Terra, onde a radiação recebida de nosso Sol tem aumentado constantemente ao longo do tempo geológico.

Se, nos primeiros dias do planeta simulado, uma grande área fosse coberta por margaridas pretas (linha preta no gráfico à esquerda), a cor preta teria absorvido mais radiação e aumentado a temperatura do planeta para mais de 20°C – a linha verde no gráfico à direita. Então, à medida que a radiação do sol aumentou, ficou muito quente para as margaridas pretas e elas começaram a morrer, sendo substituídas gradativamente por margaridas brancas (linha azul no gráfico à esquerda). À medida que mais e mais radiação era recebida do sol, mais e mais era refletida pelas margaridas brancas, mantendo a temperatura próxima a 20°C. No final, as margaridas não aguentaram mais e morreram. Então, a temperatura do planeta aumentou dramaticamente para o que teria sido se não tivesse nenhuma margarida. Portanto, o efeito das margaridas tem sido o de manter o planeta simulado em uma temperatura razoavelmente estável à medida que a luminosidade solar (radiação do sol) mais do que dobrou.

Por meio dessa simulação, Lovelock demonstrou como a vida em evolução pode regular a temperatura de um planeta. Ele raciocinou que, de maneiras diferentes, a vida poderia regular os sistemas de um planeta inteiro como a Terra, mantendo sua capacidade de vida, desde o momento em que a vida abundante surgiu pela primeira vez até agora.

Parte do pensamento de Lovelock agora sustenta como os cientistas investigam os sistemas terrestres, embora muitos não concordem que a vida regula todo o sistema terrestre da maneira que Lovelock descreveu.



5 O Sistema Terra produz recursos

Os recursos naturais são todos os materiais da geosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera

que podem ser usados pelo homem. Eles incluem a ampla variedade mostrada na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Recursos naturais da Terra

Fonte	Alguns dos recursos naturais extraídos para uso	Imagem	Fonte
Geosfera	• Solo • Rochas a granel para construção e indústria • Minerais de evaporitos antigos • Minérios de metal • Combustíveis fósseis • Energia geotérmica • Urânio		Os Jardins Butchart, Victoria, British Columbia, Canadá, estão localizados em uma pedreira de calcário recuperada
Hidrosfera	• Água potável • Água para a indústria e agricultura • Minerais de evaporito • Energia hidrelétrica, das ondas e das marés		Lagoas de evaporação de sal, La Palma, Ilhas Canárias
Atmosfera	• Gases da atmosfera • Ar para a indústria • Vento para energia		Planta de oxigênio de membrana, usada para extrair oxigênio do ar
Biosfera	• Peixes e outras criaturas marinhas • Árvores • Produtos da agricultura em terra e no mar		Cultivo de algas marinhas na Indonésia

5.1. Matérias-primas e combustíveis fósseis

Todas as matérias-primas e combustíveis fósseis extraídos do solo foram primeiro naturalmente concentrados. Essa concentração natural ocorre de duas maneiras: ou os processos naturais concentraram o próprio material ou os processos naturais removem os

outros materiais não econômicos, deixando para trás os materiais úteis.

Os materiais só são extraídos para uso se forem economicamente viáveis. Isso significa que um material é extraído apenas se o equilíbrio entre a necessidade local ou global do material (a demanda) e sua disponibilidade local ou global (a oferta) torna o preço alto o suficiente. Se o preço for alto o suficiente para cobrir os custos de prospecção, extração e remediação, processamento e transporte, vale a pena extrair o material.

Todo desenvolvimento para atender às necessidades humanas deve ser sustentável. O desenvolvimento sustentável foi descrito como “o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”. Isso significa que as necessidades econômicas e populacionais devem ser atendidas sem causar danos ao meio ambiente de tal forma que as necessidades futuras não possam ser atendidas. Para a extração de materiais naturais, todos os aspectos da operação devem ser sustentáveis.

A remediação envolve a extração do material com o mínimo de danos possível à comunidade e ao meio ambiente do entorno, e posteriormente a devolução da área próxima à sua qualidade original, com monitoramento para que não ocorram problemas posteriores. Alguns países têm altos níveis de controle ambiental, garantindo a remediação adequada, enquanto outros países têm níveis de controle mais baixos.

5.1.1. Matérias-primas a granel para construção

A construção em grande escala precisa de grandes quantidades de material, e isso pode ser muito caro para transportar. É por isso que muitas super pedreiras estão localizadas na costa e outras pedreiras importantes têm suas próprias linhas de trem. A maioria das cidades possui pedreiras próximas para suprir suas necessidades de construção, bem servidas por estradas. A brita, a areia e o cascalho de algumas pedreiras são usados como agregado de construção.

Tabela 5.2. Exemplos de matérias-primas a granel usadas na construção

Matéria- prima a granel	Detalhes	Imagem	Fonte
Rocha ígne	Rochas ígneas como granito, gabro e dolerito, é muito resistente e usada para agregados em concreto, construção de estradas e lastro de rocha britada em que as ferrovias são colocadas		O cais de carregamento da super pedreira de granito Glensanda, Loch Linnhe, Escócia, uma das maiores pedreiras da Europa

Calcário	O calcário é usado para agregar e fabricar o cimento		Pedreira de calcário Nagara, Toyohashi, Japão
-----------------	--	--	---

Tabela 5.2. Exemplos de matérias-primas a granel usadas na construção (continuação)

Matéria-prima a granel	Detalhes	Imagem	Fonte
Areia e cascalho	Areia e cascalho são extraídos para agregar no concreto		Poço de areia e cascalho perto de Lisboa, Portugal

5.1.2. Matérias-primas a granel para a indústria

A indústria requer matéria-prima a granel para uma variedade de usos, incluindo: fabricação de materiais de construção, fornecimento para as indústrias de cerâmica e como matéria-prima para as indústrias química e de fertilizantes agrícolas (Tabela 5.3). Como os custos de transporte de materiais a granel são altos, ou as fábricas de processamento estão localizadas o mais próximo possível das pedreiras ou são necessárias boas conexões de transporte. São chamados de matéria-prima a granel porque seu custo é baixo em relação à sua grande massa e volume, de modo que para serem lucrativos precisam ser escavados a granel em grande escala.

Tabela 5.3. Exemplos de matérias-primas a granel usadas na fabricação de materiais de construção, nas indústrias de cerâmica e química

Matéria-prima a granel	Detalhes	Imagem	Fonte
Calcário	Cimento para concreto; cimento blocos e argamassa são feitos por Calcário de aquecimento e argila juntos em um forno e moagem o resultado com gesso		Cimenteiras, Holcim, Eclépens, Suíça

	Calcário é aquecido para formar cal viva usada na agricultura e na indústria química para fazer aço, revestimentos para papel, alvejante, em açúcar refinado e para tratamento de água		Um moderno forno rotativo de cal Wyoming, USA
--	---	--	--

Tabela 5.3. Exemplos de matérias-primas a granel usadas na fabricação de materiais de construção, nas indústrias de cerâmica e química (continuação)

Matéria- prima a granel	Detalhes	Imagem	Fonte
Sal	O cloreto de sódio não é apenas recuperado por evaporação em tanques de sal, mas também é extraído no subsolo de antigos depósitos de halita; sendo utilizado na salga de alimentos, degelo de estradas e na indústria química de plásticos e fabricação de papel	 [10mm]	Cristais cúbicos de halita mineral, mina de sal Merkers, Alemanha
Potássio	O Potássio é cloreto de potássio e é recuperado por mineração e bombeamento de salmoura; é a principal fonte de potássio em fertilizantes agrícolas; também é usado para produzir uma ampla gama de produtos químicos industriais		A água bombeada para o minério de potássio solúvel é então bombeada como salmoura para tanques de evaporação para recuperar o potássio, Utah, EUA
Gipsita	A Gipsita, um mineral de sulfato de cálcio, é extraído e aquecido para fazer gesso, que é usado para fazer o revestimentos de parede de gesso, usados na maioria dos edifícios modernos		Uma pedreira de gesso em rochas do Triássico perto de Nottingham, Inglaterra

Argila de tijolo	A argila de tijolo é moldada em formas de tijolo e depois queimada em fornos para produzir tijolos domésticos para construção		Escavação de argila de tijolos, Baduria, West Bengal, Índia
-------------------------	---	--	---

Tabela 5.3. Exemplos de matérias-primas a granel usadas na fabricação de materiais de construção, nas indústrias de cerâmica e química, (continuação)

Matéria-prima a granel	Detalhes	Imagem	Fonte
Argila da China	A argila da China é usada para fazer porcelana fina e na fabricação de papel e cosméticos		Cova de argila chinesa perto de Kaznějov, na República Tcheca
Areia de Sílica	A areia de sílica é misturada com soda (carbonato de sódio), cal (óxido de cálcio) e outros produtos químicos, derretida e depois flutua no metal fundido para fazer o vidro usado nas janelas de hoje		Vista aérea da enorme caixa de areia de sílica perto de Frechen, no oeste da Alemanha

5.1.3 Minérios de metal

Minérios de metal são concentrações naturais de metal que são economicamente valiosas. Eles precisam de ainda mais concentração do que as matérias-primas a granel, para tornar a mineração econômica. Uma gama de processos sedimentares, ígneos e metamórficos concentram naturalmente os minérios, e alguns exemplos estão incluídos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4. Exemplos de extração de minério de metal

Minério de metal	Concentração natural	Imagem	Fonte
Ferro, hematita, Fe_2O_3	As enormes sequências de rocha ferríferas bandadas na Austrália e em outras áreas continentais foram formadas na época pré-cambriana, por processos sedimentares que os cientistas ainda estão tentando explicar		Mina de pedra de ferro Tom Price, Austrália Ocidental - tudo na vista está manchado de vermelho por poeira de hematita

Tabela 5.4. Exemplos de extração de minério de metal, continuação.

Minério de metal	Concentração natural	Imagem	Fonte
Cobre, calcopirita, CuFeS_2	A calcopirita e outros minerais de cobre foram concentrados por fluidos aquosos hidrotermais quentes que se originaram nas profundezas da superfície, por meio de processos metamórficos e hidrotérmicos		Mina de cobre Bingham Canyon, Utah, USA - a maior mina do mundo, com mais de um quilômetro de profundidade e quatro quilômetros de largura
Chumbo galena, PbS	O minério de chumbo é frequentemente encontrado com minérios de zinco, cobre e prata; os minérios são comumente concentrados pelos fluidos hidrotermais produzidos quando magmas invadem as rochas circundantes		Mina Mt Isa, Queensland, Austrália; a chaminé alta é para a fundição de chumbo; a chaminé da fundição de cobre é vermelho-branco

Ouro, Ouro nativo, Au	Ouro pode ser encontrado nativo, não combinado com qualquer outro elemento; por ser um mineral denso, após ser liberado da rocha pela erosão, pode ser depositado como ouro localizado nos leitos dos riachos		Garimpo comercial de ouro pelo povo Sakalava em Madagascar
--	---	--	--

5.1.4 Minerais industriais

Esses são minerais extraídos por seu valor, que não são combustíveis, minérios de metal ou matérias-primas a granel. Eles incluem uma ampla gama de materiais. Dois exemplos estão incluídos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5. Exemplos de extração mineral industrial

Mineral industrial	Detalhe	Imagem	Fonte
Minerais de terras raras	Esses depósitos contêm elementos de terras raras que são usados em dispositivos modernos, como memória de computador, telefones celulares, DVDs, ímãs, iluminação fluorescente e baterias recarregáveis		Imagem de satélite de uma mina de terras raras em Bayan Obo, China
Diamantes	Os diamantes das profundezas do manto são trazidos à superfície por erupções vulcânicas que perfuram tubos até a superfície; eles são usados como gemas e para corte e retificação industrial		A mina Mir, Mirny, Rússia

5.1.5 Combustíveis fósseis

Os combustíveis fósseis são os restos de plantas e plantas microscópicas e animais preservados no solo. Quando estavam vivas, as plantas absorviam energia do Sol por meio da fotossíntese. Ao morrer, seus restos mortais se acumulam, geralmente em água com pouco ou nenhum oxigênio. Como o oxigênio é necessário para que o material orgânico se decomponha completamente, o restante se decompõe apenas parcialmente, formando depósitos sedimentares ricos em matéria orgânica. Quando foi enterrado e comprimido, grande parte da água e dos gases de decomposição foram

espremidos, enriquecendo ainda mais o conteúdo orgânico. Todos os materiais orgânicos contêm o elemento carbono e é a queima do carbono nos combustíveis fósseis que libera energia.

5.1.5.1 Turfa e carvão

A turfa é o acúmulo de material vegetal parcialmente decomposto nas águas pobres em oxigênio de pântanos, charcos e áreas inundadas. A turfa se acumula ao longo de milhares de anos, frequentemente com espessuras de mais de 2 m. As turfeiras não são apenas ricas em carbono, mas também capturam o dióxido de carbono liberado durante a decomposição e, portanto, são um dos depósitos importantes de carbono removido da atmosfera. Se a turfa for enterrada e comprimida, ela preserva uma concentração ainda maior de carbono. A turfa é cortada para queima e para produzir composto orgânico para jardins. No entanto, como os cientistas compreenderam mais plenamente como as turfeiras desempenham um papel tão importante na remoção de carbono da atmosfera, a escavação da turfa tem sido reduzida globalmente.

Figura 5.1. Corte comercial de turfa, Ljungby, Suécia



Se a turfa fosse enterrada em profundidades ainda maiores, a compressão pelos sedimentos subjacentes a converteria em carvão. No entanto, a maior parte do carvão é produzida nas condições da floresta tropical dos pântanos tropicais. As plantas e as árvores crescem rapidamente nas condições quentes e úmidas e, quando morrem e caem nos pântanos pobres em oxigênio, decaem apenas parcialmente. Se a área está diminuindo, muitos metros de matéria orgânica podem se acumular, às vezes preservando folhas, raízes ou troncos inteiros de árvores. Quando a camada orgânica é enterrada cada vez mais profundamente por sedimentos subjacentes, a temperatura aumenta naturalmente enquanto a água e os gases de decomposição são expelidos, produzindo camadas de carvão. Quanto maior o aumento na pressão e na temperatura, mais gás é liberado e melhor se torna o carvão; o carvão da mais alta qualidade contém a maior proporção de carbono.

As exposições de carvão à superfície foram extraídas pela primeira vez há muito tempo. Em seguida, eles foram seguidos no subsolo por túneis horizontais ou inclinados chamados *de galeria*, ou por poços verticais. A mineração subterrânea de carvão é chamada de mineração profunda, e algumas minas de carvão atingiram mais de 1 km de profundidade. A mineração profunda de carvão continua em muitas partes do mundo, mas uma alternativa mais barata é a mineração de carvão a céu aberto.

Nos modernos poços a céu aberto, a camada superficial do solo é removida e armazenada. Em seguida, as rochas sedimentares que recobrem as camadas de carvão são removidas e armazenadas em outro lugar. Quando a camada de carvão é alcançada, o carvão é cuidadosamente limpo e, em seguida, maquinário em grande escala é usado para cortar o carvão e transportá-lo para fora do poço. Às vezes, a abertura revela os antigos túneis profundos de mineração de carvão, como na Figura 5.2. Fendas cada vez mais profundas a céu aberto são escavadas à medida que

camadas de carvão mais profundas são extraídas, às vezes a uma profundidade de 60 m. Em seguida, a próxima fenda é escavada e preenchida com a rocha estéril da fenda anterior. Os mineiros a céu aberto trabalham no local, *slot* por *slot* (abertura por abertura), até que todo o carvão seja removido e o último compartimento preenchido. Em seguida, a camada superficial do solo é substituída e o paisagismo da área é feito o mais próximo possível de suas condições originais

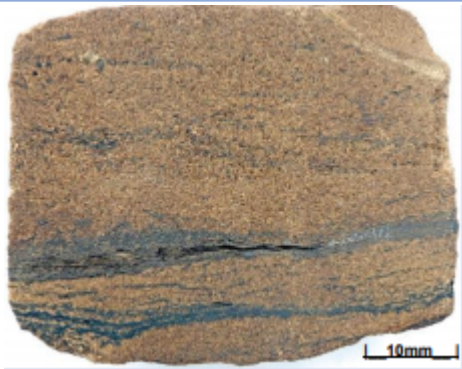
Figura 5.2. Uma mina de carvão a céu aberto em uma camada espessa de carvão, revelando uma antiga galeria de mineração profunda. Camada de carvão Foord na Formação Stellarton do Carbonífero, Stellarton, Nova Escócia, Canadá



5.1.5.2 Petróleo e gás natural

Muito do gás natural extraído da Terra foi produzido pela desgaseificação natural do carvão quando foi comprimido e aquecido durante o soterramento. Enquanto isso, petróleo bruto e o gás natural são formados a partir de lamitos e folhelhos ricos em materiais orgânicos, que também são aquecidos e comprimidos pelo soterramento. O material orgânico que fornece a fonte de óleo era originalmente plantas e animais planctônicos marinhos microscópicos. Estes assentaram no fundo do mar quando morreram e foram enterrados na lama que acabou se transformando em lamito e folhelhos. Portanto, carvão, lamitos e folhelhos ricos em orgânicos são as rochas-fonte originais de petróleo e gás. Todos os materiais orgânicos nas rochas geradoras obtiveram originalmente sua energia por meio da fotossíntese do Sol e, portanto, contêm "a energia fossilizada do Sol". Para que os depósitos de petróleo e gás se formem no subsolo, as cinco etapas mostradas na Tabela 5.6 são necessárias em sequência, de baixo para cima na tabela.

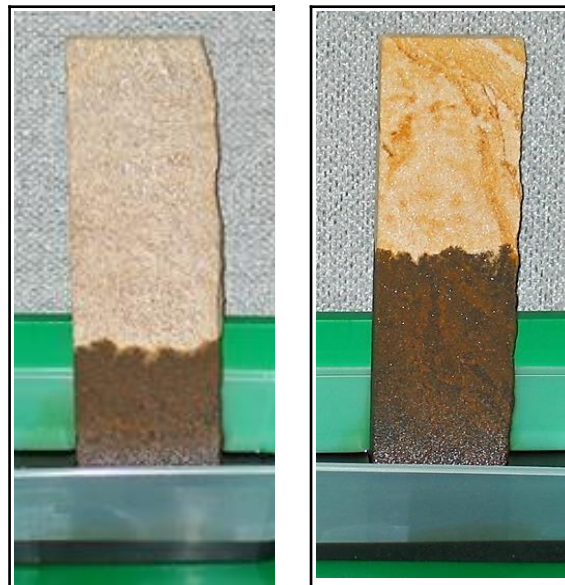
Tabela 5.6. Os cinco requisitos para formar um campo de petróleo e / ou gás

Requisito para um campo de óleo / gás	Detalhe	Imagem	Fonte
Aprisionamento	A forma da rocha de cobertura sobre a rocha do reservatório deve prender um corpo em forma de bolha de óleo ou gás por baixo. Uma forma de armadilha comum é uma anticlinal, mas existem vários outros tipos de armadilha também		Uma anticlinal na passagem de Pang La, no Tibete
Rocha de Cobertura	As rochas de cobertura são rochas de granulação fina que são impermeáveis (os fluidos não podem fluir através delas) e prendem óleo e / ou gás em forma de bolha por baixo		Argilito em Deakin anticlinal, da formação Silurian Yarralumla, Canberra, Austrália
Rocha reservatório	Uma rocha reservatório é uma rocha com espaços de poros interligados suficientes para conter um fluido como água, óleo ou gás; é uma rocha permeável que deve ser porosa (com espaços de poros) e permeável (para permitir que o fluido flua). Os arenitos são as rochas reservatórias de petróleo mais comuns		Arenito que contém petróleo naturalmente, do campo de petróleo Hutton, no Mar do Norte
Calor e pressão do soterramento	Conforme as rochas são soterradas, sua temperatura aumenta naturalmente. A cerca de 2km de profundidade a temperatura chega a 60°C e as rochas orgânicas começam a liberar óleo. Na profundidade de 4 km, a temperatura é de 120°C e grande parte do óleo já foi liberado. O gás natural começa a ser liberado também nessa temperatura. Aos 9 km de profundidade, a uma temperatura de mais de 200°C, qualquer gás remanescente torna-se grafite e não pode ser liberado		

Rocha geradora	A rocha geradora é a rocha rica em orgânicos de onde vieram originalmente o petróleo e o gás. Para o gás natural, a rocha geradora é o carvão ou as fontes de petróleo. A maior parte do petróleo e algum gás natural vêm do folhelho betuminoso orgânico preto ou do conteúdo orgânico de grandes volumes de lamito de cor mais clara		Folhelho betuminoso do depósito do Eoceno na mina de Messel perto de Frankfurt, Alemanha
-----------------------	--	--	--

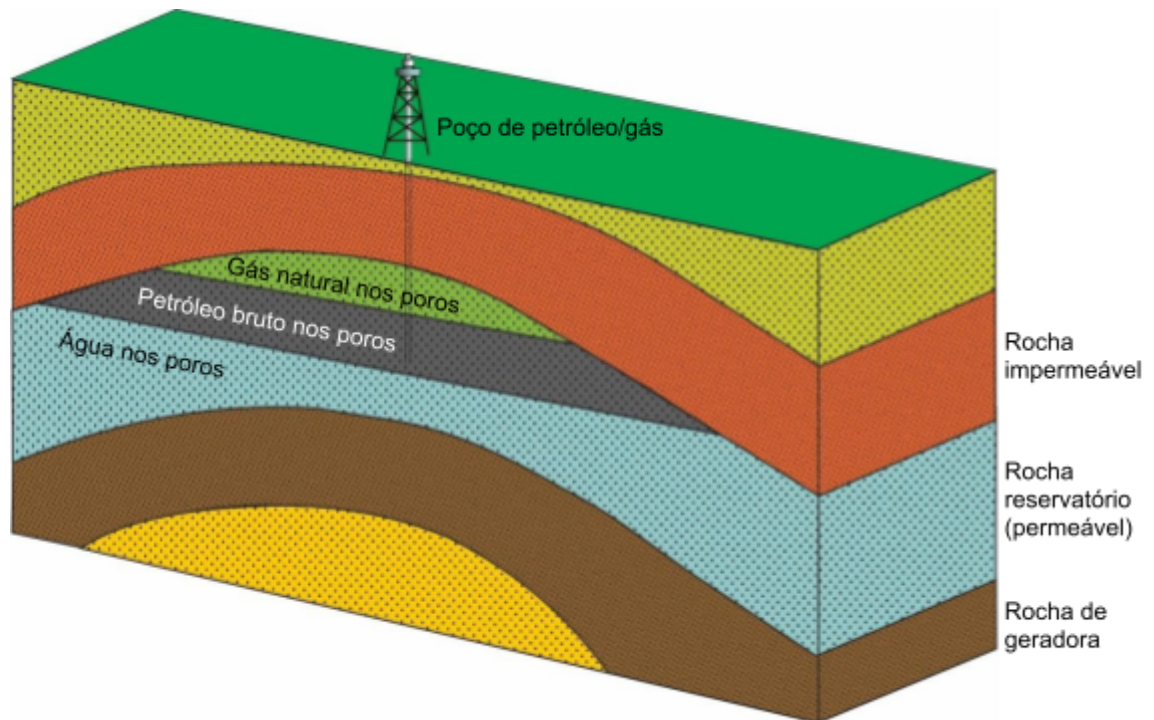
Todas as rochas porosas contêm fluidos em seus poros, geralmente água. À medida que as pressões e temperaturas do soterramento aumentam, as rochas geradoras liberam seu óleo e gás. Eles sobem porque são menos densos do que a água nos espaços dos poros. Eles continuam a subir através de rochas permeáveis ou ao longo de fraturas, até que alcancem a superfície da Terra e se percam, ou atinjam uma camada de rocha impermeável. Um reservatório subterrâneo de óleo / gás é formado se a rocha de cobertura tem o formato correto para reter óleo / gás abaixo, é grande o suficiente e tem uma rocha abaixo com espaço de poro suficiente para conter uma boa quantidade de óleo / gás (uma rocha reservatório como aqueles na Figura 5.3). O gás nos espaços dos poros flutua sobre o óleo, que por sua vez flutua sobre a água, conforme mostrado na Figura 5.4

Figura 5.3. Duas placas de arenito no óleo de motor - mostrando como diferentes arenitos podem absorver diferentes quantidades de óleo em seus poros-espaços



Quando um poço é perfurado em uma armadilha contendo óleo e/ou gás, o óleo/gás sobe pelo furo porque tem densidade mais baixa do que a água e devido à pressão das rochas sobrepostas. Pode esguichar perigosamente na superfície, a menos que seja cuidadosamente controlado por uma série de válvulas conectadas ao topo de todos os furos de exploração de petróleo/gás.

Figura 5.4. Uma armadilha formada de rocha levantada (uma anticlinal) - estas podem conter petróleo, gás ou ambos juntos.



Caixa 5.1. Válvulas de poço de óleo

Os furos de óleo / gás têm uma "árvore de Natal" de válvulas na superfície, para impedir que o óleo / gás naturalmente pressurizado esguiche perigosamente para fora do furo (a imagem oposta é de um furo em Dakota do Norte, EUA). No passado, antes do uso dessas válvulas, o óleo às vezes esguichava para a superfície por meio de "jatos" perigosos, como na imagem abaixo dos EUA por volta de 1911.



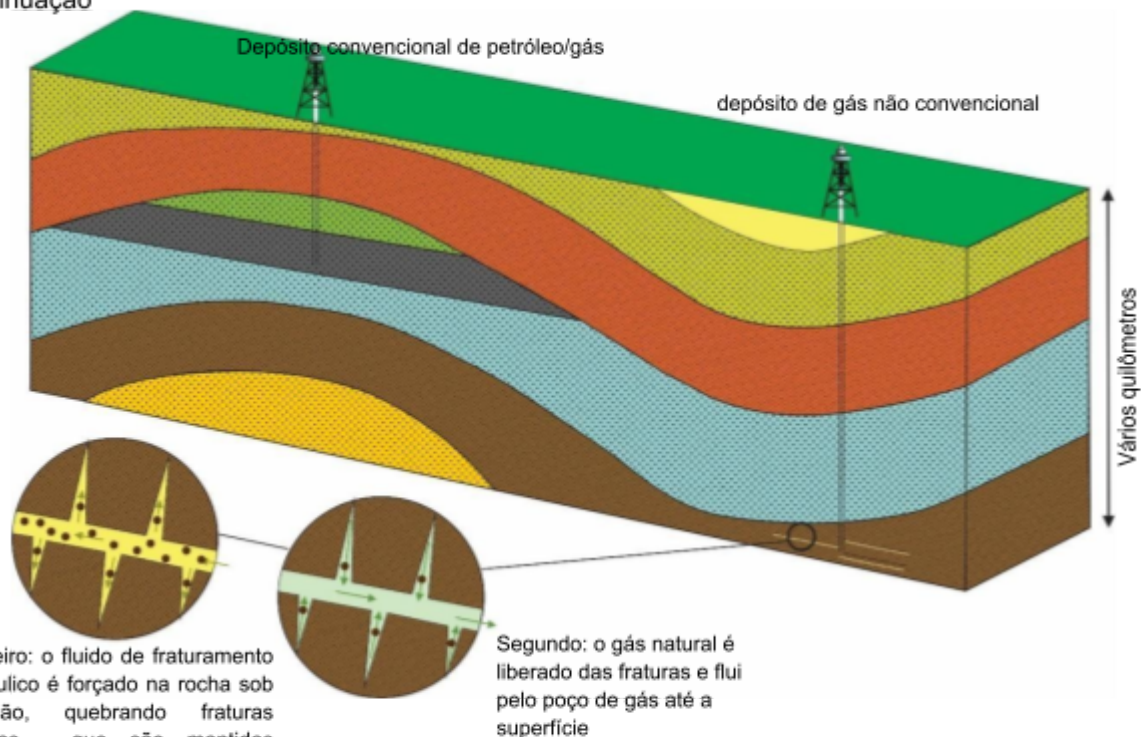
As rochas reservatório de muitos campos modernos de petróleo e gás são fraturadas hidráulicamente (fraturas) para aumentar as quantidades de petróleo/gás que podem ser liberadas pela rocha. Durante o fraturamento hidráulico, o fluido é bombeado para a rocha sob grande pressão e fratura os espaços dos poros, alargando-os. O fluido contém areia que adere às novas fraturas, mantendo-as abertas. Os poros mais largos e as fraturas liberam óleo e gás mais rapidamente.

Caixa 5.2. Perfuração de folhelho em arenito 'firme'

O fraturamento hidráulico pode ser usado para liberar gás natural de rochas geradoras de folhelho que têm poucos espaços de poros ou foram enterrados tão profundamente que os espaços de poros são pequenos. Uma vez que quantidades econômicas de petróleo/gás não podem ser liberadas dessas rochas sem fraturamento, elas são frequentemente chamadas de 'depósitos não convencionais', em contraste com os depósitos convencionais mostrados no diagrama. Os depósitos convencionais foram fraturados por muitos anos.

Os furos de perfuração são feitos verticalmente a partir da superfície e depois horizontalmente ao longo das camadas a serem fraturadas. Uma série de furos horizontais é feita a partir de cada furo vertical. O fluido de fraturamento hidráulico é então bombeado a uma pressão extremamente alta, para neutralizar a massa das rochas acima. O fluido de fraturamento hidráulico é uma mistura de detergente (como detergente para a louça), ácido com força de vinagre, goma (como a goma encontrada em alguns doces), água e areia. O detergente ajuda o fluido a deslizar pelo buraco, o ácido ajuda a decomposição química da rocha e a goma engrossa o fluido. As partículas de areia sustentam as novas fraturas abertas. O efeito é tornar as rochas antes quase impermeáveis, permeáveis o suficiente para liberar seu gás.

**Box 5.2. Perfuração de folhelho em arenito "firme",
continuação**



Primeiro: o fluido de fraturamento hidráulico é forçado na rocha sob pressão, quebrando fraturas abertas - que são mantidas abertas por grãos de areia

Segundo: o gás natural é liberado das fraturas e flui pelo poço de gás até a superfície

Se o fraturamento hidráulico não for controlado adequadamente, o revestimento do poço pode vaziar, permitindo que o fluido ou gás de fraturamento hidráulico escape para os aquíferos próximos à superfície e, assim, polua-os. Manter revestimentos de poço à prova de vazamento eficazes é um dos controles mais importantes durante as operações de fraturamento hidráulico e posterior extração de gás.

5.1.6 Prospecção

Os primeiros garimpeiros costumavam procurar depósitos naturais de minerais ou vazamentos de óleo expostos na superfície da Terra, mas esses afloramentos e sinais superficiais foram quase todos encontrados, então hoje em dia são necessários métodos mais técnicos.

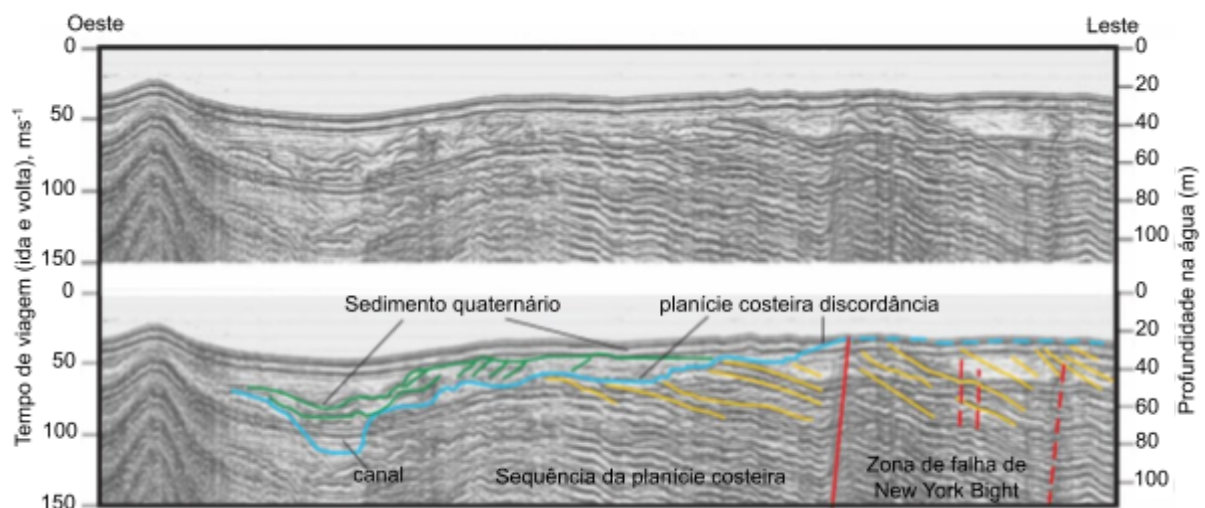
Os garimpeiros de hoje sabem, a partir do mapeamento geológico de superfície de terras, onde as rochas geradoras, rochas reservatório e rochas de cobertura são provavelmente encontradas na ordem certa, então procuram principalmente formas de armadilhas subterrâneas. Eles podem começar voando, por sensoriamento remoto gravimétrico e levantamentos magnéticos, uma vez que mostram onde rochas mais densas ou magnéticas se aproximam da superfície e podem indicar onde anticlinais sub-superficiais ou formações semelhantes ocorrem. Em seguida, eles provavelmente realizarão pesquisas sísmicas para mostrar a estrutura das rochas abaixo do solo. Quando uma provável estrutura alvo é encontrada, um poço de prospecção é perfurado em busca de petróleo/gás. Perfurar um poço é muito caro, especialmente no mar, de modo que o geólogo em prospecção deve ter muito cuidado ao coletar informações e prever alvos prováveis.

Caixa 5.3. Prospecção sísmica

O levantamento sísmico depende das ondas de choque sendo refletidas de volta por diferentes camadas na sequência de rochas. A equipe de exploração causa ondas de choque em terra por uma explosão ou usando um 'caminhão vibratório', ou no mar por uma pistola d'água ou explosão. As ondas de choque viajam para baixo na sequência de rochas e são refletidas pelas diferentes camadas. As ondas de choque refletidas são detectadas por uma série de microfones, chamados geofones em terra ou hidrofones no mar.

Caixa 5.3. Prospecção sísmica, continuação

Os resultados são analisados por computador para produzir um traço sísmico, conforme mostrado abaixo. A escala vertical à esquerda é o tempo de viagem bidirecional, o tempo necessário para que a onda de choque alcance o leito refletor e retorne ao receptor: indica a profundidade do leito, mostrado à direita. O diagrama inferior mostra uma interpretação do traço sísmico do diagrama superior, para produzir uma imagem da geologia, como uma seção transversal geológica.



Um perfil sísmico, filmado em New York Bight, perto da cidade de Nova York, EUA

Se um perfil sísmico como este tivesse sido disparado durante a prospecção de petróleo/gás, então bons alvos para petróleo/gás poderiam ser o anticlinal indicado na extremidade oeste do perfil, ou as rochas abaixo da discordância, se as rochas acima da discordância forem impermeáveis.

Levantamentos gravimétricos e magnéticos também são realizados durante a prospecção de outros recursos naturais, em busca de anomalias de alta gravidade (alta densidade) e de magnetização, como indicadores de possíveis alvos de minério de metal.

Um método de prospecção frequentemente usado na busca de minérios de metal é o fluxo geoquímico e a amostragem de solo. Mais comumente, uma série de amostras de sedimentos são coletadas de um leito de riacho, secas e peneiradas para obter sedimentos de granulação fina. Em seguida, eles são enviados a um laboratório para análise, geralmente por espectrometria de fluorescência de raios-X (XRF) para mais de 50 elementos. Onde a prospecção encontra altos níveis dos elementos alvo, os níveis geralmente aumentam rio acima até perto de sua fonte; isso é então verificado por uma amostragem de fluxo mais detalhada. Quando a área de origem é identificada, a amostragem do solo é realizada em um padrão de grade até que os valores mais altos sejam encontrados. Finalmente, os poços são cavados até que a rocha geradora seja identificada e avaliada por seu valor como uma futura mina.

Caixa 5.4. Como encontrar uma mina de diamantes

- Vá para um continente onde os diamantes foram encontrados anteriormente (os diamantes são formados apenas em áreas da crosta continental antiga e espessa).
- Faça a amostragem de rio e processe cada amostra para concentrar os minerais pesados (densos). Embora os diamantes sejam raramente encontrados em riachos, eles vêm de rochas vulcânicas incomuns, chamadas de kimberlitos, e contêm outros minerais kimberlíticos pesados, como granadas de cor vermelha profunda.
- Envie o concentrado de mineral pesado para o laboratório analisar.
- Identifique áreas de riachos com altos níveis de minerais kimberlíticos e siga-os até sua área de origem.
- Faça a amostragem do solo em um padrão de grade na área de origem, concentrando os minerais pesados e enviando-os ao laboratório para análise.
- Encontre a anomalia de mineral kimberlítico mais alta e escave, esperando encontrar o kimberlito vulcânico.
- Se você tiver muita sorte, o kimberlito que encontrar pode ser um dos poucos kimberlitos que contêm diamantes suficientes para torná-lo lavrável.

Caixa 5.4. Como encontrar uma mina de diamantes, continuação



Coleta de uma amostra de mineral pesado em um leito de rio seco



Concentrado do mineral pesado *jig* no campo



Concentrado de mineral pesado sobre um kimberlito



Primeira mina de diamantes, Cullinan, África do Sul

Nota: às vezes, quando um kimberlito sofreu erosão no passado geológico, diamantes suficientes podem estar concentrados em sedimentos de rios ou praias para fazer valer a pena extraí-los.

5.1.7 Proteção e remediação ambiental

Os locais de extração de recursos modernos geralmente têm políticas de proteção e remediação ambiental. As políticas de proteção ambiental protegem a área local dos efeitos da extração. As políticas de remediação garantem que o local seja deixado em boas condições após o término da

extração e que o monitoramento contínuo do local continue. Uma gama de métodos de proteção ambiental é usada, como na Tabela 5.7.

Tabela 5.7. Métodos de proteção do meio ambiente durante a exploração dos recursos naturais.

Método de proteção ambiental	Detalhe	Imagem	Fonte
Bancos	Bancos (cômoros) são construídos em torno da parte superior das áreas de extração de modo que não possam ser facilmente vistos de fora e para reduzir a poeira e o ruído		Banco construído em torno do topo de uma pedreira de basalto perto de Hohenfels-Essingen, Alemanha

Tabela 5.7. Métodos de proteção do meio ambiente durante a exploração dos recursos naturais, continuação

Método de proteção ambiental	Detalhe	Imagem	Fonte
Plantio	As árvores são plantadas ao redor dos locais de extração para que o local não seja facilmente visto e para reduzir o ruído e a poeira do local		Triagem por meio do plantio de árvores em torno de uma pedreira de basalto ativa, Hühnerberg, Baviera, Alemanha
Lagoas de assentamento	A água bombeada de minas e pedreiras juntamente com o escoamento durante as tempestades é canalizada para tanques de decantação. A lama é sedimentada antes que a água seja usada nas operações de lavagem ou flua para os riachos locais		Lago de assentamento da mina de ferro Cagdianao Mining Corporation nas Filipinas
Tratamento de água contaminada	A água residual é tratada para remover a poluição antes de ser lançada nos sistemas fluviais		Tratamento de águas residuais de minas para remover a poluição por metais na Austrália

Lavagem de veículos	Lama e poeira são lavadas dos veículos, para que não sejam carregadas para as estradas próximas		Um sistema de lavagem de rodas de caminhão na Alemanha
Plantar vegetação nos resíduos	A vegetação é plantada nos resíduos para que as raízes prendam o solo e reduzam o fluxo de água na superfície, reduzindo assim a erosão		Terraços com sementes de grama em resíduos de argila da China, Higher Coldvreath, Cornwall, Inglaterra

Tabela 5.7. Métodos de proteção do meio ambiente durante a exploração dos recursos naturais, continuação

Método de proteção ambiental	Detalhe	Imagem	Fonte
Monitoramento de águas subterrâneas	Uma série de perfurações é feita no solo ao redor do local de escavação e as águas subterrâneas são monitoradas quanto à poluição		Monitoramento de águas subterrâneas, Coronado National Memorial, Arizona, EUA

Quando um local de extração fecha, o local deve ser remediado ou limpo tanto quanto possível, para torná-lo adequado para usos futuros. Por vezes é possível devolver o local ao seu uso original, mas noutros casos é cedido a novos usos, como um parque rural ou uma marina. Os processos de remediação envolvem o paisagismo do local, a devolução de qualquer camada superficial do solo que foi removida e o plantio de plantas cuidadosamente escolhidas que sobreviverão às novas condições e possivelmente ajudarão na limpeza do solo.

Em áreas de mineração e pedreiras, algumas das máquinas antigas e outros itens históricos podem ser exibidos em museus históricos. Algumas das faces das rochas podem ser preservadas por seu valor científico, educacional ou histórico ou como locais de vida selvagem, como para fazer ninhos de pássaros ou para animais que amam a água. Mesmo após a remediação, os locais ainda podem precisar de monitoramento regular para a qualidade e ecologia da água subterrânea.

Tabela 5.8. Exemplos de remediação

Método de proteção ambiental	Detalhe	Imagem	Fonte
Paisagismo	Pedreiras, fossas, minas e resíduos de minas passam por paisagismo para reduzir encostas e que são plantadas com vegetação para minimizar a erosão		A antiga mina de urânio Jackpile-Paguate em Laguna Pueblo, a oeste de Albuquerque, EUA
Recuperação	Minas a céu aberto podem ser recuperadas para uso agrícola		Mina de carvão a céu aberto em terreno recuperado da mina de carvão North Antelope Rochelle, Wyoming, EUA

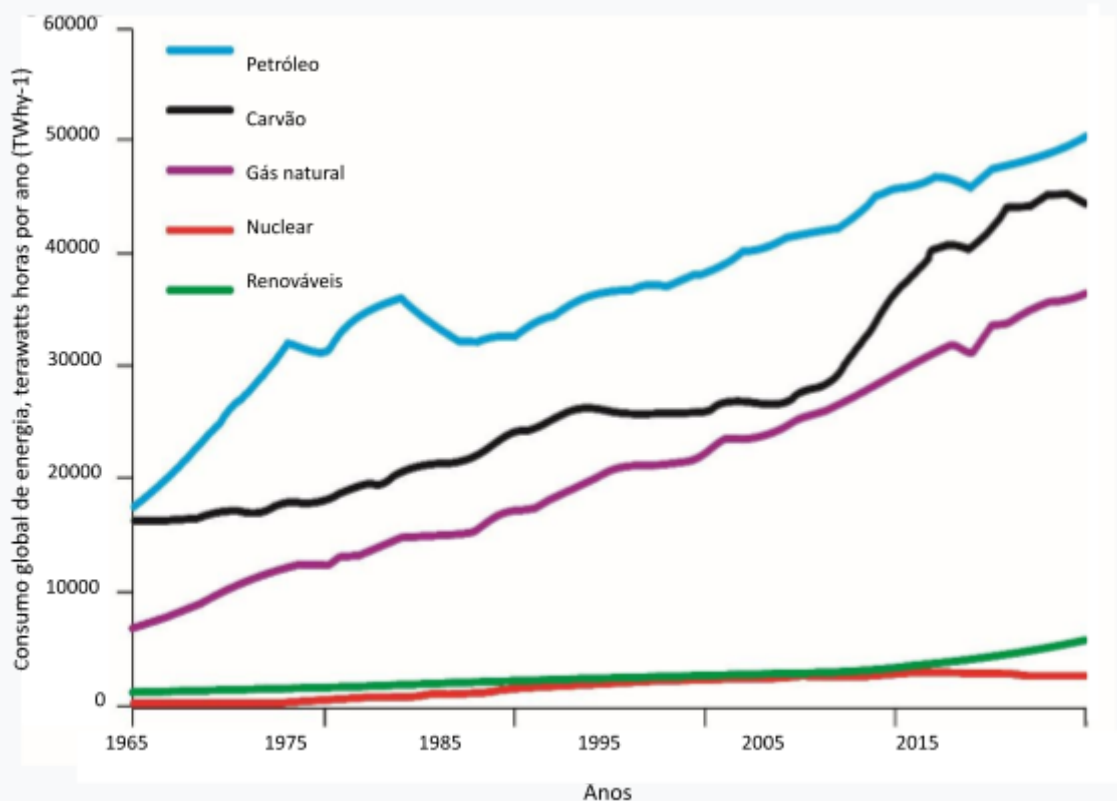
Tabela 5.8. Exemplos de remediação, continuação

Método de proteção ambiental	Detalhe	Imagem	Fonte
Preservação	Partes do antigo local de extração podem ser preservadas por seu valor histórico		Construção de forno preservado em uma antiga mina de zinco, chumbo e enxofre, Co. Tipperary, Irlanda
Novo uso	As cúpulas do projeto Eden, cultivando plantas de todo o mundo - situado em uma antiga pedreira de porcelana		O Projeto Éden na Cornwall, Inglaterra
Trabalho de campo	As faces das rochas em locais de pedreiras antigas têm uma variedade de usos científicos e educacionais		Trabalho de campo do aluno em Apes Tor, uma antiga pedreira de calcário, Staffordshire, Inglaterra

5.2 Suprimentos de energia

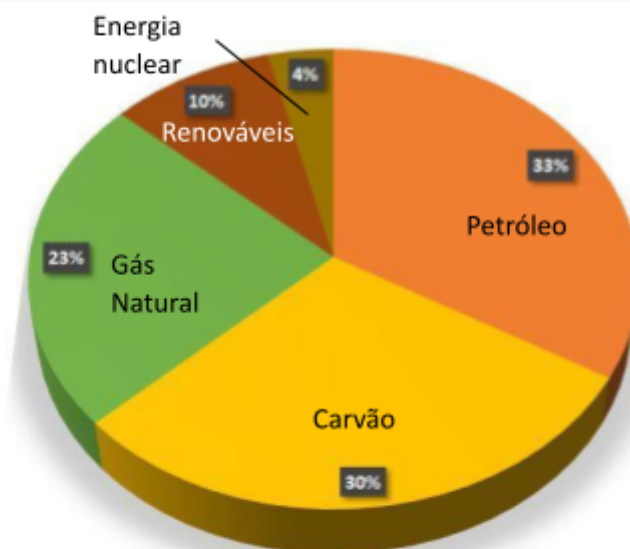
A Figura 5.5 mostra como o consumo mundial de energia a partir de diferentes fontes mudou desde 1960 com o aumento da energia advinda do petróleo, gás e fontes renováveis. Recentemente, a energia nuclear apresentou um ligeiro declínio e o carvão, um declínio mais acentuado.

Figura 5.5. Consumo global de energia; dados da revisão estatística da BP sobre energia mundial.



A figura 5.6 é um gráfico de pizza das figuras recentes, evidenciando que mais de 85% do consumo de energia atual no mundo vem de combustíveis fósseis, 10% de fontes renováveis e apenas 4% de energia nuclear.

Figura 5.6. Consumo global de energia; dados da revisão estatística da BP sobre energia mundial.



Apesar das tentativas ao redor do mundo para reduzir o uso de combustíveis fósseis e mudar para fontes renováveis de energia, dados recentes ainda mostram a importância e o uso crescente de fontes de combustíveis fósseis. Dessa forma, nas condições atuais, certamente levará muito tempo para reverter essa tendência.

5.2.1 Energia a partir de combustíveis fósseis

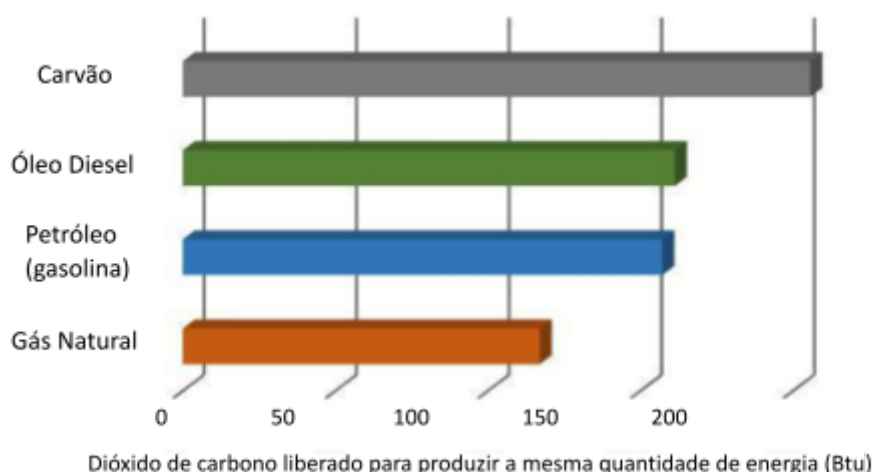
A maioria das usinas de produção de eletricidade queima combustíveis fósseis, carvão, petróleo ou gás natural. Todos estes também são comumente utilizados para produzir químicos e outros produtos industriais, incluindo plásticos.

O petróleo, uma vez refinado, é a principal fonte de energia para veículos rodoviários e ferroviários, e o único combustível usado em transporte comercial aéreo e marítimo.

Há uma pressão global para reduzir o uso de combustíveis fósseis e substituí-los por energias renováveis em razão da influência da queima de combustíveis fósseis nas mudanças climáticas. A ligação entre o dióxido de carbono, o efeito estufa e mudanças climáticas foram explicados na Seção 4.3.3.

O gráfico da Figura 5.7 mostra que o combustível que mais produz dióxido de carbono quando queimado é o carvão. A queima de carvão também libera mais poluentes do que outros combustíveis fósseis. Estes incluem gases de dióxido de enxofre e óxido nítrico bem como partículas de fumaça e cinzas. Globalmente, há movimentos para fechar usinas de energia movidas a carvão e substituí-las por usinas de gás natural, porque a queima de gás natural libera apenas pouco mais da metade da quantidade de dióxido de carbono que o carvão produz, e também reduz consideravelmente a quantidade de outros poluentes.

Figura 5.7. As quantidades de dióxido de carbono liberadas pela queima de diferentes combustíveis fósseis para produzir a mesma quantidade de energia.



Os combustíveis fósseis não são renováveis. Isso significa que embora as condições para a formação de matéria orgânica e a conversão em combustíveis fósseis ao longo do tempo existe hoje, isso está acontecendo muito mais lentamente do que os combustíveis fósseis estão sendo extraídos. Portanto, chegará um momento em que a maior parte dos combustíveis fósseis na Terra terão sido extraídos - o que significa que a extração posterior se tornará muito mais difícil e cara.

É por esse motivo que os combustíveis fósseis não são renováveis e, por serem ainda, poluentes, há um movimento global em direção aos recursos renováveis energéticos.

5.2.2 Energia renovável

As fontes de energia renovável são substituídas pelo menos tão rápido quanto são usadas e, portanto, continuarão disponíveis no futuro. Elas também não liberam poluentes durante o uso, embora possam ter outros efeitos. Por essas razões, há um crescimento global no desenvolvimento e crescimento de fontes de energia renováveis. Figura 5.8 mostra que a fonte de energia renovável mais amplamente utilizada hoje é a hidrelétrica, seguida pela energia solar, bioenergia e energia eólica (Tabela 5.9). As fontes geotérmicas e provenientes das marés geram apenas pequenas quantidades de energia globalmente, enquanto que a energia das ondas permanece em estágio experimental.

Figura 5.8. Produção recente de energia de diferentes fontes renováveis; dados do relatório de status global REN21, Tabela R1.

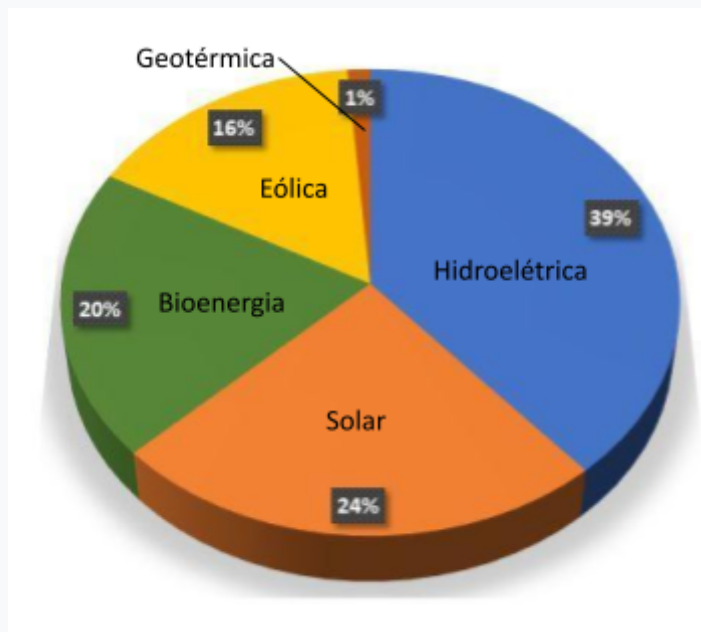
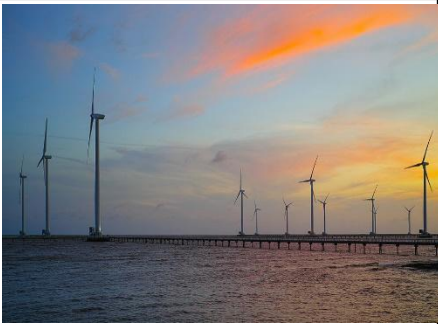


Tabela 5.9. Fontes de energia renováveis, desde a fonte que produz a maior parte da energia global no topo da tabela, até a que produz a menor parte, no inferior da tabela.

Fontes Renováveis de Energia	Detalhes	Imagem	Fontes
Hidroelétrica	Hidroeletricidade é gerada por construção de barragens para criar reservatórios e canalizando água em turbinas para produzir eletricidade quando esta flui para fora do reservatório.		Um canal hidroelétrico correndo do lago Reservatório Pukaki, Nova Zelândia, para as turbinas da estação de energia.
Solar	Matrizes de energia solar com os painéis angulados para coletar o máximo de energia solar.		PS20 e PS10, usinas de energia solar em Andaluzia, na Espanha.
Bioenergia	A maior parte da Bioenergia é gerada pela queima de biomassa (especialmente cultivada em áreas agrícolas ou por resíduos orgânicos) para produzir eletricidade, mas plantações são usadas para produzir biocombustíveis para transporte.		Distrito de biomassa, planta de aquecimento perto Steinfelde, Ternitz, Baixa Áustria - abastecimento de madeira de combustível no fundo
Eólica	Os parques eólicos são construídos em grupos de turbinas de vento, seja em terra ou no mar.		Uma fazenda de vento no mar, Bạc Liêu, Vietnã.
Geotérmica	Energia geotérmica é gerada em regiões vulcânicas, onde é normalmente chamada de energia hidrotérmica; também é extraída de rochas quentes em outras áreas.		Nesjavellir energia hidrotérmica planta em Thingvellir, Islândia.

Marés	A força das marés está sendo gerada em uma pequena escala em vários países, mas, até agora, não há marés comerciais em grande escala para usinas de energia.		Modelo do Kislogubskaya, usina de energia de maré na Península Kola, Rússia do norte.
Ondas	A energia das ondas ainda não está sendo usada comercialmente em grande escala, mas geradores de pequena escala estão sendo testados.		Uma das três máquinas Pelamis estourando uma onda no Onda Aguçadoura, Parque Portugal.

Dois dos problemas com algumas fontes de energia renovável são que sua produção é variável, e atualmente não tem um método para armazená-la em grande escala. Então, nos dias em que há pouco sol (solar), ventos são leves ou muito fortes (energia eólica), as correntes das marés são reduzidas (durante a maré baixa) ou as ondas são menores (energia das ondas), alguma outra fonte de energia é necessária para fornecer um suprimento de "carga básica" regular. O suprimento de "carga base" em grande escala tem sido tradicionalmente fornecido por combustíveis fósseis e fontes nucleares que podem ser ligados e desligados facilmente de acordo com a necessidade.

Embora as fontes de energia renováveis sejam renováveis e não gerem poluição durante o uso, todas têm impacto ambiental, pois utilizam matéria-prima e energia durante a construção. Algumas são criticadas por outros motivos, assim como a geração de energia hidrelétrica, que requer a construção de grandes barragens e a inundação de vales por reservatórios; os painéis solares que se utilizam de elementos caros de terras raras em sua construção; as *biomassas* cultivadas em terras que podem ser úteis para outros tipos de agricultura; e as turbinas eólicas são caras quanto sua construção; algumas pessoas pensam que as vistas de turbinas eólicas melhoram o meio ambiente, e outros o oposto.

Caixa 5.5. A energia geotérmica é renovável?

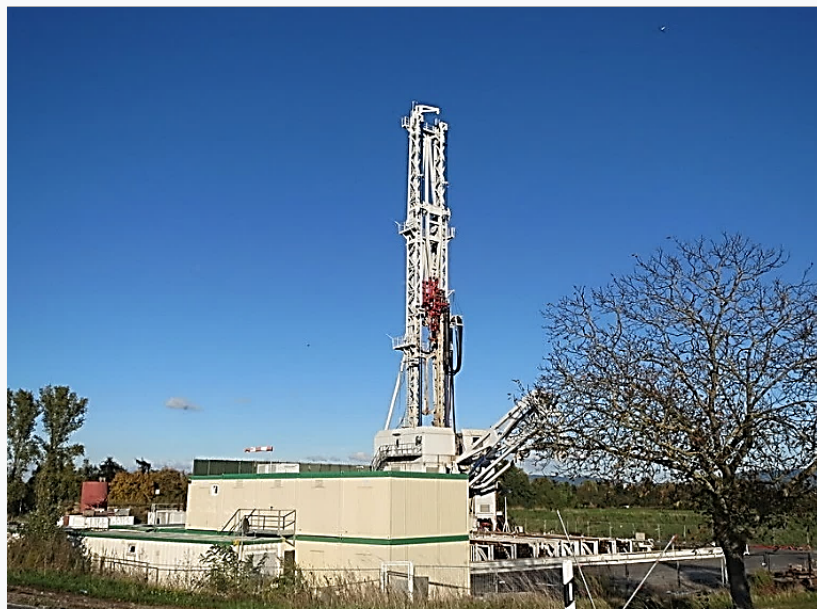
A energia geotérmica pode ser obtida de três diferentes situações geológicas:

- Onde as rochas ígneas em grandes profundidades se tornaram quentes devido ao decaimento dos minerais radioativos que elas contêm: dois furos perfurados e uma rocha entre eles

fraturada; a água é bombeada por um poço, aquece à medida que flui através das fraturas e é extraída do segundo orifício; o calor é retirado da água quente e reciclado sendo bombeado novamente para baixo. Essa é a energia geotérmica da rocha quente e seca.

- Onde existem aquíferos subterrâneos profundamente enterrados: o calor das profundezas da Terra tem aquecido a água, e ela vem permanecendo quente por causa das espessas camadas isolantes de sedimentos. Essa água quente é bombeada e reciclada, da mesma forma como foi descrito acima. Essa é a energia geotérmica da rocha quente e úmida.
- Em áreas de atividade vulcânica: as águas aquecidas por câmaras de magma abaixo tornam-se quentes e podem subir das profundezas em piscinas quentes e gêiseres; essas águas quentes podem ser extraídas por furos de sondagem e usadas para conduzir turbinas em usinas hidrotérmicas. Essa é a energia hidrotermal.

Tanto nas rochas quentes e secas quanto nas quentes e úmidas, o calor acumulou-se ao longo de muitos milhares de anos e é extraído muito mais rápido do que pode ser substituído, portanto, esses tipos de energia geotérmica não são renováveis. Onde existem usinas hidrotérmicas, o calor é normalmente extraído em taxas mais rápidas do que está sendo renovado. Essas estações de energia devem, eventualmente, fechar e novas serão abertas em outro lugar no campo hidrotermal; portanto, essa energia também não é extraída de maneira renovável.



Usina hidrotérmica de perfuração, Brühl, oeste da Alemanha

Nota: a energia retirada do solo por bombas de calor de fonte subterrânea local também é, às vezes, chamada de energia geotérmica; no entanto, a maior parte da energia extraída desta forma vem do aquecimento da superfície da terra pelo sol e não de fontes

subterrâneas de calor. Este é um recurso renovável, embora precise de alguma eletricidade para operar o sistema.

6.0 Interações do sistema Terra / Humano

Sem as interações do sistema terrestre, a vida na Terra em geral e a vida humana em particular não poderiam existir. Então, embora muitas das interações abaixo tenham efeitos negativos ou mesmo devastadores, não devemos esquecer que sem a combinação de atmosfera e oceano, rochas e solos, planaltos e planícies, e as outras características dos Sistemas terrestres, a vida como a conhecemos não seria possível.

6.1 Riscos Naturais

Os processos naturais tornam-se **perigosos** apenas quando vidas humanas e propriedades estão em risco; se houver um deslizamento de terra em uma região remota, é apenas um deslizamento de terra, não um perigo. A melhor maneira de lidar com um risco natural é garantir que pessoas não vivam em áreas perigosas, o que compete às autoridades de planejamento. Onde isso não for possível, outras medidas são tomadas para reduzir ou **mitigar** o risco.

6.1.1. Erupções

Quando o magma ascendente atinge a superfície da Terra, ele entra em erupção; algumas erupções são bastante seguras e espetaculares, mas outras são catastroficamente perigosas. A diferenciação entre os tipos de atividade vulcânica depende principalmente da fluidez (viscosidade) do magma. Quando o magma atinge a superfície e entra em erupção, não é mais chamado de magma: isto é fluído de vulcões como lava ou é explodido como cinza fina, blocos sólidos maiores ou "bombas" de lava líquida (Figura 6.1.).

Figura 6.1. 'Bombas' de lava líquida explodiram à noite perto do vulcão Stromboli, perto da Sicília, Itália, 2013.



A viscosidade do magma depende de sua composição química, sua temperatura e quanto gás vulcânico e cristais ele contém. Seções 4.1.2.3. (Processos ígneos) e 4.1.4. (Placas tectônicas) mostram que margens de placa diferentes geralmente têm magmas com composições diferentes.

Os magmas mais comuns nas margens de placa construtiva são os magmas ricos em ferro/magnésio que produzem basaltos. Nas zonas de subducção, os magmas menos ricos em ferro (intermediários) que produzem lavas de andesito são mais comumente causadores das erupções, embora magmas ricos em silício às vezes também entrem em erupção. O equilíbrio entre a composição de ferro/magnésio e silício altera a fluidez: magmas basálticos ricos em ferro/magnésio são os mais fluidos (baixa viscosidade) estando em uma extremidade da escala, enquanto que os magmas ricos em silício são os menos fluidos (altamente viscosos) estando na outra extremidade. Magmas basálticos também são geralmente os mais quentes, e quanto mais quente o magma, menos viscoso ele é. Magmas basálticos também tendem a conter poucos cristais, aumentando sua fluidez. Quando o magma contém muito gás, isso o torna mais fluido também, embora os magmas basálticos geralmente não contenham muito gás. Então, em resumo, magmas basálticos ricos em ferro/magnésio são de fluxo livre com baixa viscosidade, enquanto que intermediários e magmas ricos em silício são mais pegajosos e possuem alta viscosidade.

Quando o magma basáltico líquido irrompe como lava, ele jorra do solo ao longo de longas fendas superficiais ou através de aberturas vulcânicas e podem ser pulverizados no ar como fontes de lava espetaculares. Rios de lava podem fluir sobre o chão ou mover-se mais lentamente à medida que as massas de blocos avançam. Essas são erupções espetaculares e que são geralmente bastante seguras se você não chegar muito perto.

A erupção do magma intermediário e rico em silício é muito diferente. Ele irrompe de aberturas, às vezes como lava, mas geralmente o magma se torna sólido dentro da abertura vulcânica, dando erupções muito mais explosivas, como mostrado na Tabela 6.1.

Tabela 6.1. Processos vulcânicos e seus efeitos.

Processos Vulcânicos	Descrição		Imagem	Fontes
Erupção de lava	Geralmente baixa viscosidade	A lava pode espirrar de fraturas como fontes de lava, fluindo como rios de lava descendo as encostas do vulcão; estas lavas de fluxo rápido resultam em vulcões rasos ou, se debaixo d'água, em “pillow” lavas		Fontes de Lava e fluxo de lava, Havaí, 2004.
Explosão lateral	Geralmente alta viscosidade; magma solidifica na ventilação levando a erupção explosiva	Quando uma erupção irrompe lateralmente em vez de para cima, pode produzir uma explosão lateral que devasta centenas de quilômetros quadrados do país na direção da explosão.		Árvores grandes achatadas pela explosão do monte St. Helens, 1980.
Cinza/bloco de erupção		Plumas de cinzas vulcânicas são expelidas na atmosfera. Blocos sólidos também são expulsos e chovem para baixo produzindo um vulcão cônico de lados íngremes. As cinzas podem ser levadas para longe pelo vento.		Cinzas do Monte Santa Helena, Washington, EUA, 1980.

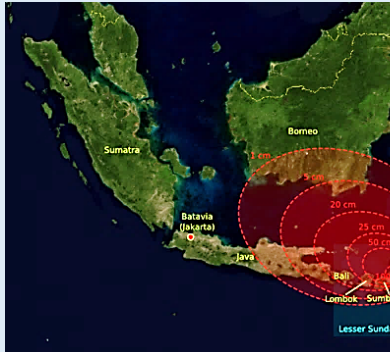
Nuvens brilhantes/ Fluxo piroclástico		As nuvens de cinzas vulcânicas em erupção podem fluir em alta velocidade pelas laterais dos vulcões como correntes de alta densidade de temperatura chamadas <i>nuée ardentes</i> (nuvens brilhantes) ou fluxos piroclásticos		<i>Nuvens brilhantes</i> , fluindo baixa Mayon Vulcão, em Filipinas, 1984.
Fluxo Lahar	Geralmente alta viscosidade; magma solidifica-se na ventilação levando a uma erupção explosiva	Quando a cinza vulcânica é coletada pela água de um lago da cratera, gelo/neve derretida em um pico vulcânico ou uma tempestade relacionada à erupção, ela flui colina abaixo como concreto em alta velocidade, às vezes por muitos quilômetros		Lahar soterrando casas perto do vulcão Galunggung, Indonésia, 1983.

O Índice de Explosividade Vulcânica mede a explosividade das erupções vulcânicas, variando de não explosivas a mega-colossal, conforme mostrado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2. Erupções de acordo com o Índice de Explosividade Vulcânica (VEI), mostrando altura da pluma (m), volume de material ejetado (m³) e aproximadamente com que frequência esse tipo de erupção ocorre (frequência global).

VEI	Descrição	Altura da pluma	Imagem	Fontes
		Volume		
		Frequência global		
0	Não explosivo	< 100m altura		Lava brilhante fluindo do cone vulcânico do Pu'u 'Ō, Kilauea, Havaí, 1997.
		1000s m ³ volume		
		Contínua		

1	Suave	100-1000m altura		Erupção do Stromboli à noite; bombas vulcânicas com disparos de 100 m no ar, Itália, 1980.
		10,000s m ³ volume		
		Diária		
2	Explosiva	1-5km altura		Erupção do Monte Sinabung, Medan, Indonésia, que matou as vinhas no primeiro plano, 2014.
		1.000.000s m ³ volume		
		Semanal		
3	Intensa	3-15km altura		Nevado del Ruiz; este lahar de cinzas estouradas enterrou a cidade de Armero no Centro, Columbia, 1985.
		0,01km ³ volume		
		Mensal		
4	Cataclísmico	10-25km altura		Erupção de pluma do Vulcão Calbuco, próximo a Puerto Varas, Chile, 2015.
		0,1km ³ volume		
		2 anos		
5	Paroxísmico	> 25km altura		Visualização de satélite de 800km de comprimento da pluma de cinzas de 2011 no Puyehue Cordón, Chile.
		1km ³ volume		
		10 anos		

6	Colossal	> 25km altura		Pluma de cinzas do Pinatubo, durante erupção no ano de 1991, nas Filipinas.
		10 km ³ /s volume		
		50 – 100 anos		
7	Super-colossal	> 25km altura		Área estimada coberta pela queda de cinzas da erupção de Tambora, Indonésia, 1815
		100 km ³ /s volume		
		500 – 1000 anos		
8	mega-colossal	> 25km altura		A enorme cratera (caldeira) vulcânica de três erupções de Yellowstone, Wyoming, EUA. (a mais recente há 630.000 anos atrás).
		1000 km ³ /s volume		
		> 50.000 anos		

Pode ser difícil imaginar o que grandes erupções podem realmente significar para as pessoas que vivem nas proximidades, ou para entender como elas podem afetar toda a Terra, mas os estudos de caso de erupções particulares dão uma ideia.

Caixa 6.1 – A colossal erupção do vulcão Krakatoa, 1883.

A erupção VEI 6 de Krakatoa na Indonésia foi a primeira erupção colossal relatada globalmente, graças as novas linhas telegráficas globais da época e às notícias difundidas em jornais, como o The Times em Londres.

Erupções vulcânicas em Java

BATAVIA, Agosto de 1927

Terríveis detonações na ilha vulcânica de Krakatoa foram ouvidos ontem à noite, e foram audíveis até Soerakarta, chuvas de cinzas caindo até Cheribon. Os flashes do vulcão são claramente visíveis daqui. Serang está agora na escuridão total. Pedras têm caído naquele lugar. Batavia também está quase em Trevas. Todas as lâmpadas de gás foram apagadas durante a noite. É impossível comunicar com Anjer e teme-se que alguma calamidade aconteceu lá. Algumas pontes entre Anjer e Serang foram destruídas e uma aldeia perto do antigo local foi arrastada, os rios transbordaram com a agitação do mar para o interior.

O jornal The Times no dia seguinte mostra como a escala da tragédia começou a se desdobrar, com notícias de diferentes fontes que começaram a chegar.



Impressão do artista desenhada logo após a erupção

A escala total do desastre só ficou mais clara mais tarde, quando muitas outras histórias da erupção foram coletadas localmente, geólogos examinaram a área, e observações de cientistas de todo o mundo foram coletadas.

As investigações mostraram que:

- quase três quartos da pequena ilha de Krakatoa foram destruídos na erupção final;
- quase 40.000 pessoas foram mortas pela erupção e os tsunamis que ela produziu;
- uma nuvem de cinzas foi vista elevando-se 27 km no ar;
- pedaços de pedra-pomes com 10 cm de largura caíram no convés de navios a mais de 20 km de distância;
- enormes ilhas de pedra-pomes flutuaram no oceano por meses;
- cerca de 20km³ de material entrou em erupção;
- pessoas ouviram a explosão a até 4.800km de distância, na Ilha Rodrigues, no Oceano Índico (onde o governador pensou que deveria haver uma batalha marítima no mar) e nas cidades australianas de Perth e Alice Springs;
- esta explosão foi o som mais alto ouvido na Terra nos últimos dois séculos;
- os tsunamis resultantes tinham mais de 30 m de altura;
- pequenas ondas de tsunami foram registradas no Canal da Mancha, do outro lado do globo;
- a onda de choque atmosférico foi registrada em todo o mundo, circulando o globo várias vezes;

- as cinzas subiram 80 km de altura na atmosfera e afetaram os padrões climáticos globais durante anos;
- as cinzas foram carregadas pela atmosfera superior pela corrente de jato, primeira vez que isso foi visto;
- no ano seguinte, as temperaturas globais no hemisfério norte caíram cerca de 1,2°C como a luz do sol foi refletida de volta ao espaço pelas nuvens de alto nível produzidas pelos gases vulcânicos liberados;
- as cinzas produziram pores do sol espetaculares em todo o mundo por vários meses e o Sol e a lua às vezes apareciam em cores estranhas;
- acredita-se que a energia liberada pela erupção tenha sido cerca de quatro vezes a potência da maior bomba nuclear que já explodiu.

Essas observações dão uma boa ideia de como é realmente uma erupção "colossal".



Pinturas do céu no "resplúcio" causado pelas cinzas da erupção do Krakatoa em 1883, por William Ascroft

Caixa 6.2. Uma erupção mega-colossal - erupção Oruanui, há cerca de 25.360 anos atrás.



Impressão artística da erupção Oruanui vista do espaço

A mega colossal erupção Oruanui do vulcão Taupo é a erupção IEV (Índice de Explosividade Vulcânica) 8 mais recente a afetar a Terra. A erupção ocorreu há cerca de 25.000 anos, muito antes dos humanos colonizarem a Nova Zelândia. Ainda bem, porque a erupção provavelmente devastou toda a Nova Zelândia. Uma vez que não temos histórias de testemunhas oculares da erupção, temos que basear nossas ideias de como foi a erupção nas evidências geológicas. Isso mostra que:

- 1170 km³ de material rico em silício foram ejetados, quase 60 vezes a quantidade de material que entrou em erupção pelo Krakatoa em 1883;
- 430km³ de cinzas explodiram no céu, caindo sobre a maior parte da Nova Zelândia como depósitos de cinzas espessas; 18 cm de espessura de cinzas foram registradas em ilhas a 1000 km de distância;
- 320km³ de cinzas irromperam lateralmente em nuvens ardentes, deixando depósitos de até 200m de espessura;
- a câmara magmática colapsou formando uma enorme cratera (caldeira) com mais de 30 km de diâmetro, agora preenchida pelo Lago Taupo;
- o curso do rio Waikato mudou de forma, agora ele atinge o mar na costa oeste da Ilha do Norte, ao invés da costa norte.

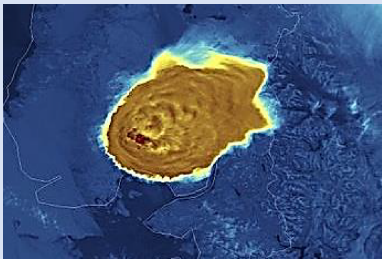
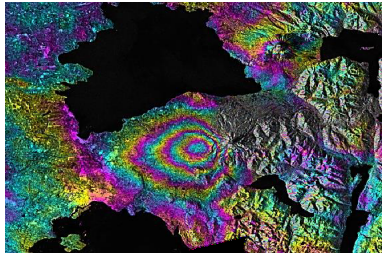
Foi assim que a área da Nova Zelândia foi afetada, mas não há registros dos impactos no resto da Terra porque a erupção aconteceu muito antes da escrita ser inventada. Estando no centro da Ilha do Norte, a erupção pode não ter produzido tsunamis, mas a erupção de grandes quantidades de cinzas e gás vulcânico na atmosfera deve ter tido efeitos climáticos mundiais. Se a erupção IEV 7 de Tambora na Indonésia em 1815 produziu um “ano sem verão” e fome na Europa, os efeitos globais da erupção IEV 8 de Oruanui só podem ser imaginados, uma vez que talvez tenha expelido dez vezes a quantidade de cinzas e gás vulcânico para a atmosfera.

Erupções de vulcões de alta explosividade podem ser tão devastadoras que os cientistas vêm trabalhando há muitos anos para prevêê-las. Uma ampla gama de diferentes métodos de monitoramento de vulcões foi testada; alguns deles são descritos na Tabela 6.3. O problema de todos esses métodos é que eles podem mostrar que uma erupção é provável, levando à evacuação das áreas circundantes, apenas para que os sinais desapareçam novamente, sem qualquer erupção. Depois disso, é menos provável que as pessoas obedeçam à próxima ordem de evacuação. Portanto, embora saibamos que ocorrerão erupções de vulcões atualmente ativos, prever a hora e a escala exatas das erupções continua sendo uma tarefa muito difícil.

Tabela 6.3. Métodos usados para monitorar erupções vulcânicas.

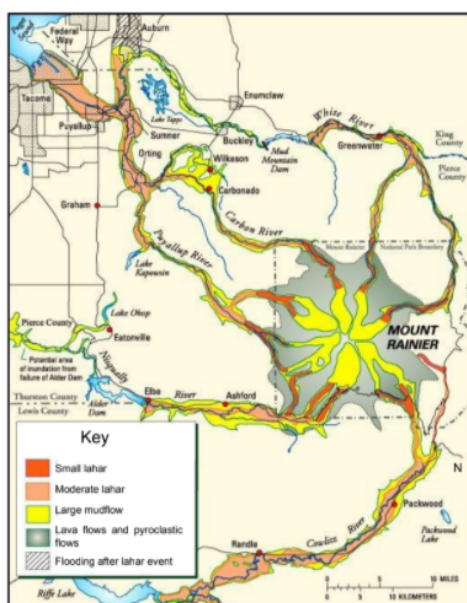
Método de monitoramento de erupção	Descrição	Imagem	Fonte
Sismicidade	Diferentes tipos de tremores de terra podem ser produzidos na formação de erupções vulcânicas, incluindo os tremores harmônicos que acreditam serem produzidos pelo fluxo de magma subterrâneo.		Terremotos ligados à erupção do Eyjafjallajökull em 2010 na Islândia.
Emissão de gases	A liberação de gás pode aumentar ou diminuir antes das erupções vulcânicas, dando pistas para erupções futuras.		Enxofre amarelo em um respiradouro de gás vulcânico; gás sendo monitorado por um sensor, Ilha Branca, Nova Zelândia.
Deformação do solo	O inchaço de um vulcão mostra que o magma está se acumulando próximo à superfície. Isso pode ser monitorado medindo como a posição de uma estação muda, usando o Sistema de Posicionamento Global (GPS), e também medindo mudanças na inclinação, usando medidores de inclinação e na tensão, usando medidores de tensão.		Estação de monitoramento GPS, vulcão Piton de la Fournaise, Ilha Réunion, Oceano Índico.

Tabela 6.3. Métodos usados para monitorar erupções vulcânicas, continuação

Método de monitoramento de erupção	Descrição	Imagem	Fonte
Monitoramento térmico	O movimento do magma, a liberação de gás e a atividade hidrotérmica podem aquecer um vulcão antes de uma erupção; isso pode ser detectado por satélites e no solo. As medições do solo podem medir a temperatura da superfície diretamente, ou monitorar mudanças em fontes termais ou poços de água.		Imagem térmica; alto fluxo de calor (vermelho, marrom e amarelo) na cratera de Calbuco no Chile, 2015, contra o fundo azul frio da terra.
Sensoriamento remoto	Os satélites podem monitorar a temperatura, como acima, e também a deformação do solo, bem como a liberação de gases vulcânicos e a erupção de nuvens de cinzas produzidas por vulcões.		Deformação do solo mostrada em uma imagem de satélite em cores, ligada à erupção de Calbuco em 2015, Chile.

A maneira mais eficaz de mitigar ou reduzir o risco de erupções vulcânicas é o planejamento do uso da terra para impedir as pessoas de construírem em áreas perigosas. As áreas perigosas podem ser investigadas pesquisando-se geologicamente por sinais de erupções perigosas no passado e, em seguida, produzindo mapas de perigo (por exemplo, Figura 6.2).

Figura 6.2. Um exemplo de mapa de risco vulcânico - Monte Rainier, Estado de Washington, EUA - prevendo o que pode acontecer em uma grande erupção vulcânica.



Onde não é possível construir fora de áreas perigosas, então medidas são tomadas para se preparar para erupções danosas. Isso inclui monitoramento de vulcões e o preparo para respostas de emergência a alertas. A população é treinada para o que fazer em caso de emergência e são instalados sistemas de alerta à população. Os serviços de emergência são treinados para evacuação de pessoas e métodos de busca e salvamento. Os preparativos são feitos para ajudar as pessoas a lidar com a catástrofe de perder casas e propriedades e reconstruir assentamentos no mesmo lugar ou em outro.

Onde sistemas como esses foram configurados, foram bem-sucedidos. A mitigação da erupção colossal IEV 6 de 1991 em Pinatubo, nas Filipinas, salvou 5.000 vidas e 250 milhões de dólares em propriedades. A mitigação da erupção catastrófica IEV 3 em 1995 na ilha de Montserrat, nas Índias Ocidentais, salvou 11.000 vidas.

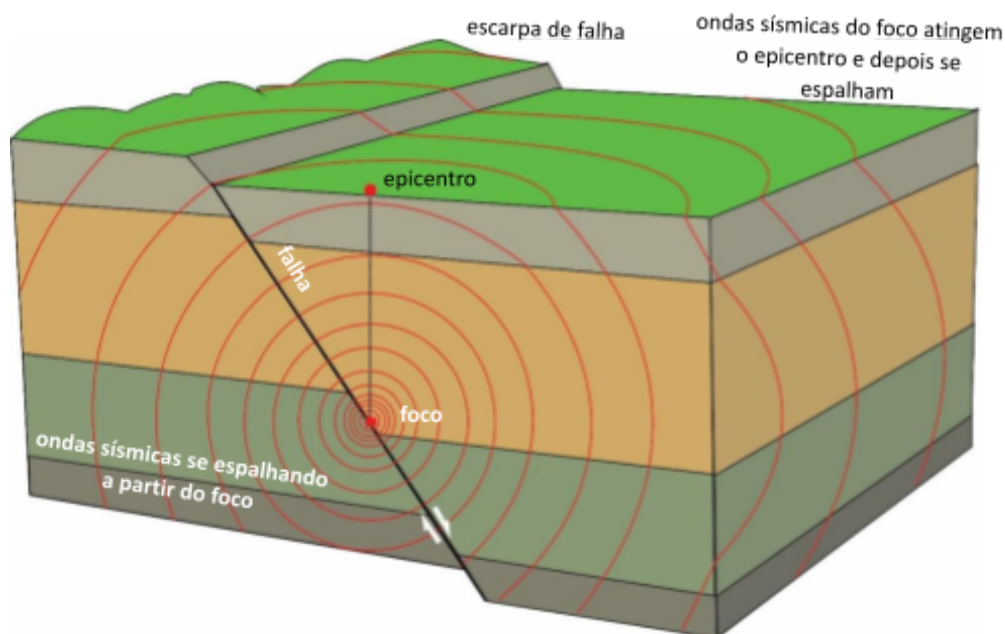
6.1.2 Terremoto

Grandes terremotos são causados por falhas, mas isso não ficou claro até os estudos de H. F. Reid em 1911. Antes disso, as pessoas tinham pouca ideia do que causava os terremotos, então não é surpreendente que muitos mitos e histórias tenham surgido em todo o mundo para explicar esses eventos catastróficos.

As pressões na Terra aumentam até que as rochas subterrâneas se rompam ao longo de uma falha, quando os dois lados se movem. O ponto de fratura, onde há mais movimento, é o **foco** (ou hipocentro). A quebra repentina produz ondas de choque que se irradiam em todas as direções como ondas de terremoto. As ondas de choque que viajam pela Terra são chamadas de **ondas sísmicas**.

Onde as ondas de choque atingem a superfície da Terra, diretamente acima do foco, o terremoto é mais forte e há mais danos; este é o **epicentro** (Figura 6.3). As ondas de choque irradiam pela superfície da Terra a partir do epicentro, como ondulações em um lago, reduzindo sua potência enquanto o fazem. Normalmente, a maioria dos danos do terremoto acontece no epicentro, embora outros fatores, como a resistência do solo e das fundações, possam causar mais danos em alguns lugares do que em outros.

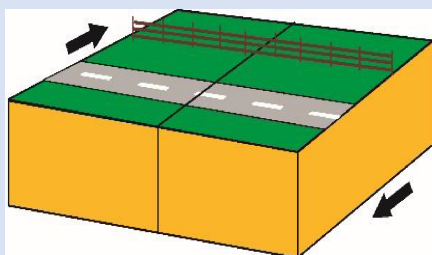
Figura 6.3. Um terremoto produzindo ondas sísmicas



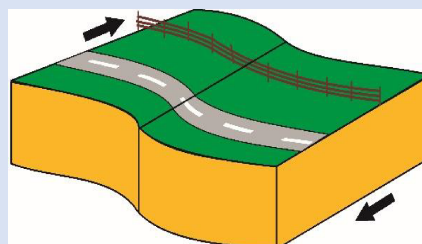
Caixa 6.3. A teoria do rebote elástico

Uma teoria científica para explicar os terremotos foi desenvolvida em 1911 por H. F. Reid, estudando partes da falha de San Andreas na Califórnia, EUA. Ele traçou o movimento dos pontos em cada lado da falha e percebeu que a terra estava se movendo em direções diferentes em cada lado da falha antes do terremoto. À medida que a pressão aumentava, o terreno dos dois lados se dobrou. Finalmente, não conseguiu dobrar mais e a falha quebrou, enviando ondas de choque em um terremoto. Ele chamou isso de “teoria do rebote elástico”; porque o solo se recuperou elasticamente quando a falha se moveu.

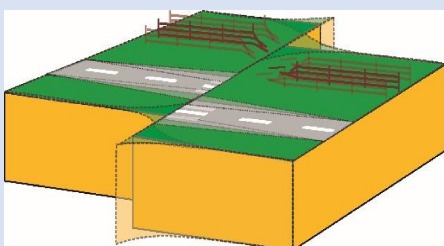
1. A cerca e a estrada são construídas sobre falha bloqueada



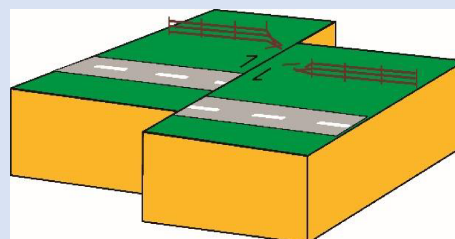
2. A pressão aumenta, a rocha, a cerca e a estrada são curvadas



3. A falha quebra repentinamente, a rocha ricocheteia elasticamente causando um terremoto



4. Após o terremoto, a falha mudou, a cerca e a estrada estão retas novamente, mas estão quebradas na falha.



Movimento do solo na “teoria do rebote elástico” de H. F. Reid

Pequenos terremotos, geralmente chamados de tremores de terra, são tão pequenos que só podem ser detectados por dispositivos de detecção sísmica chamados **sismógrafos**. Os sismógrafos são tão sensíveis que podem detectar as vibrações de caminhões ou trens pesados, explosões de pedreiras e até mesmo o grito da multidão quando um gol é marcado em um estádio de futebol. Redes de sismógrafos foram localizadas em todo o mundo e mostram não apenas o tamanho do terremoto, mas também a localização de seu epicentro e a profundidade de seu foco. Este trabalho foi usado para mapear os locais e profundidades dos terremotos na Tabela 4.22, usada como evidência para a teoria das placas tectônicas.

Caixa 6.4. Sismógrafos

Os sismógrafos têm uma massa suspensa em seu interior, de forma que quando a Terra move o sismógrafo, a massa interna se move mais lentamente. A diferença entre o movimento do sismógrafo e a massa interna é ampliada e registrada por uma caneta em um tambor que gira ao longo do tempo, ou como um registro eletrônico. Os sismógrafos externos geralmente são colocados em buracos no solo com o equipamento de registro por perto, incluindo equipamentos para enviar os dados a um laboratório de registro. Sismógrafos internos devem ser montados em pisos térreos de concreto; os andares superiores dos edifícios vibram muito. Os telefones

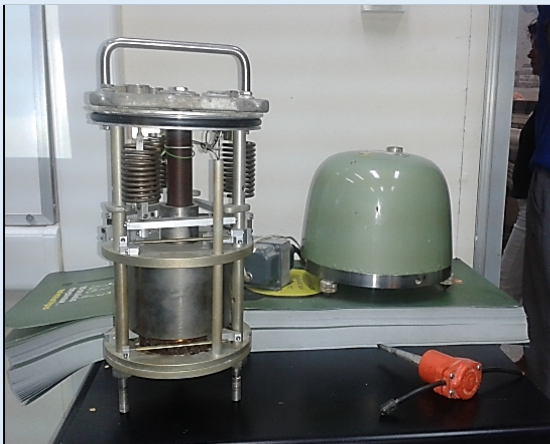
celulares modernos têm um sensor de vibração semelhante, que pode ser usado como um sismógrafo baixando o aplicativo correto.



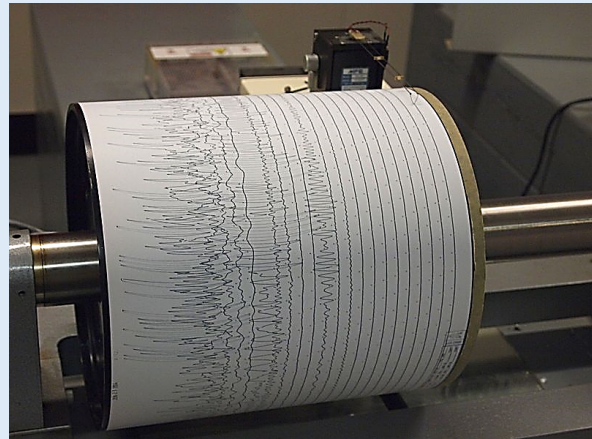
Equipamento de gravação para um de uma série de sismógrafo localizado em um buraco próximo, Golfo de Corinto, Grécia



Equipamento de gravação e fornecimento de energia reserva para um sismógrafo do Golfo de Corinto



Dois sismógrafos, um mais antigo à esquerda e um mais moderno à direita, Laboratório de Sismologia de Patras, Grécia



Registro no tambor de um sismógrafo

Sismógrafos podem medir a potência ou magnitude de um terremoto no epicentro. Isso costumava ser registrado usando a escala Richter, mas hoje em dia a escala de Magnitude Momento é usada. A potência de um terremoto em cada nível é dez vezes a magnitude do nível anterior do terremoto (Tabela 6.4).

Tabela 6.4. A escala Magnitude Momento.

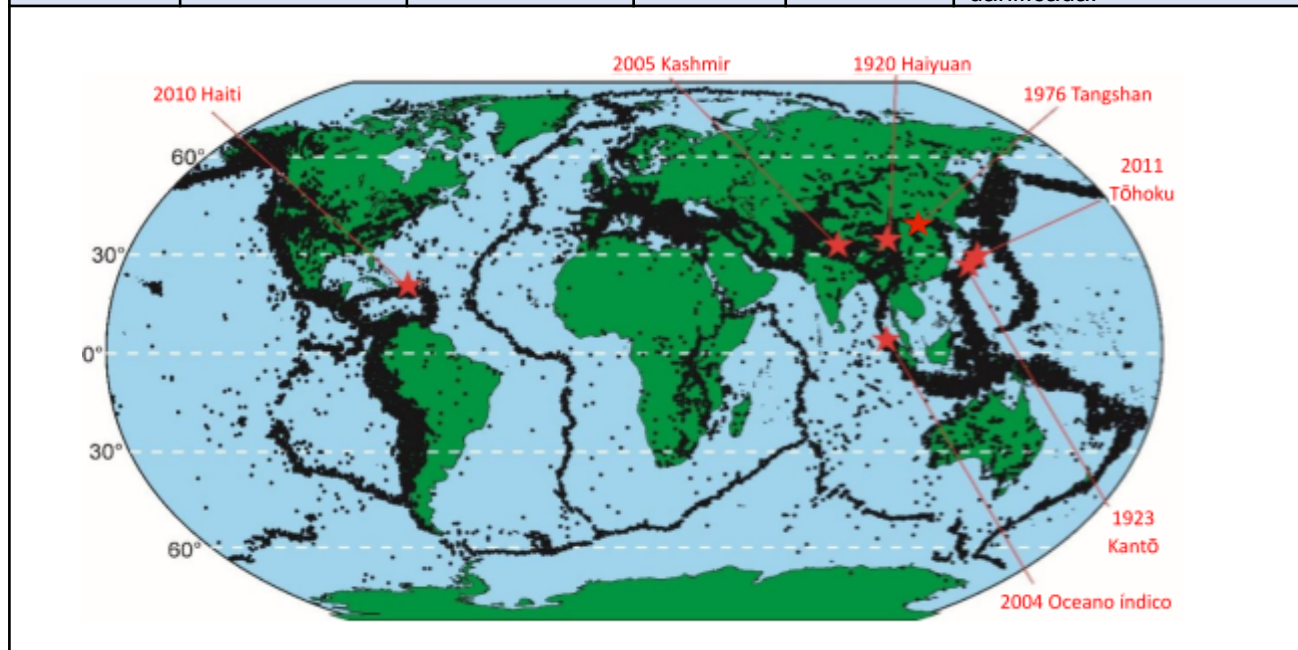
Magnitude Momento	Descrição	Danos	Número aproximado por ano
Menor que 3	Não é sentido pelas pessoas	Nenhum	Grande número
3 - 5	Menor	Pequeno	150.000
5 - 7	Moderado a forte	De leve a prejudicial	150
7 - 8	Maior	Grave	15
Maior que 8	Um "grande" terremoto	Catastrófico	1

O maior terremoto já registrado até agora foi um terremoto de magnitude 9,5 no Chile em 1960. Um terremoto de magnitude 10 nunca foi registrado.

Os detalhes de alguns grandes terremotos, registrados em ordem do número aproximado de mortes, são mostrados na Tabela 6.5.

Tabela 6.5. Alguns dos terremotos mais perigosos, de acordo com o número de mortes.

Terremoto	Data	Localização	Mortes	Magnitude	Comentário
Haiyuan	16 de dezembro de 1920	Ning-Gansu, China	Mais de 270.000	7.8	Tremores, fratura no solo e deslizamentos de terra.
Tangshan	28 de julho de 1976	Hebei, China	Mais de 240.000	7.8	Ampliação dos tremores por causa do solo macio.
Oceano Índico	26 de dezembro de 2004	Ilha de Sumatra, Indonésia	Mais de 230.000	9.2	A maioria das mortes foram causadas pelo tsunami.
Haiti	12 de janeiro de 2010	Mar do Caribe, Haiti	100.000 – 316.000	7.0	A pouca profundidade do foco causou forte tremor.
Kantô	1 de setembro de 1923	Kantô, Japão	Mais que 100.000	7.9	Tempestades de fogo causadas pelo terremoto causaram muitas mortes.
Kashmir	8 de outubro de 2005	Muzaffarabad, Paquistão	Mais que 85.000	7.6	Tremor forte
Tôhoku	11 de março de 2011	Ilha de Sendai, Japão	Mais que 15.000	9.0	A maioria das mortes foram causadas pelo tsunami; usina nuclear danificada.



A Tabela 6.5 mostra alguns dos diferentes fatores que podem tornar os terremotos tão perigosos. Na maioria dos terremotos, a principal causa de morte é o tremor da superfície do solo, causando o desabamento de edifícios. O tenente de polícia H. N. Powell descreveu isso durante o terremoto de 1906 em San Francisco: “A *Valencia Street* ... começou a dançar e se empinar e rolar em ondas como um mar agitado ... era impossível para um homem ficar de pé. ... As casas estavam rachando, dobrando e quebrando da mesma forma que a própria rua”. O tremor e a destruição podem ser muito piores quando o solo é macio, como quando os edifícios foram construídos em depósitos de lagos antigos ou em terreno recuperado.

Vale a pena lembrar o velho ditado: “*Não são os terremotos que matam as pessoas, mas os edifícios*”.

Falhas profundas podem às vezes atingir a superfície como fraturas, danificando grandes estruturas como pontes, barragens e usinas nucleares. Terremotos provocam deslizamentos de terra e avalanches em áreas com declives acentuados. A rede elétrica e de gás quebrada pode causar incêndios, que não podem ser controlados se a rede de água também estiver quebrada. Alguns terremotos causam tsunamis, que podem ser muito prejudiciais nas áreas costeiras. Todos esses fatores aumentam o risco dos terremotos.

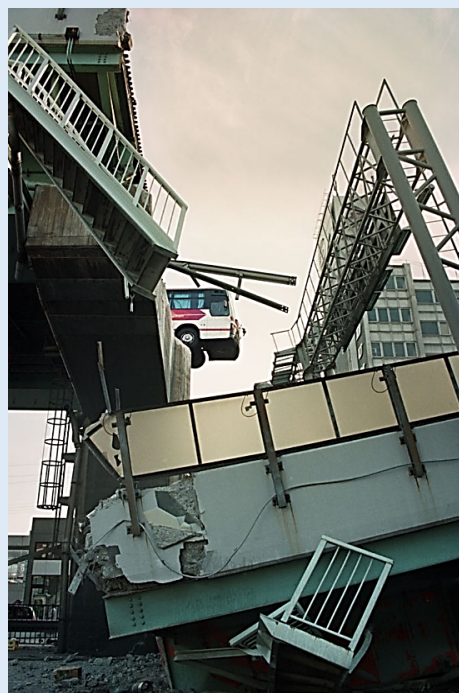
A Tabela 6.5 mostra que o número de mortes pode não estar intimamente ligado à magnitude de um terremoto. Onde terremotos atingem cidades modernas e cidades que se prepararam para eles, o número de mortos é geralmente muito menor do que terremotos em regiões menos desenvolvidas. Em áreas menos desenvolvidas, os edifícios podem ter sido mal construídos e a recuperação pode ser lenta devido ao colapso das comunicações e aos preparativos deficientes. Por exemplo, o número de mortos para o terremoto de magnitude 7,0 no Haiti em 2010, mostrado na Tabela 6.5, foi de mais de 100.000 porque a maioria dos edifícios era de concreto mal armado. Quando um terremoto de magnitude 8,8 muito maior atingiu o Chile no mesmo ano, o número de mortos foi de apenas 520, porque os códigos de construção resistentes a terremotos foram fortemente aplicados.

Caixa 6.5. O terremoto de Kobe, Japão, 1995 - magnitude 6,9.

Yasuyo Morita (17 anos), estudante do ensino médio de Akatsukayama

“Naquela época eu estava dormindo. Primeiro pensei que minha mãe estava me acordando, mas eu sabia pelo grito dela - é um terremoto! Eu não sabia o que fazer no escuro. A escada estava destruída, então desci usando uma escada, descalça e de pijama. Não pude evitar minhas lágrimas por causa da escuridão e da frieza. Eu estava em pânico. Existem muitas casas de madeira no meu bairro. Agora elas estão destruídas, sem piedade. Logo ficou mais claro e eu pude ver os arredores. Alguns ficaram loucos. Fui para o hospital com minha avó, que foi resgatada de um monte de entulho. Seu dedo estava se soltando. Chegamos ao hospital. Foi um inferno na terra. Um homem com a cabeça sangrando, uma criança - púrpura talvez por causa da sufocação. Estava cheio de pessoas. Minha avó foi desinfetada, só isso. Seu ferimento não era sério em comparação com outros. A casa da minha avó e a casa do meu avô, ambas foram queimadas. Não conseguíamos tirar nada. A cidade de que gosto mudou em um momento. Eu estava triste. Agora eu moro em um dos refúgios e fico com medo durante a noite. Quero ver Kobe reconstruída novamente em breve”.

De: <http://www.sln.org.uk/geography/7-11kobe.htm>



O terremoto atingiu a cidade de Kobe, no Japão, às 05h46 da manhã de 17 de janeiro de 1995, quando a maioria das pessoas ainda estava dormindo. O terremoto mediu 6,9 na escala de magnitude; seu foco estava em uma falha geológica ativa a uma profundidade de 17 km. Em algumas áreas, houve até três minutos de agitação violenta. O movimento na falha foi desencadeado pela subducção da placa do mar das Filipinas sob a placa da Eurásia, que carrega o Japão.

O epicentro ficava a 20km da cidade de Kobe, com sua população de 1,5 milhão de pessoas. Cerca de 4.600 da população de Kobe perderam a vida, principalmente devido ao desabamento de edifícios. Muitos incêndios assolaram a cidade, causados por linhas de gás e eletricidade quebradas. O solo mais macio na área do porto se liquefez, de modo que edifícios tombaram e guindastes caíram no mar. Muitas ligações de transporte foram destruídas e uma autoestrada elevada através da cidade desabou. Cabos elétricos, canos de gás, água e esgoto estavam todos destruídos, agravando os problemas. Os serviços de resgate não podiam chegar facilmente à cidade e, uma vez lá, enfrentavam estradas bloqueadas e comunicações

interrompidas. A linha do trem-bala de alta velocidade e duas outras ferrovias foram destruídas, cortando as comunicações no Japão pela metade.

A maioria dos edifícios que ruíram foram construídos de acordo com os códigos de construção de 1960; edifícios construídos de acordo com os códigos de construção mais recentes, em sua maioria sobreviveram. Após o terremoto, muitos voluntários viajaram para a área para oferecer ajuda, os planos de prevenção de desastres do país foram melhorados e foram muito mais eficazes em um terremoto posterior, muitos abrigos à prova de terremotos foram construídos e a economia da área voltou ao normal dentro de um ano.

Caixa 6.6. O terremoto da Caxemira, Paquistão, 2005 - magnitude 7,6

Shazia Ahmed – uma mãe

“Estou com fome!” Essas foram as primeiras palavras que minha filha me disse quando a tirei dos escombros que antes era nossa casa. Nunca senti tanto alívio em toda a minha vida. Embora Umbreen estivesse empoeirada e machucada, ela estava viva e, naquele momento, não poderia haver milagre maior.

Passaram-se três dias de terror agonizante antes que meu marido e vizinhos pudessem resgatar nossa bebê. Três dias de tortura que só uma mãe poderia entender. Eu a agarrei e verifiquei freneticamente por qualquer membro faltando, dedos das mãos ou dos pés. Levei-a para o hospital de campanha descendo a montanha e, além de alguns cortes e hematomas, os médicos lhe deram um atestado de saúde limpo. É um milagre que ela esteja viva e bem. ...

Nossa “aldeia” agora é composta por apenas 200 ou mais barracas na base da montanha. A casa de todos foi destruída. Felizmente, a equipe da Sungi (um parceiro local da Oxfam) veio nos ajudar. Eles não apenas forneceram barracas, cobertores e água potável, mas também um ombro para nos apoiarmos no momento em que mais precisávamos.

Às vezes, você só precisa de alguém para ouvir e compartilhar sua dor”.

De: <https://www.oxfam.org.nz/what-wedo/emergencies/previous-emergencies/kashmirearthquake-2005/stories-from-balakot>



Shazia com seu bebê, que sobreviveu por três dias nos escombros em Balakot antes de ser resgatado



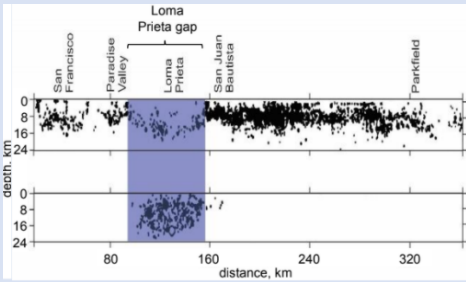
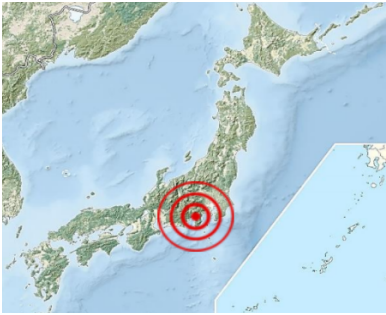
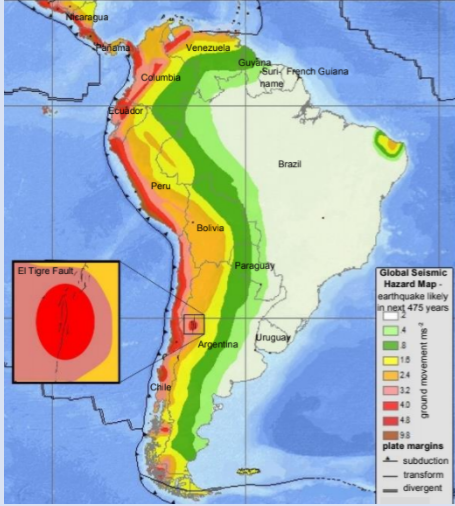
A cidade devastada de Balakot

O terremoto da Caxemira atingiu o norte do Paquistão às 08h50 da manhã de 8 de outubro de 2005. Foi na zona de colisão das placas tectônicas da Eurásia e da Índia que formaram a cordilheira do Himalaia. O terremoto foi um dos piores desastres naturais já ocorridos no sul da Ásia. O número estimado de mortos era de mais de 85.000; a cidade de Muzaffarabad foi a mais atingida. Muito mais pessoas ficaram feridas e 3,5 milhões de pessoas ficaram desabrigadas. Muitas escolas desabaram e hospitais e serviços de resgate falharam. Cidades e vilas foram completamente destruídas em áreas montanhosas remotas. As estradas bloqueadas por deslizamentos de terra tornaram ainda mais difícil para os serviços de resgate. Houve muitas réplicas fortes. As medições posteriores de satélite mostraram que a terra acima do epicentro havia subido vários metros.

Houve uma grande resposta de resgate nacional e internacional imediatamente depois, mas a reconstrução das instalações na região nos meses e anos seguintes foi lenta.

Em países que podem ser atingidos por grandes terremotos, a população deve ser protegida. As medidas de proteção incluem tentativas de projetar e prever (Tabela 6.6) danos ocasionados por terremotos, construir edifícios que possam resistir a terremotos e ter planos para lidar com os efeitos do terremoto.

Tabela 6.6. Métodos de previsão de terremotos.

Método de previsão de terremotos	Descrição	Imagem	Fonte
Lacuna sísmica no espaço	Ao longo das falhas principais, frequentemente existem áreas com muitos terremotos e outras áreas com poucos. Onde houve poucos terremotos, a tensão pode estar aumentando, então é aí que o próximo terremoto é esperado.		A lacuna Loma Prieta na falha de San Andreas, Califórnia, EUA. O diagrama superior mostra que houve poucos terremotos no intervalo até o “um grande” e seus tremores secundários em 1989 - diagrama inferior.
Lacuna sísmica no tempo	Alguns terremotos têm um padrão de tempo razoavelmente regular - permitindo que a hora do próximo terremoto seja prevista.		Os terremotos de Tōkai no Japão acontecem regularmente, a cada 100-150 anos, em 1498, 1605, 1707 e 1854. O próximo terremoto está previsto para ocorrer em breve.
Mapeamento de risco sísmico	Este usa todos os dados disponíveis para mostrar as áreas de maior risco de terremoto.		Mapa de risco sísmico da América do Sul, elaborado pelo US Geological Survey.

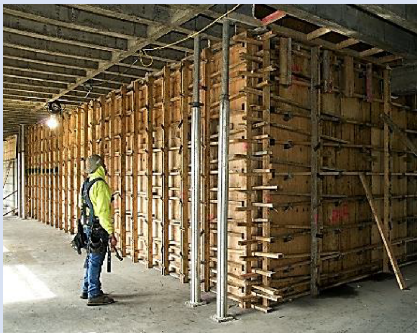
Os métodos de previsão de terremotos podem mostrar quando e onde grandes terremotos são prováveis. Mas os métodos de previsão de terremotos tentam localizar o local e a hora prováveis com mais precisão. Vários deles estão sendo investigados cientificamente, mas nenhum até agora se mostrou confiável. Os métodos incluem:

- monitoramento do levantamento e inclinação do solo perto de falhas;

- medir pequenos terremotos usando sismógrafos, no caso de serem “abalos repentinos”; antes de um grande terremoto;
- monitoramento dos níveis em poços de água, caso o aumento da pressão faça com que o lençol freático suba ou o aumento da tensão cause mais fraturas, quando o nível da água cai;
- verificação da emissão de gás radônio do solo - na preparação para um terremoto, pequenas fraturas podem liberar mais gás radônio do que o normal, que pode ser detectado nas águas subterrâneas;
- a capacidade das rochas de transmitir eletricidade (sua resistividade elétrica) pode mudar antes de um terremoto. Quanto mais água uma rocha retém, melhor ela pode transmitir eletricidade; portanto, se mais fraturas se formarem antes de um terremoto, elas se encherão de água e poderão transmitir eletricidade de maneira mais eficaz (diminuindo assim sua resistividade às correntes elétricas).

Onde os edifícios são construídos para resistir a terremotos e os códigos de construção resistentes a terremotos são aplicados, os danos podem ser bastante reduzidos, assim como o número de mortos. Os diferentes métodos usados para ajudar os edifícios a resistir aos danos do terremoto são mostrados na Tabela 6.7.

Tabela 6.7. Métodos de construção para resistir aos danos do terremoto

Método de resistência a terremotos	Descrição		Imagem	Fonte
Força durante a agitação	As ondas do terremoto se movem para cima, para baixo e para os lados.	As paredes de cisalhamento são feitas de painéis que podem tremer sem quebrar.		Paredes de cisalhamento construídas para dar resistência extra a um edifício, Oregon, EUA.
		Os parafusos da fundação prendem as paredes de forma flexível às fundações.		Parafusos e correias de fundação, Napa, Califórnia, EUA.

Isolamento durante a agitação	Uma ampla gama de métodos pode ser usada para separar edifícios do chão que balança, incluindo amortecedores de borracha, molas, rodas e rolamentos de esferas.		Agitação para testes de métodos de isolamento de base. O prédio normal não isolado à esquerda está desabando. Universidade da Califórnia, San Diego, EUA.
--------------------------------------	---	--	---

Tabela 6.7. Métodos de construção para resistir aos danos do terremoto, continuação

Método de resistência a terremotos	Descrição	Imagem	Fonte
Prédio com concreto armado	Edifícios de concreto armado são construídos com redes de vergalhões (barras de reforço) - barras de aço dentro do concreto que podem parar a vibração, causando a quebra do concreto quebradiço.		Rede de aço vergalhão para fundação de ponte de concreto.
Redes elétricas, de gás e de água resistentes	As redes de gás e elétrica podem ser equipadas com dispositivos que desligam automaticamente - para evitar incêndios; adutoras de água com juntas flexíveis resistentes a danos, de modo que o abastecimento de água não seja interrompido durante incêndios causados por terremotos.		Válvula de corte automática instalada em um cano principal de gás, Seattle, EUA.

Em áreas afetadas por terremotos, planos devem ser colocados em prática pelas autoridades para proteger a população. Estes costumam ter quatro fases: mitigação (reduzindo os efeitos prováveis, por exemplo, pelos métodos na Tabela 6.7), preparação (incluindo planejamento administrativo, preparação e treinamento), resposta (como os serviços de emergência devem reagir durante e logo após o terremoto), e recuperação (começando a preservar e reconstruir a comunidade).

Parte da preparação para terremotos é o treinamento de alunos nas escolas e do público em geral sobre o que fazer durante e após um terremoto. A parte mais importante disso é que cada família, escola, fábrica, escritório, etc. desenvolva seu próprio plano.

Caixa 6.7. Um plano de terremoto

A Earthquake Country Alliance na Califórnia, EUA, destaca “sete etapas para a segurança contra terremotos”.

Preparo:

Etapas 1: Proteja seu espaço - certifique-se de que os móveis, etc. não caiam perigosamente.

Etapa 2: Planeje para estar seguro - faça seu próprio plano de desastre e certifique-se de que todos saibam o que ele contém.

Etapa 3: Organize suprimentos para desastres - onde eles possam ser encontrados facilmente.

Etapa 4: Minimize as dificuldades financeiras - organizando seus documentos, fortalecendo o prédio e fazendo um seguro.



Sinal de alerta de terremoto, Vancouver, Canadá.

Sobreviva e se recupere:

Etapa 5: Solte, cubra e segure - proteja-se sob uma mobília pesada durante o terremoto.

Etapa 6: Aumente a segurança - saia do prédio se puder, ajude os feridos e evite outros ferimentos.

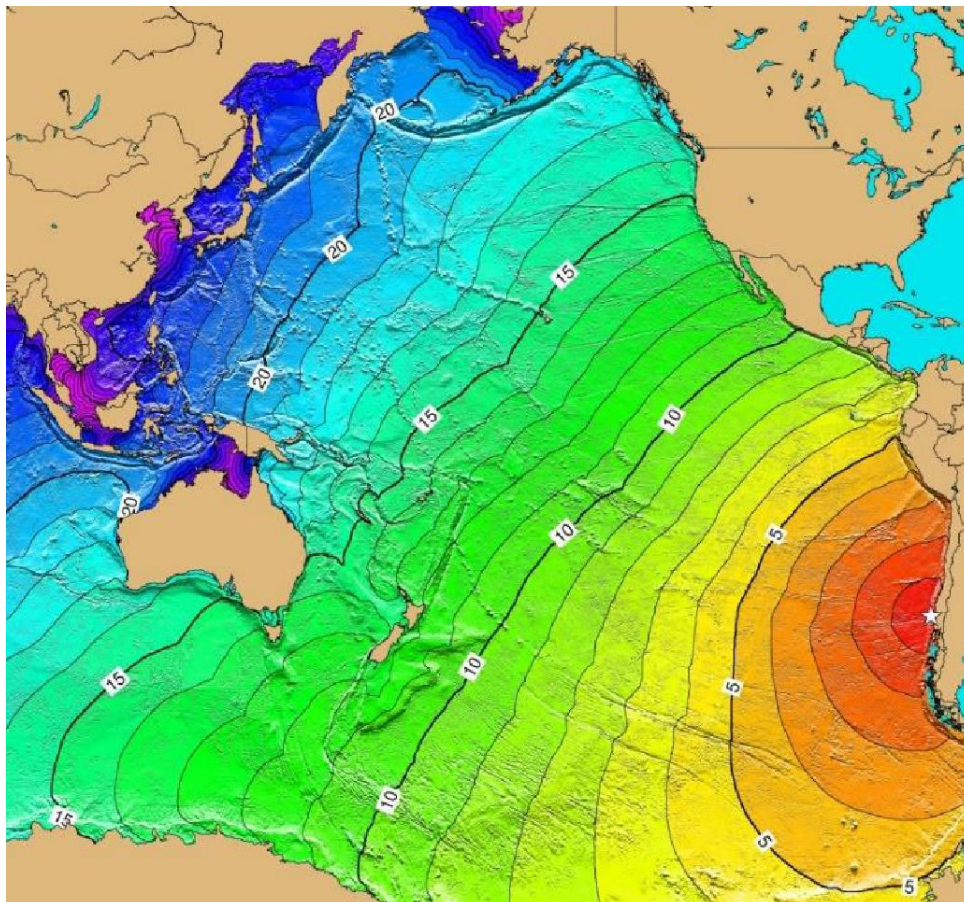
Etapa 7: Reconecte e restaure - conecte-se com outras pessoas, repare os danos e reconstrua a comunidade.

6.1.3 Tsunami

Tsunamis são grandes ondas de água causadas por terremotos, erupções vulcânicas, deslizamentos de terra caindo na água ou impactos de meteoritos; “*tsunami*” significa “onda portuária” em japonês. Tsunamis eram chamados de “ondas gigantes” no passado, embora não tenham nada a ver com as marés.

A altura das ondas do tsunami que atingem a costa depende do tamanho do processo de desencadeamento e da forma do litoral. Em mar aberto, as ondas do tsunami são baixas, mas viajam a velocidades de até 800 km/h. Elas podem alcançar águas mais rasas perto do litoral, e o atrito desacelera a base da onda, fazendo com que ela se torne constantemente maior. Litorais com declives rasos produzem ondas mais altas do que costas com declives acentuados. O maior tsunami as ondas podem atingir a altura de mais de 40 metros, ou seja, a altura de um prédio de 12 andares. Não é apenas a altura das ondas que é prejudicial, mas quando os tsunamis atingem a terra, com enormes volumes de água e podem fluir até 10 km para o interior do continente, atingido tudo que encontrarem pela frente. Isto é uma das razões pelas quais tantas pessoas podem ser mortas por tsunamis. Grandes ondas de tsunami podem viajar através de grandes oceanos. O terremoto mais poderoso já registrado, o de 1960 o Terremoto Valdivia no Chile, causado por um tsunami que atravessou o Oceano Pacífico, devastando a ilha do Havaí, e alcançando a Nova Zelândia, Austrália, Filipinas, Japão e China (Figura 6.4).

Figura 6.4. O tsunami causado em 1960 pelo terremoto Valdivia, mostrando o tempo de deslocamento das ondas em horas, através do Oceano Pacífico.



Os detalhes de alguns grandes tsunamis mostrados na tabela 6.8 são devastadores.

Tabela 6.8. Grandes tsunamis e seus efeitos.

Tsunami	Descrição	Imagem	Fonte
2011 Tohoku, Japão tsunami	De magnitude 9, terremoto no mar causou o tsunami, resultando em mais de 15.000 mortes e o derretimento de reatores nucleares na Estação de Energia de Fukushima, com a evacuação de centenas de milhares de residentes. (Tabela 6.5 mostrada anteriormente)		O Tohoku, tsunami japonês; Fumaça preta de incêndio na refinaria de óleo
2004 Oceano Índico tsunami	230.000 pessoas foram mortas na Indonésia e em outros países costeiros do oceano Índico incluindo Sri Lanka, Índia e na Somália. (Tabela 6.5 mostrada anteriormente)		O tsunami de 2004 em Ao Nang, província de Krabi, Tailândia
1883 erupção de Krakatoa	Mais de 36.000 mortes foram causadas pelo tsunami provocado pela erupção em Krakatoa.		O resultado do tsunami causado pela erupção em Krakatoa em 1883
1755 Lisboa, Portugal terremoto	Mais de 40.000 mortes causadas pelo terremoto, tsunami e incêndios; a capital portuguesa, Lisboa, foi quase completamente destruída.		Um olhar artístico do tremor de terra e tsunami de 1755 em Lisboa

Caixa 6.8. O tsunami de 2011, Tohoku, Japão.

Na sexta feira, 11 de março de 2011, o mais poderoso terremoto já registrado no Japão (magnitude 9,0) desencadeou um grande tsunami que atingiu altura de 40 metros e fluuiu por 10 km para o interior. Esta é a história de crianças em idade escolar no distrito de Unosumaicho, registrado pelos repórteres Sho Komine e Yasushi Kaneko do jornal Yomiuri Shimbun no Japão.

Hospital Público em Minamisanriku depois do tsunami de 2011.



"O Tsunami atingiu o distrito de Unosumaicho em Kamaishi, com as enchentes atingindo o terceiro andar de Escola do Ensino Médio Kamaishi-Hogashi e da vizinha Escola Primária Unosumai. Antes do mais recente terremoto, as duas escolas realizaram exercícios de desastres em conjunto. No ensino médio o sistema de anúncio falhou logo após o terremoto e tornou-se incapaz de transmitir chamadas de evacuação. No entanto, os alunos puderam sair rapidamente do prédio e ginásio, como treinado na pratica anterior de resposta a desastre, os alunos do ensino médio seguraram as mãos dos alunos do ensino fundamental que também estavam escapando do prédio, e juntos correram para um terreno mais alto. "...Um aluno do primeiro ano do ensino fundamental, Dai Dote, de 13 anos, segurou as mãos de duas meninas do terceiro ano do ensino fundamental (8 anos). Eles subiram a colina, uma das meninas chorou e começou a hiperventilar, enquanto a outra ficou incapaz falar. *"Está tudo bem"*, disse Dote às meninas, enquanto eles corriam para o topo da colina, mais de dois quilômetros de suas escolas. Dote disse que depois de confirmar a segurança de todos os seus amigos, as meninas pareceram aliviadas." Um professor disse ao jornal Yomiuri Shimbun: *"Eu disse repetidamente às crianças na classe que poderíamos ter experiência de tsunami maior do que o esperado. Foi quase um milagre que tantas crianças foram salvas. Tenho orgulho das crianças por tomarem decisões (que salvaram vidas) por conta própria."*

Caixa 6.9. O tsunami do Oceano Índico, 2004.

No dia 26 de dezembro (dia seguinte ao Natal) em 2004, Tilly Smith de 11 anos de idade estudante de escola inglesa estava na praia com o pai, mãe e irmã mais nova em Phuket, Tailândia.

Mais tarde, ela contou sua história a um repórter.

Onda tsunami atingindo a costa de Phuket.



Caixa 6.9. O tsunami do Oceano Índico em 2004, continuação da história de Tilly:

Lembrei-me de que fui ensinado em uma aula de geografia. Era exatamente a mesma espuma, como você serve uma cerveja, era uma espécie de chiar. Eu disse: *"Definitivamente deve ser um tsunami"*, e minha mãe não acreditou em mim e continuou andando. Mas meu pai meio que acreditou em mim e Holly, minha irmã, estava ficando muito assustada. Então ela correu de volta para a piscina (no hotel) e meu Papai voltou com ela. E então eu disse: *"Certo, mãe, estou indo, estou indo definitivamente, definitivamente vai ser um tsunami"*. E ela apenas, *"Hmmm - tchau então"*. Então eu voltei e ela estava receosa um pouco quando sai, então ela voltou para ver se eu estava bem. E no mesmo minuto em que ela voltou, a água começou a subir pela praia.

"Bem", eu disse ao meu pai e meu pai disse ao segurança e o segurança disse às pessoas na praia. Havia algumas famílias na praia.

"Se não fosse pelo Sr. Kearney (meu professor de Geografia), eu provavelmente estaria morta e minha família também estaria. E estou muito orgulhosa de que ele me ensinou com o tempo".

Minha mãe não percebeu porque ela não foi ensinada sobre tsunamis quando era mais jovem e não percebeu o que era um tsunami. Ela nem sabia que essa palavra existia. Então eu acho que é realmente bom conhecer a palavra e ser ensinado sobre isso.

A família de Tilly subiu as escadas do hotel e observou as ondas do tsunami enchendo a piscina com detritos. Tilly pode ter salvado quase 100 vidas na praia naquele dia, um dia em que mais de 8.000 pessoas morreram apenas na Tailândia.

O Programa Nacional de Mitigação de Risco de Tsunami nos EUA tem as três partes mostradas na Figura 6.5, aviso orientação, mitigação e avaliação de perigo, como na Tabela 6.9.

Figura 6.5. O logotipo do Programa Nacional de Mitigação de Risco de Tsunami dos EUA

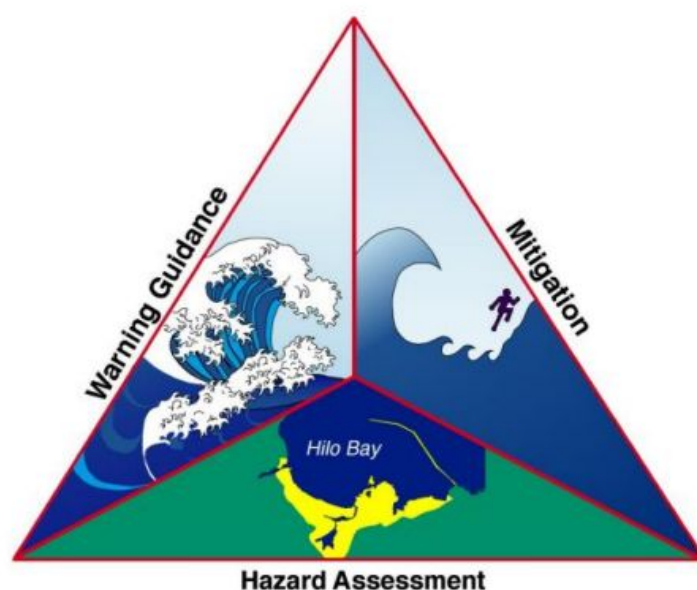
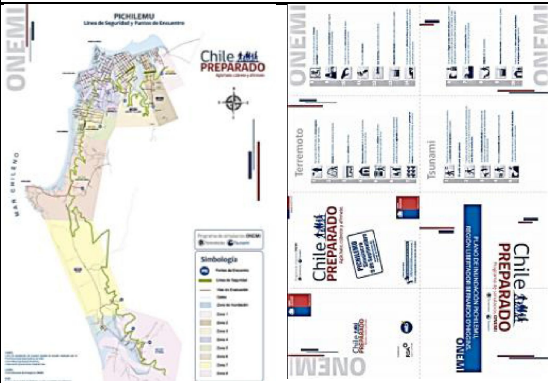
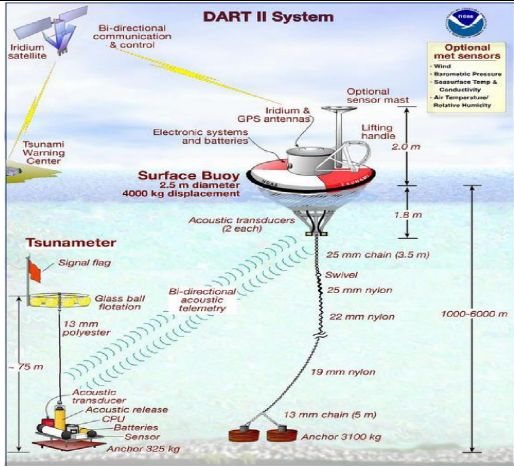


Tabela 6.9. Métodos usados para aumentar a segurança durante tsunamis

Método de segurança para tsunami	Descrição	Imagem	Fonte
Avaliação do Perigo	Os prováveis perigos são avaliados e os resultados publicados para ajudar a comunidade. Este folheto chileno de aviso tem informações sobre as zonas de risco de tsunami, pontos de encontro, áreas de atendimento emergencial e rotas de evacuação.		Atenção perigo de tsunami, folheto para o litoral cidade de Pichilemu no centro Chile
Mitigação	Riscos de tsunami são reduzidos pela construção paredes contra tsunamis		Parede contra Um tsunami em Tsushi no Japão
Atenção e orientação	Avaliação da Profundidade de oceano e Reportagem de Tsunamis (DART) sistema é baseado em uma série de boias através dos oceanos, que detecta pressão e mudanças causadas por tsunamis, então tão cedo os avisos podem ser emitidos.		O DART II boia e sistema de aviso por rede
	O público é treinado em o que fazer quando avisos são acionados, enquanto a informação é publicada em folhetos e em sinais.		Sinal de aviso de tsunami com rotas de evacuação Okumatsushima, Japão.

Caixa 6.10. Informações de alerta de tsunami

Uma ficha técnica sobre mitigação de tsunami, publicada online nos EUA, contém essas orientações.

No geral, se você pressentir que um tsunami pode estar para acontecer, o chão treme sob seus pés ou você ouve sirenes de aviso, informe seus parentes e amigos e **movam-se rapidamente para um terreno mais alto.**

Fatos importantes para saber sobre os Tsunamis:

- ☐ Tsunamis que atingem locais costeiros na Bacia do Oceano Pacífico são quase sempre causados por terremotos. Esses terremotos podem ocorrer longe ou perto de onde você mora.
- ☐ Alguns tsunamis podem ser muito grandes. Em áreas costeiras, sua altura pode ser tão grande quanto 30 pés (9 m) ou mais 100 pés (30m) em casos extremos, e eles podem se mover para o interior várias centenas de pés (10 a 100 metros).
- ☐ Todas as áreas costeiras baixas podem ser atingidas por tsunamis.
- ☐ Um tsunami consiste em uma série de ondas. Frequentemente, a primeira onda pode não ser a maior. O perigo de um tsunami pode durar várias horas após a chegada da primeira onda.
- ☐ Tsunamis podem se mover mais rápido do que uma pessoa pode correr.
- ☐ Às vezes, um tsunami faz com que a água perto da costa diminua, expondo o fundo do oceano.
- ☐ A força de alguns tsunamis é enorme. Grandes rochas pesando várias toneladas, junto com barcos e outros destroços, podem ser movidos para o interior a centenas de metros pela atividade das ondas do tsunami. Casas e outros edifícios são destruídos. Todo esse material e água se movem com muita força e podem matar ou ferir pessoas.
- ☐ Os tsunamis podem ocorrer a qualquer hora do dia ou da noite.
- ☐ Os tsunamis podem subir rios e riachos que levam ao oceano.

Se você estiver em terra:

- ☐ Esteja ciente dos fatos do tsunami. Esse conhecimento pode salvar sua vida! Compartilhe esse conhecimento com seus parentes e amigos. Isso pode salvar suas vidas!
- ☐ Se você estiver na escola e ouvir que há um alerta de tsunami, você deve seguir o conselho dos professores e outros funcionários da escola.
- ☐ Se você estiver em casa e souber que há um alerta de tsunami, certifique-se de que toda a sua família está ciente do aviso. Sua família deve evacuar-se da sua casa se você vive em uma zona de evacuação de tsunami. Mova-se de maneira ordenada, calma e segura para o local de evacuação ou para qualquer local seguro fora de sua zona de evacuação. Siga os conselhos de emergência local e a lei aplicada pelas autoridades.
- ☐ Se você estiver na praia ou perto do oceano e sentir a terra tremer, vá imediatamente para terreno mais elevado. NÃO espere que um aviso de tsunami seja anunciado. Fique longe de rios e riachos que levam ao oceano como você ficaria longe da praia e do oceano se houver um tsunami. Um tsunami regional de um terremoto local pode atingir algumas áreas antes do aviso de tsunami poder ser anunciado.
- ☐ Os tsunamis gerados em locais distantes geralmente dão tempo suficiente às pessoas para se deslocarem para terra. Para tsunamis gerados localmente, onde você pode sentir o chão tremer, você só pode ter alguns minutos para ir para um terreno mais alto.
- ☐ Hotéis altos de concreto armado com vários andares estão localizados em áreas costeiras muito baixas. Os andares superiores desses hotéis podem fornecer um lugar seguro para encontrar refúgio em caso de aviso tsunami e você pode não mover-se rapidamente para o interior de um terreno mais alto. Procedimentos locais de defesa civil pode, entretanto, não permitir este tipo de evacuação em sua área. Casas e pequenos edifícios localizados em áreas costeiras baixas não são projetados para resistir aos impactos do tsunami. Não fique nestas estruturas caso haja um aviso de tsunami.
- ☐ Recifes no mar e áreas rasas podem ajudar a quebrar a força das ondas do tsunami, mas ondas grandes e perigosas ainda podem ser uma ameaça para os residentes costeiros nessas áreas. **Ficar longe de tudo áreas baixas é o conselho mais seguro quando há um alerta de tsunami.**

6.1.4 Deslizamento de terra

Os deslizamentos de terra acontecem quando a rocha falha, e a quebra podem ser desencadeadas por terremotos, erupções, tempestades ou porque a rocha enfraqueceu de alguma forma. Os deslizamentos de terra na água podem, por sua vez, provocar tsunamis.

Os deslizamentos de terra, também chamados de escorregamentos, incluem vários tipos diferentes de quedas, deslizamentos e fluxos que podem ocorrer catastroficamente rápidos, mas também muito lentamente, mesmo deslizamentos de terra lentos são prejudiciais. Até mesmo deslizamentos de terra lentos são prejudiciais (Tabela 6.10). Eles podem estar ligados à terra ou debaixo d'água.

Tabela 6.10. Diferentes tipos de quedas, deslizamentos e fluxos.

Tipo de falha na rocha	Descrição	Imagem	Fonte
Queda da rocha	Rochas tombam ou caem devido à gravidade, catastroficamente rápido.		Queda de rochas nas montanhas de Columbia Britânica, Canadá, 2011.
Deslizamento	As rochas desabam como uma massa e não como blocos individuais, catastroficamente rápidos.		Deslizamento da Rocha na Praia de Oddicombe, Devon, Inglaterra, 2010.
Quedas	Quedas são movimentos de material descendo em uma encosta como uma massa; algumas quedas são catastroficamente rápidas enquanto outras têm fluência muito lenta; algumas quedas são rotacionais, quando a inclinação da superfície é voltada para trás do bloco desliza para baixo ao longo de uma curva cicatriz.		Quedas rotacionais na maior área caída da estrada velha, Mam Tor, Derbyshire, Inglaterra.

Tabela 6.10. Continuação de diferentes tipos de quedas, deslizamentos e fluxos.

Tipo de falha na rocha	Descrição	Imagem	Fonte
Fluxo	Fluxos de rochas incluem fluxos de detritos e avalanches de detritos, porque eles contêm muita água, fluem com altas velocidades de até dezenas de km por hora, especialmente em encostas e vales íngremes.		Vargas, Venezuela um mês após, Dezembro 1999 fluxo de detritos
Arrastamento	Materiais de superfície como fluxo do solo lentamente descem morro abaixo, seja como massas arredondadas ou formando séries de pequenos terraços, que são frequentemente mais tarde usados como caminhos por animais de fazenda.		Rastejamento do solo em Wyoming, EUA.
			Terracettes abaixo Morgan's Hill, Wiltshire, Inglaterra.

Alguns dos deslizamentos globais da Terra e mais prejudiciais podem ser vistas na Tabela 6.11.

Tabela 6.11. Maiores deslizamentos.

Maior deslizamento de Terra	Descrição	Imagem	Fonte
Haiyuan deslizamentos de terra, dezembro 1920	Os deslizamentos de terra foram desencadeados pelo terremoto de magnitude 7,8 em Haiyuan (registrado na China com magnitude de 8,5) em 16 de dezembro de 1920 (Tabela 6.5); encostas de lodo de grão fino instável colapsaram causando mais de 600 deslizamentos de terra causando mais de 100.000 mortos.		O terremoto de 1920 que se desencadeou em Haiyuan e fluuiu para a China central

Tabela 6.11. Grandes deslizamentos de terra, continuação.

Maiores deslizamentos	Descrição	Imagem	Fonte
Vargas, fluxos Venezuela, Dezembro 1999	Em 15 de dezembro de 1999, uma chuva torrencial desencadeou uma série de fluxos de detritos, matando mais de 30.000 pessoas, destruindo muitas casas e causando o colapso de instalações do Estado, cidades inteiras desapareceram e várias casas foram varridas para o mar.		Ampla destruição na Área de Caraba-lled a causado por um fluxo de 6 m de grossos detritos.
Nevado Huascarán detritos caídos em Yungay, Peru, Maio 1970	Uma inscrição nesta ruína diz: “Uma cidade onde 35.000 pessoas viveram permanentemente aqui; sob um terremoto e um deslizamento de terra subsequente de Huascarán (o vulcão, no fundo) aqui está apenas um entulho de pedra [sic]. Isto tudo aconteceu dentro de alguns minutos em 31 de maio de 1970.”		Foto tirada em Yungay, dez anos depois da tragédia - o prédio com a inscrição.
Khait deslizamento de terra, Tajiquistão, Julho de 1949	Centenas de deslizamentos de terra foram acionados pelo 7,4 magnitude Khait tremor de terra; refinado lodo saturado com água fluiu em mais de 30 m/s matando ao redor de 4.000 pessoas em Khait, e cerca de 28.000 pessoas em as áreas circundantes		A cicatriz em Montanha Chokrak e o deslizament o de terra que destruiu de uma vila no Khait

Deslizamentos de terra podem ser catastróficamente súbitos, sem tempo para as pessoas evacuarem suas casas, resultando em muitas mortes.

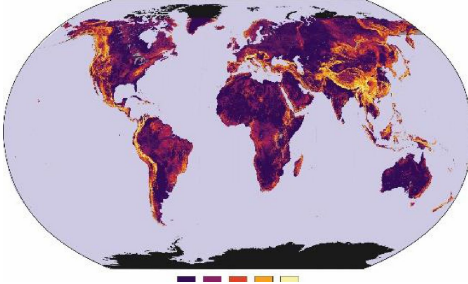
Caixa 6.11. O fluxo de lama de Oso, 29 de março de 2014

O deslizamento de terra mais prejudicial da história dos EUA destruiu cerca de 50 casas, matando 43 pessoas, perto de Oso na região da montanha Cascade de Estado de Washington, perto de Seattle. Uma encosta saturada com a água colapsando, produzindo um grande fluxo de lama. Testemunhas descreveram uma parede de lama, talvez oito metros de altura, correndo pelo vale em direção a eles com o som de trens de carga, acidentes de avião e “Dezenas de milhares de coisas batendo umas nas outras”. A chuva pesada nas semanas anteriores pode ter desestabilizado a encosta.



Vários métodos são usados para reduzir o risco de deslizamentos. Vão desde mapeamento e monitoramento de perigos, por meio de sistemas de alerta, às diferentes formas de prevenir deslizamentos ou reduzir seus efeitos, conforme Tabela 6.12.

Tabela 6.12. Método de redução de risco de deslizamento de terras e queda de rochas.

Deslizamento de terra redução de risco	Descrição	Imagem	Fonte
Mapeamento zonas de perigo	Riscos de deslizamento de terra são mapeados de forma local para escalas globais. O mapa da NASA mostra que as regiões mais perigosas estão em clima ativo e áreas tectônicas, incluindo a margem da montanha.		Mapa global do perigo de deslizamento da terra compilado pelos EUA Nacional Aeronáutica e Espaço Administração (NASA)
Monitoramento	Encostas com probabilidade de falhar são monitoradas por uma série de dispositivos, incluindo rede fixa de extensômetros, sísmicos, geofones, um conjunto de medidores, e por medição de pressões de água subterrânea.		Uma rede fixa de extensômetros e dispositivos de monitoramento, conectado por fio para uma área instável e transmitindo dados remotamente por rádio.
Códigos de construção e sinais de atenção	Códigos de construção (quando aplicados) evitam que edifícios sejam construídos em áreas altamente perigosas, enquanto sinais de alerta alertam o tráfego e o público em geral.		Sinal de trânsito de alerta.
Declive redução e terraceamento	Os perigos são reduzidos por tornar as encostas mais rasas e escavando em série de terraços horizontais em intervalos; os terraços reduzem a altura da rocha por meio de paredes e contenção de entulhos.		Terraços de pedra em Rota 23, Libra Gap, Montanhas Cumberland, Virginia, EUA.

Drenagem	Drenos estão localizados no topo e fundos das encostas, bem como dentro, para que possam remover a água rapidamente, reduzindo a chance que o aumento da pressão da água possa desencadear um deslizamento de terra.		Uma vala francesa cheia de cascalho para coletar sedimentos, com tubos perfurados (com pequenos orifícios na parte superior) para levar a água.
----------	--	--	---

Tabela 6.12. Métodos de redução de risco de deslizamento de terras e queda de rochas, continuação.

Redução risco deslizamento de terra	Descrição	Imagem	Fonte
Plantio	Árvores ou outras plantas são lançadas de forma que suas raízes liguem materiais soltos e removam a água, ajudando a estabilizar encostas.		Árvores de Larício plantadas para controlar a erosão em uma rocha solta e encosta íngreme no campo de esqui de Broken River, Nova Zelândia.
Remoção da superfície de materiais soltos na rocha e trepidação	Detritos soltos são removidos e coberturas maiores entre outros materiais soltos são presos à encosta por parafusos longos na rocha		Parafusos de rocha em preto na costa de Sussex, Inglaterra.
Cobertura por rede, fio e geotêxteis.	Estes são presos à inclinação para evitar a queda de destroços.  Amostras de Geotêxteis		Proteção de malha de arame contra a queda de pedras, Marine Drive, Llandudno, Gales.

Cobertura projetada de concreto	Uma camada de cimento é pulverizada sobre a rocha solta, e as faces das rochas para ligá-los e conjuntamente criar estabilidade.		Um penhasco estabilizado por concreto projetado, em Auckland, Nova Zelândia.
---------------------------------	--	--	--

Tabela 6.12. Métodos de redução de risco de deslizamento de terras e queda de rochas, continuação.

Redução risco deslizamento de terra	Descrição		Imagem	Fonte
Estacas e faces protegidas pelas paredes e Gabiões.	O fundo de instáveis encostas é protegido para reduzir a possibilidade de deslizar e cair, e evita a erosão.	Paredes são construídas de pedra natural ou concreto para proteger as faces.		Corte de uma estrada estabilizado por um muro de pedra natural na base de um muro de contenção de concreto, Rebernice, Eslovênia,
		Gabiões são de malha de arame, caixas cheias com pedras; a malha é galvanizada para proteção.		Um corte transversal estabilizado com Gabiões na Alemanha
Barreiras	Barreiras são construídas para travar detritos, deixando espaços para que se possa construir por trás das barreiras.			Uma rede para coletar pedra em uma trilha de caminhada em Multnomah Falls, Oregon, EUA.
Abrigos de proteção	Os abrigos são construídos para proteger as rotas de transporte e áreas públicas de destroços que possam cair.			Túnel de proteção de deslizamento de terras/queda de rochas Narvik / Beisfjord estrada 751 na Noruega

Concreto e contrafortes com pedregulhos para proteção	Contrafortes de concreto são grandes pedregulhos construídos de material erodido que são largados no pé de encostas com probabilidade de deslizar ou ser erodido por águas do rio ou correntes costeiras.		Pedregulhos na costa em East Sussex, Inglaterra, para proteger Vila Fairlight.
---	---	--	--

6.2 Problemas ambientais

Os seres humanos afetam o meio ambiente em todas as escalas, do local ao global. Muitas vezes nos acostumamos com essas mudanças e assim não as vemos como problemas ambientais. As principais mudanças incluem a construção de assentamentos e grandes áreas de agricultura. Portanto, os ambientes de muitas regiões do planeta Terra hoje são muito diferentes de seus estados selvagens originais. Na verdade, o impacto da atividade humana foi registrado em quase todos os ambientes da Terra, dos mares mais profundos às montanhas mais altas, e dos polos aos mares tropicais rasos.

6.2.1 Erosão

Sempre que você caminha ao longo de uma trilha, existe o risco de provocar erosão, especialmente se muitas outras pessoas preferirem transitar por ela (Figura 6.6).

Figura 6.6 Erosão em trilha, Floresta de Fontainebleau, próxima a Paris, França.



As únicas formas de prevenir essa erosão por parte do público são fechando ou redirecionando o caminho ou reforçando-a colocando passarelas de pedra ou madeira.

Enquanto isso, quando os solos são expostos por métodos agrícolas inadequados ou quando a vegetação é queimada, o solo pode prontamente sofrer erosão pela água e pelo vento (Tabela 6.13).

Tabela 6.13. Erosão do solo

Erosão do solo	Descrição	Imagem	Fonte
Erosão do solo por meio da água	Em áreas inclinadas não protegidas pela vegetação, a erosão do solo pode formar ravinas profundas que depois de formadas são de difícil recuperação; estas áreas ravinadas são chamadas de “badlands” ou “terras baldias”.		Erosão em solo primário, Huesco, província da Espanha; o campo verde mostra a diferença que bons métodos de cultivo podem fazer.

Tabela 6.13. Erosão do solo, continuação.

Erosão do solo	Descrição	Imagem	Fonte
Erosão do solo causada pelo vento	A erosão causada pelo vento pode remover grandes quantidades de solo na forma areia		Uma tempestade de areia no Condado de Hamadan Iran
	Métodos pobres de cultivo nos anos 1930 em grandes áreas de planícies centrais dos EUA levaram os solos à desertificação; então durante os períodos de seca na mesma década, quantidades enormes de solo erodido na América formavam “tigelas de poeira”.		Maquinário de Fazenda enterrado pelo vento poeira, Dallas, Sul Dakota, EUA, 1936

Boas práticas agrícolas para preservar os solos incluem:

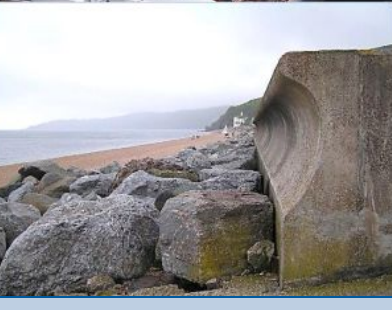
- não verticalmente em encostas, mas arar contornando as encostas; isso para a água que desce dos morros em tempestades; a água penetra no solo;
- plantar árvores em ravinas, para que suas raízes segurem o solo;
- garantir que o solo seja coberto por plantações durante o maior período do ano, especialmente durante as estações que ventam;
- plantar linhas de árvores e sebes como quebra-ventos para reduzir a erosão eólica;
- adicionar nutrientes ao solo em fertilizantes para que as safras continuem a crescer;
- certificando-se de que a vegetação não seja pastada e o solo compactado por animais.

As costas são erodidas naturalmente à medida que as marés movem as ondas para cima e para baixo nas praias, principalmente durante tempestades. Isso não é um problema, a menos que afete as áreas onde as pessoas estão vivendo, onde há comunicações costeiras ou onde praias são utilizadas por turistas. Diferentes métodos de redução da erosão costeira são mostrados na Tabela 6.14.

Tabela 6.14. Métodos de redução da erosão costeira

Redução de erosão costeira	Descrição	Imagem	Fonte
Quebra-mar	Quebra-mar são barreiras de madeira, pedregulhos ou concreto construído através praias para reduzir movimento de sedimento ao longo da praia. Os sedimentos se acumulam em um lado, produzindo uma série de curvas curtas na áreas de praia		Quebra-mar de pedra construído do outro lado da praia “du Prevent” em Capbreton, Landes, França

Tabela 6.14. Métodos de redução da erosão costeira, continuação

Redução de erosão costeira	Descrição	Imagem	Fonte
Paredões	Paredões são construídos de grandes pedregulhos, pedra cortada que pode ser cimentado ou concreto para proteger áreas costeiras.		Onda batendo no mar de parede em Plogoff, Finistère, Bretanha, França
Rip rap	Pedregulhos do rip rap caindo em área erodida.		Rip rap e paredão, Beesands, Devon, England
Tetrápodes	Grandes estruturas de concreto especialmente projetado para quebrar a força das ondas.		Tetrápodes em um quebra-mar em Górký Wschodnie, Gdańsk, Polônia, costa do Mar Báltico.

Um dos problemas para reduzir a erosão em uma parte da costa é que a área pode ter sido a fonte de sedimento para outras áreas mais ao longo da costa. Então, quando uma área da costa é protegida, a erosão pode aumentar em outras áreas próximas. Isso destaca como, em áreas costeiras dinâmicas, a engenharia costeira pode ter “consequências imprevistas” em outro lugar.

6.2.2 Drenagem

A maioria dos edifícios e outras construções canalizam a água da chuva. Assim que a água da chuva atinge os canais, ela flui mais rápido e é mais provável que cause erosão. Portanto, os edifícios exigem calhas, calhas precisam da construção de canais especiais ou bueiros e rios para os quais esses drenos devem ser

projetados para minimizar a erosão (Figura 6.7). Tudo isso tem o efeito que a água da chuva é canalizada para longe das áreas construídas e não pode infiltrar no solo para recarregar os aquíferos.

Mas também pode causar inundações a jusante. Esse problema está sendo enfrentado em algumas áreas com a não concretagem ou tapando tudo com asfalto, mas deixando deliberadamente áreas para que a água da chuva afunde no solo.

Figura 6.7. Dreno de tempestade, Dobney Avenue, Wagga Wagga, New South Wales, Austrália.



6.2.3 Depósito de lixo

Os humanos produzem enormes quantidades de resíduos. O Banco Mundial estimou que, em média na Terra, cada pessoa produz mais de 1kg de lixo por dia, contido isso é desigual, em algumas regiões há mais desperdício do que em outras.

Muitas pessoas colocam seus resíduos em uma lixeira e não pensam mais no que acontece com eles. Mas todos os resíduos precisam ser gerenciados. Os métodos de gestão de resíduos diferem de região para região (Figuras 6.8 e 6.9) e mudam ao longo do tempo, mas os métodos modernos geralmente envolvem os "três Rs" de "reduzir, reutilizar e reciclar". Visa extrair o maior valor dos resíduos e descartar o mínimo de material.

Figura 6.8. Gerenciamento de resíduos em Kathmandu, Nepal

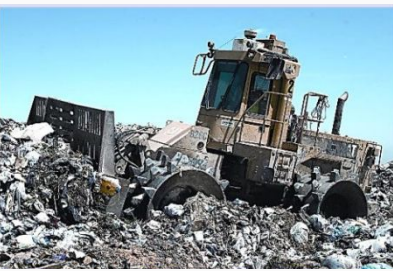


Figura 6.9. Gerenciamento de resíduos em Estocolmo, Suécia



Por mais que o material possa ser reutilizado e reciclado, parte eventualmente terá que ser descartada. Os principais tipos de resíduos que devem ser descartados são apresentados na Tabela 6.15.

Tabela 6.15. Resíduos que precisam ser descartados.

Resíduo	Descrição	Imagem	Fonte
Resíduo inerte	Resíduos inertes são resíduos quimicamente não reativos; isso inclui construção de entulho e material de edifícios demolidos. No entanto, isso ainda pode conter alguns quimicamente reativos, material como papel, madeira e placa de gesso, e materiais perigosos como o amianto.		Escombros de um prédio demolido em Milovice, República Checa
Resíduo doméstico	Resíduo doméstico é lixo doméstico contendo uma ampla variedade de materiais; com a decomposição, produz um líquido tóxico chamado chorume e libera gases, incluindo metano.		Lixo doméstico sendo compactado em um aterro sanitário australiano local
Resíduo tóxico	Resíduos tóxicos são sólidos ou líquidos quimicamente reativos que podem ser prejudiciais se ingeridos, inalados ou absorvidos pela pele; inclui tinta, óleos e uma ampla gama de produtos químicos e é mais comumente eliminado em aterros locais impermeabilizados.		O Vale do Resíduos tóxicos de tambores em, Kentucky, EUA nos anos 1980; locais como este mudaram as lei ambientais nos Estados Unidos.
Resíduo radioativo	Resíduos radioativos continuam a lançar radiação prejudicial por milhares de anos ou mais; eles geralmente são divididos em baixa, médio e alto nível residual; o nível baixo por ser enterrado próximo a superfície, mas os de nível alto precisam ser enterrados profundamente.		Eliminação de resíduo de baixo nível radioativo em Nevada, EUA.

Os resíduos domésticos e tóxicos são eliminados de forma adequada em locais especialmente preparados. Os melhores locais são pedreiras antigas e poços de tijolos em rochas impermeáveis, embora ocos em superfícies de terra impermeáveis também sejam usados. A impermeabilização impede que o líquido lixiviado escorra para as águas subterrâneas e gases escapem para as paredes do buraco. Em locais mais permeáveis, as rochas

podem ser revestidas com membrana de plástico impermeável (Figura 6.10). Em áreas onde não há buracos ou pedreiras, o aterro pode ser construído em colinas baixas antes do paisagismo e nivelamento.

Figura 6.10. Aterro do Sudeste de Novos Territórios revestido com membrana de geotêxtil, Hong Kong.



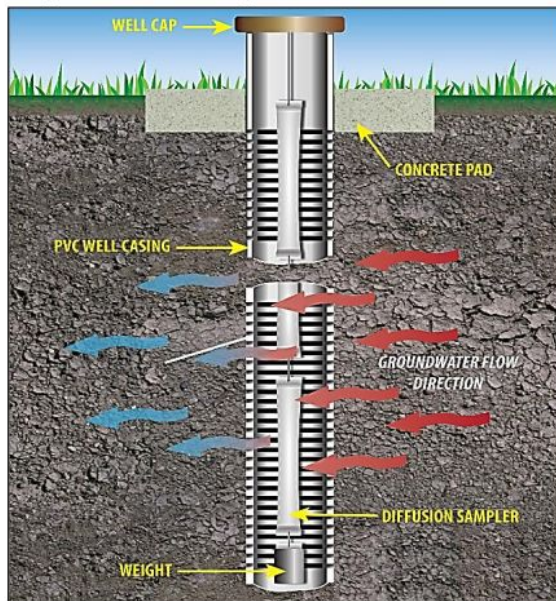
Quando os aterros sanitários estão cheios, eles são cuidadosamente moldados e cobertos com argila ou outro material impermeável para impedir a entrada de água da chuva que pode liberar o chorume. Em seguida, eles são cobertos com solo superficial e aberturas de metano são adicionadas, para permitir que o gás escape. Finalmente, eles são plantados com grama ou outra vegetação para ajudar o local a misturar-se com a área circundante. Em alguns locais, o metano é coletado e usado para produzir energia, portanto reduzindo sua contribuição para os gases de efeito estufa na atmosfera.

Figura 6.11. Série de saídas de gás metano em um antigo aterro paisagístico onde o xisto betuminoso foi escavado no passado, Seafield, West Lothian, Escócia.



Finalmente, em aterros bem administrados, os furos são perfurados nas rochas circundantes e monitorados para poluição das águas subterrâneas (Figura 6.12).

Figura 6.12. Diagrama de um poço típico de monitoramento de água subterrânea.



6.2.4 Poluição

Poluentes são resíduos que contaminam o meio ambiente. Três fatores afetam seu poder poluente: composição química; sua concentração; e sua persistência (por quanto tempo eles permanecem tóxicos).

As águas subterrâneas podem ser poluídas por vazamentos de aterros sanitários, mas também por uma variedade de sistemas industriais e agrícolas processos, conforme mostrado na seção 4.2.1.3. Nessas situações, o monitoramento por poços de água subterrânea como o da Figura 6,12. é muito importante.

Processos semelhantes também podem contaminar as águas superficiais, razão pela qual a água para uso humano e industrial deveria ser tratada antes do uso.

Caixa 6.12. Drenagem ácida de mina.

Um problema em antigas áreas de mineração ocorre quando o bombeamento de água das minas para, e eles enchem com água oxigenada. Isso reage com o minar minerais, dissolvendo-os e trazendo à superfície como água muito ácida e rica em ferro que pode matar toda a vida em qualquer riacho que alcance.

Uma vez que a mina está desativada, muitas vezes não há fundos para lidar com este problema, neste caso ele precisa ser resolvido pelas autoridades locais.



Drenagem de ácido de uma velha mina,
Rio Tinto, Espanha

Uma ampla gama de outros tipos de poluição é reconhecida, além da poluição de águas superficiais e subterrâneas. Estas incluem:

- poluição do ar - produtos químicos, gases e partículas como fuligem lançados na atmosfera;
- contaminação do solo - vazamento de produtos químicos industriais e agrícolas para o solo;
- lixo - o público jogando lixo e despejando ilegalmente;

- poluição luminosa, principalmente das luzes da rua - as pessoas que vivem em áreas urbanas veem menos estrelas no céu noturno do que pode ser visto em áreas mais escuras;
- poluição térmica – a água utilizada na refrigeração de usinas se torna aquecida;
- poluição sonora – incluindo ruído rodoviário, de aeronaves e industrial;
- poluição visual – de minas e pedreiras (veja abaixo), mas também linhas de energia, painéis publicitários, vento
- fazendas, depósitos de lixo e locais industriais abandonados;
- poluição marinha – de resíduos tratados e não tratados despejados no mar.

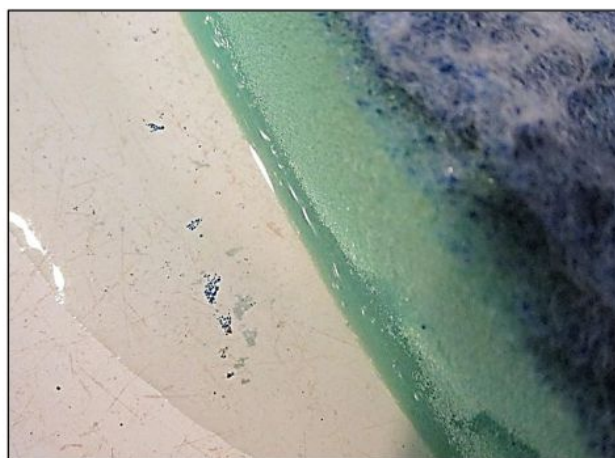
Recentemente, a poluição foi tratada pelo princípio de "o poluidor-pagador", de que aqueles que poluem devem pagar pelas operações de limpeza. Hoje em dia isso geralmente está embutido nos contratos de possíveis indústrias poluentes e mineração e operações de extração; mas onde o poluidor não pode ser encontrado, isso não é possível.

É muito difícil encontrar o poluidor em áreas marinhas, onde existem três fontes principais de poluição: fluxo direto da poluição nos oceanos; escoamento da chuva em córregos e rios; e poluentes da atmosfera. Os poluentes podem fluir diretamente para o mar como esgoto de esgotos ou como resíduos industriais, incluindo resíduos de minas. O escoamento traz poluição da construção de edifícios, estradas e portos e de solos agrícolas, fertilizantes e pesticidas. A poluição atmosférica inclui a poluição veicular, poeira levada pelo vento e detritos lançados de aterros sanitários. Os níveis crescentes de dióxido de carbono na atmosfera parecem estar acidificando os oceanos, impactando particularmente em comunidades de recifes de coral.

O petróleo é um grande poluente oceânico, principalmente devido a grandes derramamentos de petróleo. No entanto, a maior parte da poluição do óleo do oceano vem de petroleiros que bombeiam águas residuais, de dutos com vazamento ou de óleo lançados em ralos na terra.

Resíduos de plástico são um grande problema porque o plástico se decompõe muito lentamente. Pequenos grânulos microplásticos são usados em muitos esfoliantes de cozinha, pastas de dente e cosméticos e agora foram encontrados poluindo ambientes marinhos de áreas costeiras a valas em alto mar. Os animais marinhos comem isso em seus alimentos e estima-se que mais de um terço dos peixes do Canal da Mancha estão contaminados com essas contas. Eles agora foram banidos em vários países e espera-se que sejam eliminados em todo o mundo até 2020.

Figura 6.13. Grânulos microplásticos liberados por uma esponja de limpeza em uma tigela branca; microesferas variam de um milímetro a um centésimo de milímetro de tamanho.



6.2.5 Mineração/pedreira

No passado, minas e pedreiras poluíam visualmente muitas áreas do mundo, causando também ruído e poluição na água e no ar. Hoje em dia, em muitas partes do mundo, existem controles ambientais rígidos, com uma variedade de métodos usados para reduzir a poluição, como na Tabela 5.7. Enquanto isso, muitas áreas de mineração antigas foram construídas, enquanto antigas pedreiras tornaram-se parques rurais e reservas

naturais. Pedreiras antigas podem fornecer uma ampla gama de nichos, como faces rochosas e lagoas, normalmente não disponíveis para a vida selvagem na região, tornando-os atraentes para a natureza e o público.

Figura 6.14. Reserva natural de Heeseberg em uma antiga pedreira, Baixa Saxônia, Alemanha.



6.2.6 Queima de combustíveis fósseis e o efeito estufa

Muitos cientistas pensam, como discutido na Seção 4.3.3 sobre mudança atmosférica, que a queima de combustíveis fósseis têm contribuído para as quantidades crescentes de dióxido de carbono na atmosfera, e isso por sua vez está contribuindo para as alterações climáticas. A queima de combustível libera dióxido de carbono, com o carvão liberando quase o dobro de carbono dióxido como gás natural (ver Figura 5.6). No entanto, outros processos industriais também liberam dióxido de carbono, particularmente a fabricação de cimento de calcário.

A pesquisa está sendo realizada para investigar se o dióxido de carbono formado por esses processos pode ser "capturado" e bombeado para campos antigos de petróleo ou gás e, portanto, não liberado na atmosfera. A pesquisa está mostrando que a 'captura de carbono' (ou captura e armazenamento de carbono, CCS) é possível, mas também possui alto valor econômico.

Portanto, não há, até agora, nenhuma operação de captura de carbono em grande escala em qualquer lugar do mundo (Figura 6.15).

Figura 6.15. Tecnologia de captura de carbono sendo testada em uma mina de carvão.



6.3 Impacto dos humanos na história

O impacto das geociências no curso da história humana, muitas vezes é difícil de ver porque muitos outros fatores estavam operando ao mesmo tempo. No entanto, existem exemplos que mostram em quais processos da Terra houve esses efeitos.

Caixa 6.13. O fim da civilização minóica.

A civilização minóica, que vivia na ilha de Creta no Mar Mediterrâneo, pode ter sido a primeira grande civilização na Europa. Existiu cerca de 6600 a 3400 anos atrás e seu colapso pode ter sido causado pela erupção da ilha vulcânica vizinha de Thera (hoje chamada de Santorini).

A erupção de Thera teve um índice de explosividade vulcânica (VEI) de 6 ou 7 e foi uma das maiores erupções registradas na história. Destruíu a ilha de Thera (Santorini), deixando um enorme cratera e enterrando a cidade minóica de Akrotiri sob camadas de cinza vulcânica. Um tsunami causado pela erupção parece ter destruído muitas cidades costeiras minóicas, possivelmente acompanhadas por terremotos. Pode ser que a erupção enfraqueça tanto os minóicos que o povo micênico, que veio depois, facilmente os conquistou.

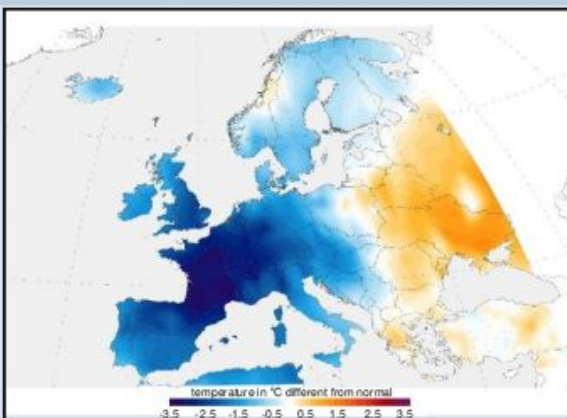


Imagem de satélite atual da cratera Thera (Santorini).

Caixa 6.14. “O ano sem verão”, 1816

1816 foi um ano catastrófico para a agricultura em todo o mundo, fazendo com que dezenas de milhares de pessoas morressem de fome. Acredita-se que este desastre global tenha sido causado pela erupção do Monte Tambora na Indonésia em 1815. Assim como as cinzas, a erupção liberou enormes quantidades de gás dióxido de enxofre na atmosfera. Como resultado, as temperaturas globais foram reduzidas em cerca de 0,5 °C e os efeitos disso incluíram:

- mudanças nas monções indianas causando três colheitas fracassadas;
- temperaturas baixas e chuvas fortes, levando a colheitas malsucedidas em toda a Europa;
- geadas, neve e nevoeiro extenso no verão em todo o cinturão agrícola do centro dos EUA levando milhares de as pessoas migrem para outro lugar;
- o clima frio matando árvores e plantações de arroz no norte da China e inundando o vale do rio Yangtze;
- pintores para pintar quadros de belos pores do sol, causados por cinzas na atmosfera;
- um grupo de autores de férias na Suíça para ficar em casa e fazer um concurso para escrever histórias assustadoras, levando à publicação de Frankenstein e inspirando Drácula.



Queda de temperatura em 1816 na Europa



Canal Chichester, uma cena do pôr do sol pintado na Inglaterra por J.M.W.

6.3.1 Guerra por recursos

Muitas guerras foram disputadas por recursos no passado. Às vezes, os recursos são o principal fator no conflito, embora desempenhem papéis menores em outras ocasiões, mas têm sido claramente peças-chave da guerra e da paz no passado.

Caixa 6.15. Guerras por Água

A região do Oriente Médio inclui os países da Península Arábica e as áreas vizinhas do Egito, Síria, Iraque, Irã e Turquia. Esta área é, às vezes, chamada de "crescente fértil" ou "vale fértil" porque a água, particularmente dos rios Nilo, Tigre e Eufrates, era usada para irrigação e cultivo, formando a base de algumas das primeiras civilizações na Terra, a cerca de 5000 anos atrás. A longa história desta área registra muitas guerras, algumas delas baseadas no abastecimento de água. Por exemplo, o Império Assírio foi construído sob um sistema de irrigação generalizada, e há registros de Reis Assírios destruindo os sistemas de irrigação de seus inimigos ou despejando detritos em canais de irrigação para inundar as cidades de seus inimigos.

Uma das mais recentes "guerras por água" no Oriente Médio foi o conflito pelo Rio Jordão em meados da década de 1960. A Água do Rio Jordão é uma fonte vital de irrigação em Israel. Sem ele, pode ser impossível ajudar a população. No entanto, o Rio Jordão nasce fora de Israel e as região circunvizinhas do Estado Árabe decidiram desviar a água das cabeceiras do Jordão, de onde vêm 35% da água que abastece Israel. Isso foi resistido pelos israelenses na Guerra dos Seis Dias de 1967, levando ao abandono do plano.



O rio Jordão trazendo água para o norte de Israel.

Caixa 6.16. Guerra por Petróleo

Muitas das guerras travadas desde os anos de 1930 foram conhecidas como as "guerras pelo petróleo", porque as reservas de petróleo de um país foi um dos principais fatores, a priori, que causaram a guerra.

A primeira guerra a ser chamada de "guerra pelo petróleo" foi na América do Sul, entre a Bolívia e o Paraguai em meados da década de 1930. Embora vencido pelo Paraguai, dezenas de milhares de soldados morreram e os dois países foram gravemente afetados. Nos anos seguintes, nenhuma quantidade de petróleo comercial foi encontrada na área, embora tanto petróleo quanto gás tenham sido encontrados mais recentemente.

A primeira guerra do Golfo, em 1990, foi desencadeada pela invasão do Iraque ao Kuwait; uma importante razão para a invasão foi às disputas entre os países pelo petróleo. Os campos de petróleo do Kuwait foram incendiados, fortemente afetados, enviando enormes nuvens de fumaça para a atmosfera e causando uma grande poluição. Após o final da guerra, levou-se vários meses para que todos os incêndios fossem apagados e os poços de petróleo tampados.



Campos de petróleo em chamas atrás de um tanque abandonado, Kuwait.

Uma parte importante da estratégia durante a Segunda Guerra do Iraque, que começou em 2003, era para proteger os campos de petróleo do Iraque; e, isso foi concluído sem danos a esses campos.

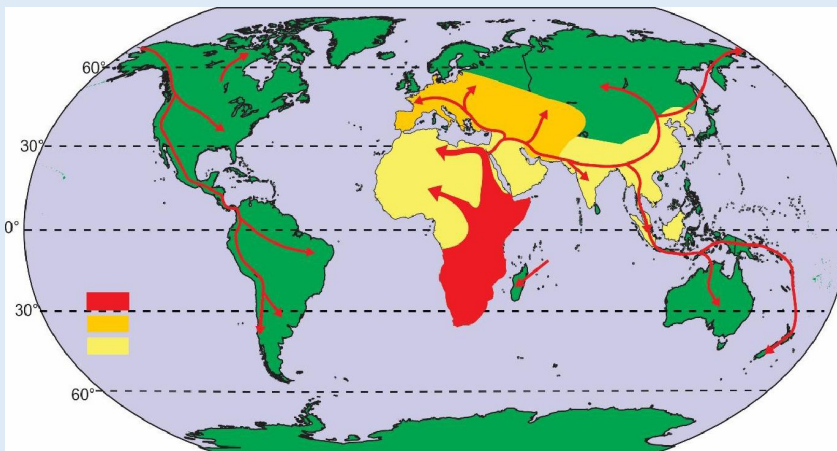
Tem sido argumentado, que muitos outros conflitos em todo o mundo têm como um dos importantes fatores contribuintes, as reservas de petróleo.

6.3.2 Migração devido às mudanças climáticas

As alterações climáticas naturais provocaram a migração de animais e humanos no passado geológico devido às alterações climáticas e as alterações associadas ao nível do mar. As alterações do nível do mar e o movimento dos cinturões climáticos e de placas tectônicas devem ter causado enormes alterações dos habitats no passado geológico, mas temos a maioria das evidências detalhadas de migrações causadas em tempos geológicos mais recentes.

Caixa 6.17. A migração dos primeiros seres humanos para fora de África

A migração dos primeiros seres humanos e de muitos outros grupos também está ligada às alterações climáticas. A teoria da Bomba do Saara explica que durante os períodos mais úmidos, o Norte de África e o Médio Oriente tornaram-se pradaria, permitindo que muitas espécies diferentes pudessem migrar da África para a Ásia. Mas durante os tempos mais secos, estas áreas mudaram de volta para deserto novamente, quando a 'Bomba do Saara' parou. A teoria da bomba tem sido usada para explicar as ondas de migração de vários mamíferos diferentes, incluindo cavalos, bem como de diferentes grupos de humanos primitivos. A primeira migração humana da África para a Ásia parece ter acontecido há cerca de 1,75 milhões de anos. À medida que mais tarde os grupos humanos evoluíram na África, um destes também migrou pela mesma rota, há cerca de 70.000 anos, para colonizar a Ásia e eventualmente a Europa, as Américas e também o resto do mundo.



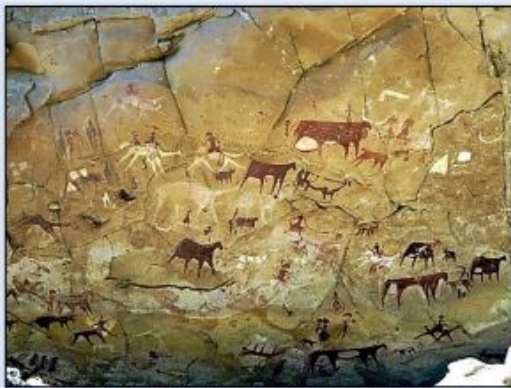
A propagação dos primeiros grupos humanos pelo mundo, com datas de propagação: primeiro - Homo erectus; segundo - Homo neanderthalensis; terceiro - Homo sapiens.

Caixa 6.18. A secagem do Saara

Apenas há cerca de 6000 anos atrás, a área a que agora chamamos Deserto do Sara era uma pradaria com muita precipitação. As pessoas que lá viviam então gravaram cenas na arte rupestre; estas mostraram muitos animais diferentes que devem ter vivido na altitude e nas áreas de pastagem. No sítio de pintura abaixo, os camelos são pintados sobre outros animais e assim deve ter sido adicionado mais tarde. Isto pode registrar o início da mudança climática que deixou muitas partes do Chade como uma das regiões mais secas da Terra, com muita pouca água, vegetação ou vida selvagem.

Hoje em dia, o ar escasso da célula de circulação de Hadley na atmosfera produz um estado muito seco no Saara. Mas as evidências mostram que, as condições equatoriais chuvosas podem se distanciar ainda mais do equador do que são hoje. Isto parece explicar porque é que partes da área do Saara eram tão mais úmidas no passado. Os cientistas continuam a investigar porque é que partes das faixas climáticas podem mover-se desta forma.

Caixa 6.18 A secagem do Saara, continuação.



Manda Guéli Cave, Ennedi Mountains, Chad



Wind-eroded rock formation, Ennedi Mountains, Chad

Caixa 6.19. "Doggerland" na zona do Mar do Norte

Doggerland é o nome dado a uma área, agora sob o Mar do Norte, que costumava ser terra seca que ligava o Reino Unido à Europa.

A área era um amplo vale raso com colinas e pântanos baixos e ricos em vegetação e vida selvagem, habitadas por bandos de caça/coleta de humanos. Isto foi demonstrado pelos achados de dragas submarinas, que arrastou ferramentas e armas pré-históricas, bem como ossos de mamutes, leões e outros animais. Como as calotas de gelo derreteram no final da última era glacial, o nível do mar subiu e gradualmente inundou a área. Um tsunami ligado a um deslizamento submarino no Mar do Norte, há cerca de 8200 anos, pode ter inundado algumas áreas. A subida do nível do mar parece ter finalmente afogado o Doggerland há cerca de 6.000 anos.

Os dados de levantamento sísmico das empresas de exploração petrolífera têm sido utilizados para reconstruir modelos do aspecto de Doggerland no passado, antes dos seres humanos e outros animais selvagens serem expulsos pela subida do nível do mar. A inundação de Doggerland cortou o Reino Unido do continente europeu, tornando a Inglaterra, o País de Gales e a Escócia numa ilha.



Se hoje as alterações climáticas resultam em grandes mudanças no nível do mar ou em grandes movimentos dos cinturões climáticos, podemos esperar no futuro ver mais migrações de diferentes tipos de animais.

7. O sistema terrestre é explorado através de trabalho de campo e prático

Os geocientistas investigam a Terra de muitas formas diferentes, desde a escala atômica até a escala global. Estas vão desde a coleta de dados por observação e medição durante o trabalho de campo até à utilização de técnicas de detecção remota, desde a modelação de processos geológicos no laboratório até à sua modelação em computador, e desde a utilização de dispositivos de observação e medição de alta tecnologia no laboratório até programas de monitorização global envolvendo a geosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera.

Os geocientistas são todos aqueles que trabalham no sistema da Terra, e tem uma vasta gama de especialidades, algumas das quais são mostradas no Quadro 7.1.

Tabela 7.1. Algumas das várias especialidades em geociências

Especialidades em Geociências	Descrição	Imagem	Fonte
Climatologista	Os Climatologistas estudam padrões climáticos ao longo prazo numa região, geralmente com ciclos de 30 anos; o seu trabalho varia desde a coleta de amostras de água, solo, gelo ou sedimentos até à utilização de dados de satélite.		Gravação de dados glaciares, Glacier National Park, Montana, EUA
Engenheiro em Geologia	Os engenheiros em geologia contribuem para grandes projetos de construção através de cartografia geológica, liderando e interpretando operações de perfuração, analisando dados e preparando recomendações e relatórios.		Núcleo de registo na Austrália Ocidental
Geólogo Ambiental	Os geólogos ambientais monitoram o ambiente durante a extração de matérias-primas ou a eliminação de resíduos, e depois suprem os ambientes, utilizando uma vasta gama de dados recolhidos no local e em outros locais.		Revisão de uma área mineira abandonada nos EUA

Geólogo de Exploração	Os geólogos de exploração recolhem dados no campo e ligam-nos a dados cartográficos, geoquímicos, geofísicos e de perfuração no mapeamento de estruturas rochosas subterrâneas durante a exploração de depósitos de petróleo, gás e minerais.		Examinando o núcleo de uma recente perfuração Chile
------------------------------	---	--	---

Tabela 7.1. Algumas das várias especialidades em geociências, continuação.

Especialidades em Geociências	Descrição	Imagem	Fonte
Geoquímico	Os geoquímicos estudam a composição geoquímica da Terra desde a escala atômica até à escala global; a geoquímica é utilizada na prospecção de petróleo, gás e minerais e na monitorização da poluição ambiental.		Estudo da geoquímica dos gases vulcânicos, Mount Baker, Washington , EUA.
Geomorfologista	Os geomorfologistas investigam como a superfície da Terra se forma e é alterada pelos processos terrestres; estudam paisagens ligadas à meteorologia, erosão, rios, costas e glaciação.		Estudo da glaciação, glaciar Rongbuk central, Everest, Nepal.
Geofísico	Geofísicos investigam terremotos e realizam avaliações de riscos sísmicos; interpretam os dados sísmicos recolhidos durante a exploração de petróleo, gás e minerais, realizam investigações no local, e estudam a estrutura da Terra desde a superfície até ao núcleo.		Implantação de um sismómetro no fundo do oceano ao largo de Barbados.

Hidrogeólogo	Os hidrogeólogos não só prospectam a água e avaliam as perspectivas hídricas, mas também monitoram as águas subterrâneas em relação à poluição e aos riscos para a saúde, participam na reabilitação dos locais e estudam a desidratação de minas e pedreiras.		Amostragem de águas subterrâneas na Alemanha.
--------------	--	--	---

Tabela 7.1. Algumas das várias especialidades em geociências, continuação.

Especialidades em Geociências	Descrição	Imagem	Fonte
Meteorologista	Os meteorologistas utilizam uma vasta gama de métodos científicos para medir, compreender, modelar e prever o tempo, a sua física e química.		Medindo a profundidade da neve no Irã
Geólogo de Minas	Os geólogos de minas investigam as ligações entre a geologia e os depósitos de minério para seguir os corpos de minério conhecidos e encontrar novos corpos. Aconselham sobre plano de mineração a curto e longo prazo através de uma série de métodos de levantamento.		Veio de fluorita numa mina, Distrito de Peak, Inglaterra.
Oceanógrafo	Os oceanógrafos incluem especialidades biológicas, químicas, geológicas e físicas. Os oceanógrafos geólogos examinam processos oceanográficos presentes e passados, incluindo tectônica de placas, circulação oceânica e alterações climáticas.		Instalação de equipamento de monitorização do fundo do mar.

Paleontólogo	Os paleontólogos estudam a vida fóssil, dos microfósseis aos dinossauros, estudando a evolução da vida e os ambientes paleonômicos onde as plantas e os animais outrora viveram; os fósseis são utilizados para datar e correlacionar rochas e para dar informações sobre temperaturas e climas passados.		Paleontólogo com o osso da coxa de um grande dinossauro, Zimbabué.
--------------	---	--	--

Tabela 7.1. Algumas das várias especialidades em geociências, continuação

Especialidades em Geociências	Descrição	Imagem	Fonte
Geólogo de pesquisa	Os geólogos de pesquisa trabalham geralmente em universidades, museus ou para departamentos governamentais. Os geocientistas universitários dão palestras a licenciados, lideram programas de doutoramento e publicam a sua própria pesquisa.		Exame das exposições de granito nas Montanhas Fosdick, Antártida.
Sedimentologistas	Os sedimentologistas estudam sedimentos modernos e rochas sedimentares antigas para explorar as suas características e para compreender os processos que os formaram, trabalhando no campo e no laboratório e construindo modelos físicos e informáticos.		Análise do tamanho dos sedimentos no laboratório, Escritório Oceanográfico Naval, Mississippi, EUA.

Cientista de solos	Os cientistas de solos classificam e cartografam os solos, testando as suas propriedades físicas, químicas, biológicas e de fertilidade no campo e no laboratório; eles gerem os solos para a agricultura e remediam os solos em áreas ambientalmente danificadas.		Levantamento de crostas de solo usando um quadrado, Tucson, Arizona, EUA.
Professores	Os professores ensinam geociência a alunos e estudantes desde o nível primário (elementar), passando pelo nível secundário (secundário), até ao nível universitário e mais além, tanto no interior como no exterior.		Um professor discutindo o trabalho de campo com um grupo de alunos perto de Ingleton, Yorkshire, Reino Unido.
Vulcanólogos	Os vulcanólogos pesquisam todos os processos ígneos, incluindo os dos vulcões ativos, estudando erupções, fluxo de lava e libertação de gases vulcânicos para determinar como poderão se comportar no futuro.		Amostras de teste na cratera do vulcão Mutnovsky, Kamchatka, leste da Rússia.

Os geocientistas devem seguir o Juramento Geoética em todos os momentos durante o seu trabalho.

Caixa 7.1. O juramento da Geoética

Eu prometo...

- *Praticarei as geociências estando plenamente consciente das implicações sociais, e farei o meu melhor para a proteção do sistema terrestre em benefício da humanidade.*
- *Compreendo as minhas responsabilidades para com a sociedade, as gerações futuras e a Terra para com o desenvolvimento sustentável.*
- *Colocarei o interesse da sociedade em primeiro lugar no meu trabalho.*
- *Nunca abusarei dos meus conhecimentos geocientíficos, resistindo a constrangimentos ou coerção.*
- *Estarei sempre pronto a fornecer a minha assistência profissional quando necessário, e serei imparcial na disponibilização dos meus conhecimentos às autoridades.*
- *Continuarei a desenvolver os meus conhecimentos geocientíficos ao longo da minha vida.*
- *Manterei sempre a honestidade intelectual no meu trabalho, estando consciente dos limites das minhas competências e aptidões.*
- *Atuarei para fomentar o progresso nas geociências, a partilha de conhecimentos geocientíficos, e a disseminação da abordagem geoética.*
- *No meu trabalho como geocientista terei sempre todo o respeito pelos processos da Terra.*

Eu prometo!

Esta importante promessa deve ser feita por todos os que estudam geociência, e pode ser simplificada para:

Eu prometo...

- *Trabalharei em geociência para melhor proteger os povos da Terra e todos os sistemas terrestres.*
- *Compreendo que é minha função ajudar a proteger a Terra para o futuro, através do desenvolvimento sustentável.*
- *Vou colocar o interesse de todas as pessoas em primeiro lugar no meu trabalho.*
- *Nunca abusarei dos meus conhecimentos geocientíficos, independentemente do que outras pessoas possam dizer ou fazer.*
- *Estarei sempre pronto a utilizar os meus conhecimentos de geociência de forma útil, e tentarei proporcionar uma visão equilibrada às pessoas que tomam decisões.*
- *Desenvolverei os meus conhecimentos geocientíficos ao longo da minha vida.*
- *Serei sempre tão honesto quanto puder ser.*
- *Tentarei fazer avançar o estudo da geociência, partilhar conhecimentos de geociência, e ajudar todos a comportarem-se geoeticamente.*
- *Respeitarei sempre os processos terrestres nos meus estudos geocientíficos.*

Eu prometo!



Os geocientistas em formação e durante a sua vida profissional utilizam uma vasta gama de competências para observar, medir e monitorizar o ambiente, para reunir as suas observações para explicar como funcionam os ambientes hoje e no passado geológico, e para pesquisar questões e problemas geológicos.

O trabalho de campo só deve ser realizado quando cuidadosamente avaliado o risco, seguindo os códigos de saúde e de segurança e os códigos de conduta geológicos. Detalhes sobre todas estas áreas estão disponíveis gratuitamente na Internet.

7.1 Observação medição e registro

A observação, medição e registro geocientífico é realizada em várias escalas, desde a microscópica até à escala da paisagem e a uma escala maior. Muitos dos métodos utilizados são apresentados na tabela 7.2.

Tabela 7.2. Métodos usados para observar e registrar o ambiente e características geocientíficas

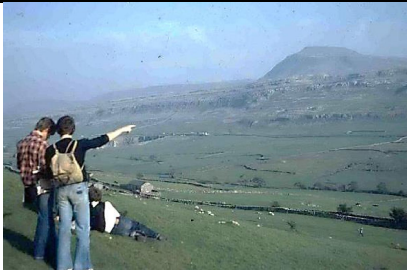
Método	Descrição	Imagem	Fonte
Observação microscópica	Utilização de uma única ocular ou microscópio binocular para observar de perto os materiais de terra.		Observação de diamantes microscópicos, Suazilândia.
Observação da lente de mão	Para usar uma lente de mão no laboratório ou no campo, coloque-a perto do olho e traga o material para perto para obter a melhor vista. Isto não pode ser mostrado numa imagem de câmara, como o oposto.		Observar um fóssil com uma lente de mão.
Observação de paisagem	Observar a paisagem como uma ajuda à cartografia geológica, concentrando-se nas quebras e ângulos de inclinação e mudanças de vegetação.		Observação paisagística no Yorkshire Dales, Inglaterra.
Observação utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	As características geológicas podem ser destacadas em SIG, bem como fotografias aéreas e imagens de satélite.		Imagem de satélite de sequências de rochas dobradas no deserto argelino.
Medição de campo e de laboratório	Medição do ângulo de imersão e direção de uma camada inclinada; o ângulo de imersão é medido usando um clinômetro para dar o ângulo de inclinação mais acentuada para baixo entre 0-90°; a direção de imersão é a direção de maior inclinação para baixo e é uma bússola com rumo de 0- 360°.		Medir a imersão de uma camada no Reino Unido

Tabela 7.2. Métodos usados para observar e registrar o ambiente e características geocientíficas, continuação.

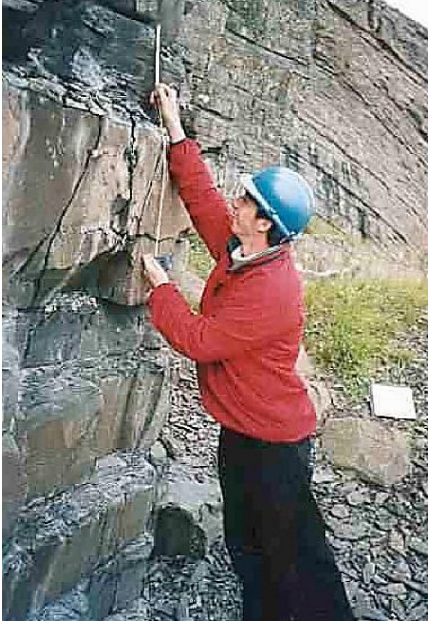
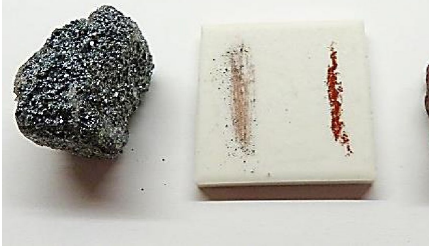
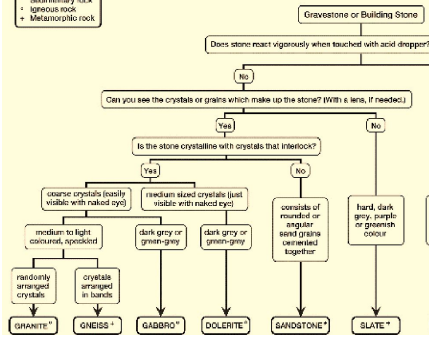
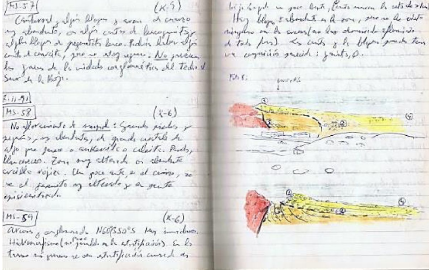
Método	Descrição	Imagem	Fonte
Medida de campo e laboratório	Medição das diferenças de espessura das camadas.		Medição da espessura das camadas em Aberystwyth Grits, no País de Gales.
Testes de campo e de laboratório	Rochas e minerais podem ser testados para uma gama de propriedades no laboratório e no campo.		A sequência de amostras hematitas.
Aplicação de sistemas de classificação de minerais, rochas, fósseis, texturas rochosas, estruturas rochosas, composições rochosas, etc., com livros de referência como guia.	Podem ser utilizados sistemas de classificação de minerais, rochas, fósseis, texturas rochosas, estruturas rochosas, composições rochosas, etc., com livros de referência como guia.		A chave de descrição de rochas da Unidade de Educação das Ciências da Terra.
Notas de registro	Notas de características geológicas são cuidadosamente registadas, com detalhes da data, das localidades visitadas, das características encontradas e das suas orientações, em cadernos de notas ou em tablets.		Notas de campo em geologia.

Tabela 7.2. Métodos usados para observar e registrar o ambiente e características geocientíficas, continuação.

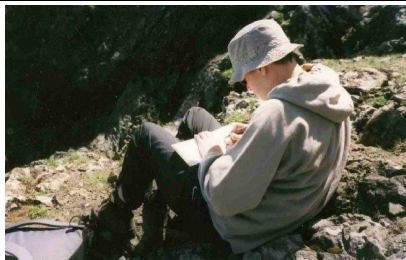
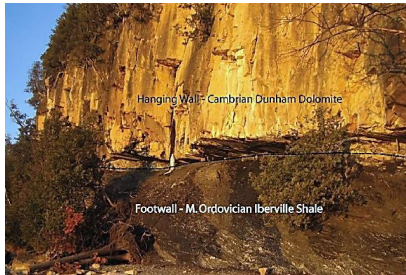
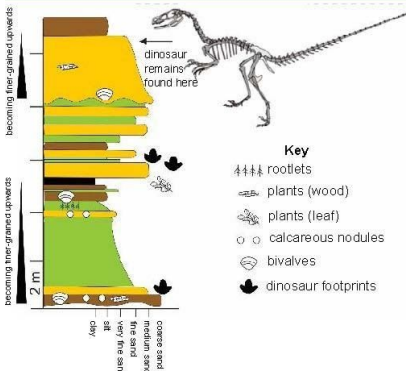
Método	Descrição	Imagem	Fonte
Registro dos diagramas em laboratório e no campo	Os diagramas são desenhados à escala e rotulados, e as suas localidades e orientações são anotadas.		Registro de um diagrama de campo em Strumble Head, no País de Gales.
Registro fotográfico	As fotografias fazem registros valiosos, particularmente quando anotadas ou acompanhadas por diagramas de campo.		Registro fotográfico - Champlain Thrust, Lone Rock Point, Burlington, Vermont, EUA.
Desenho de um registro gráfico	Os toros gráficos ou estratigráficos são desenhados à escala vertical, mostrando o tamanho do grão pela largura do toro, e tipos de rochas sedimentares pela cor ou sombreamento; outras características tais como estruturas sedimentares ou horizontes fósseis são acrescentados.		Diário estratigráfico da formação Kitadani, rica em fósseis do Cretáceo Inferior, perto da cidade de Katsuyama, Japão.
Observação meteorológica	As medições regulares são feitas em um abrigo meteorológico (Tela Stevenson).		Abrigo meteorológico o que protege os instrumentos meteorológicos, com um pluviômetro à direita.

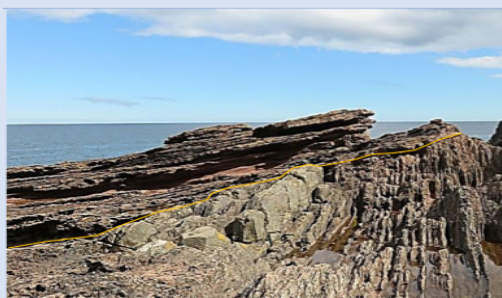
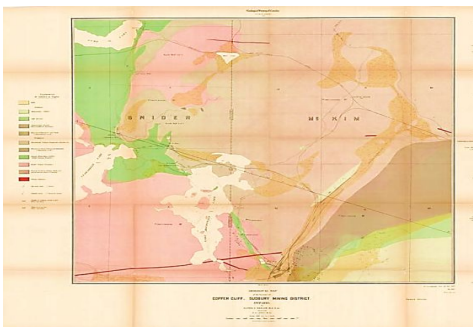
Tabela 7.2. Métodos usados para observar e registrar o ambiente e características geocientíficas, continuação.

Método	Descrição	Imagem	Fonte
Amostras de qualidade do ar	A qualidade do ar é monitorada, particularmente nas zonas urbanas e urbanas.		Amostras de qualidade do ar em França.
Fossas de escavação de solo	Os perfis do solo através das camadas horizontais nos solos são medidos através de poços de escavação.		Fosso do solo nos contrafortes dos Cárpatos, Polónia.
Amostras de qualidade da água	A água é controlada quanto à qualidade utilizando uma série de testes.		Teste da qualidade da água, Port Macquarie, New South Wales, Austrália.
Amostras oceanográficas	As medições regulares são feitas no mar utilizando uma vasta quantidade de dispositivos.		Amostras da coluna de água no oceano ao largo da Austrália.

7.2 Síntese das observações

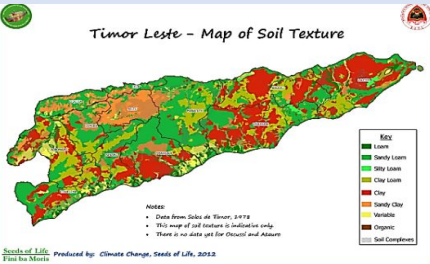
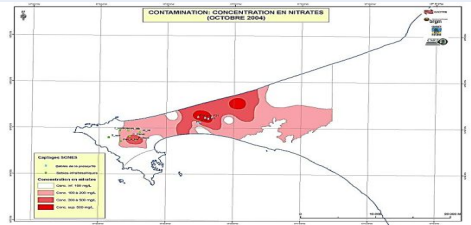
Na medida em que as observações de campo são coletadas, elas são colocadas juntas em modelos flexíveis do processo geológico, do processo histórico ou da distribuição espacial em estudo, conforme mostrado na Tabela 7.3. Essas imagens são construídas juntas para ajudar ao observador saber quais observações adicionais são necessárias e a melhor forma de coletá-las.

Tabela 7.3. Construindo observações geocientíficas em modelos e mapas

Método	Descrição	Imagem	Fonte
Interpretação Paleambiental	Os geocientistas usam as pistas que observaram nas rochas sedimentares para construir uma imagem de como era a área quando os sedimentos foram depositados.		Diorama do período Jurássico no Museu Smithsonian de História Natural, Washington DC, EUA
História de resfriamento de uma rocha ígnea	Em rochas ígneas com grandes cristais separados, esses cristais começaram a crescer mais cedo na história do magma antes de se introduzir em uma área mais fria e resfriar mais rapidamente, formando uma base mineral de granulação mais fina.		Grandes cristais de feldspato em uma rocha ígnea, de fundo de granulação mais fina - mostrando resfriamento em dois estágios, perto de Porto, Portugal.
Construindo uma história geológica	Aqui, os sedimentos inferiores foram depositados, formados em rochas e depois inclinados verticalmente por um episódio de formação de montanha; após a erosão, as rochas inclinadas foram colocadas por cima antes de serem inclinadas e erodidas.		A inconformidade descoberta por James Hutton em Siccar Point, na Escócia (marcada com uma linha laranja).
Desenho de um mapa geológico	As observações da superfície de exposições de rochas, padrões de drenagem e mudanças nos limites geológicos de marcação de declive são reunidas no desenho de um mapa geológico - uma visão aérea das rochas da área se todo o solo sobrejacente fosse removido		Mapa geológico de Copper Cliff, Sudbury Mining District, Ontário, Canadá.

Construindo uma seção transversal geológica	A construção de uma seção transversal mostra a estrutura geológica subterrânea		A seção transversal do mapa do Copper Cliff citado acima
--	--	--	--

Tabela 7.3. Construindo observações geocientíficas em modelos e mapas

Desenhando um mapa do solo	Os cientistas do solo mapeiam os solos de superfície de acordo com suas características; mapas de solo são usados no planejamento agrícola		Mapa de solos da ilha de Timor
Desenhando um mapa de contaminação	Hidrogeologistas mapeiam a contaminação das águas subterrâneas		Mapa da contaminação das águas subterrâneas por nitrato no Península Cap-Vert, Senegal

7.3 Investigação e teste de hipóteses

Os geocientistas realizam investigações em busca de evidências para responder às questões geocientíficas.

- Primeiro, eles pegam questões que estão postas ou identificam por si mesmos uma pergunta que precisa ser respondida ou uma hipótese ou ideia que precisa ser testada.
- A próxima etapa é montar um plano para investigar a hipótese ou testar a ideia, que será flexível o suficiente para ser alterado durante a investigação se os resultados iniciais não forem os esperados ou fornecerem informações inúteis.
- Um processo de avaliação de risco é realizado e anotado.
- Em seguida, o plano é executado, mudando e evoluindo à medida que mais informações são coletadas.
- Conforme os dados são coletados, eles são processados de diferentes maneiras, por exemplo, mapeando, desenhando seções transversais, realizando cálculos, plotando dados por diferentes meios ou construindo modelos, incluindo modelos físicos, modelos computacionais e modelos matemáticos.
- Conforme os resultados são coletados, eles são avaliados para construir um quadro geral em resposta à pergunta original, para localizar informações incomuns que podem ou não ser importantes e para orientar a coleta de mais dados.
- Durante esse processo, os resultados devem ser repassados a quem se interesse pela informação, por meio de diversos métodos, incluindo relatórios, apresentações e publicações acadêmicas.

Caixa 7.2. Investigações de mapeamento geológico

Em resposta à pergunta "Onde as formações geológicas e os limites entre elas aparecem nesta área?" um geólogo produziria um mapa geológico.

Os mapas geológicos são vistas planificadas (vistas de cima) de uma área que mostra onde os limites entre as formações geológicas seriam vistos, se todo o solo, edifícios e outros materiais sobrejacentes fossem removidos. Os mapas geológicos são complexos porque os limites entre as formações devem primeiro ser identificados e, em seguida, suas posições devem ser representadas em mapas topográficos, considerando o relevo da topografia. Para fazer isso, os geólogos devem saber exatamente onde estão no mapa topográfico o tempo todo, medindo a orientação, usando fotos aéreas ou de satélite ou usando Sistemas de Posicionamento Global (GPS).

Quando tudo isso é bem-sucedido, os resultados mostram claramente o resultado da investigação, as respostas às perguntas que foram sugeridas e as hipóteses e ideias que foram testadas com sucesso, ou então, que nenhum resultado foi possível devido à falta de evidências.

Caixa 7.2. Investigações de mapeamento geológico, continuação

Uma linha que mostra um limite geológico é bastante fácil de traçar em um mapa se a diferença entre as duas formações for clara, se o limite estiver bem exposto e se o limite estiver quase vertical. Onde os limites são quase horizontais, a forma do limite é controlada de perto pela forma do solo (a topografia) e, portanto, pode ser complexa.

Geólogos traçam mapas em mapas de base topográfica no campo. Primeiro, eles identificam a fronteira que desejam mapear e, em seguida, marcam a posição da fronteira em seus mapas básicos usando orientações, fotos ou sistemas GPS. Eles então seguem o limite, inclinação da rocha e outras informações, traçando a posição do limite à medida que avançam. Onde o limite desaparece sob o solo, eles usam características de superfície, como mudanças na inclinação, vegetação, drenagem ou mudanças na cor do solo ou fragmentos de rocha escavados por animais escavados, para ajudá-los a encontrar o caminho mais provável para o limite. Quando o limite fica exposto novamente, eles podem ajustar seu "mapeamento de recursos" conforme necessário. Os limites geológicos representados incluirão os limites da formação, falhas e o deslocamento dos limites por falhas e outras características, como inconformidades ou margens de intrusões; direções de movimento de falha também são registradas.

Conforme os geólogos estão mapeamento, as depressões e instruções de imersão de quaisquer planos de estratificação são registados e representados graficamente, uma vez que estes podem dar um guia para a história estrutural da sequência, por exemplo, mostrando onde rochas inclinadas, anticlinais, sinclinais e falhas são encontradas.



Fronteira geológica entre arenito cinza e granito claro de granulação fina, Sea Point, Cidade do Cabo, África do Sul



Uma grande mudança na inclinação na fronteira geológica entre as rochas ígneas resistentes de um peitoril à direita e as rochas sedimentares mais fracas à esquerda, a Muralha de Adriano no norte da Inglaterra

Caixa 7.3. Uma investigação de prospecção de diamantes

Os diamantes vêm de rochas vulcânicas chamadas kimberlitos, normalmente encontradas em tubos vulcânicos verticais, mas também podem formar diques e peitoris. Os diamantes são raros em kimberlitos; muito mais comuns são outros minerais kimberlíticos, como granadas, de modo que os prospectores não procuram diamantes, mas granadas kimberlíticas.

Amostragem de riacho e solo de uma área do sul da África descobriu uma estreita área de tendência Norte-Sul de solo com cerca de 1 km de comprimento, rica em minerais kimberlíticos e três diamantes microscópicos. A hipótese de trabalho era que eles devem ter vindo de um dique kimberlito de tendência Norte-Sul contendo diamantes. Assim, uma série de trincheiras Leste-Oeste foi escavada até o leito rochoso jurássico, procurando o dique, mas nenhum dique foi encontrado.

A base rochosa jurássica era basicamente arenito, com alguns leitos de argila, e inclinava-se para o oeste. Era um leito de argila rico em granadas kimberlíticas e alguns diamantes, e seu afloramento Norte-Sul havia produzido a zona de solo rica em granadas. Isso era muito incomum: nunca antes se descobriu que rochas sedimentares antigas na África continham grandes quantidades de minerais kimberlíticos e diamantes.

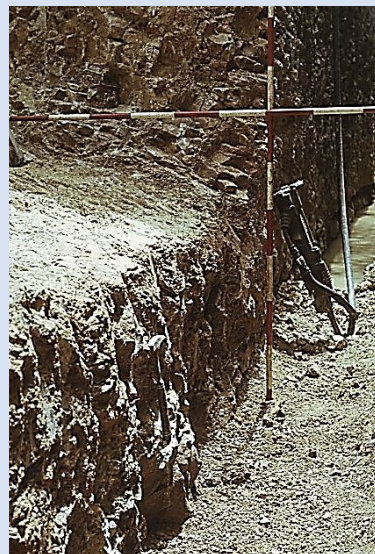
A investigação, então, precisava avançar em duas direções. O depósito teve que ser testado para descobrir se era rico o suficiente em diamantes para valer a pena minerar. Enquanto isso, a prospecção teve que continuar, para encontrar a fonte original dos diamantes, na esperança de que também fosse minerável.

As medições foram feitas na estratificação cruzada do arenito, o que mostrou que o rio que depositou os arenitos no período jurássico fluía do oeste. Essa era uma boa notícia porque, se a fonte original dos minerais e diamantes fosse um tubo de kimberlito, ele ainda poderia estar exposto. Se a fonte fosse para o Leste, teria sido enterrada sob mais arenitos do Jurássico; se tivesse sido para o Sul ou para o Norte, também poderia ter sido enterrado.

Assim, outro programa extenso de amostragem de riachos e solo foi realizado a oeste e, finalmente, uma área circular de solo rico em granadas foi encontrada. Quando foi escavado, descobriu-se que era um kimberlito rico o suficiente em diamantes para ser minerado. A mina proveu diamantes com sucesso por mais de quinze anos. Enquanto isso se descobriu que o depósito original não continha diamantes suficientes para valer a pena ser minerado aos preços de diamantes disponíveis na época, embora ainda possa ser minerado no futuro.



Escavando trincheiras no leito rochoso (antes dos regulamentos modernos de saúde e segurança)



Uma camada de argila rica em diamantes



Arenito jurássico com estratificação cruzada, mostrando o fluxo do antigo rio vindo do oeste (esquerda).

Glossário

Cada um desses termos é mostrado em **negrito** ou perto de onde aparece pela primeira vez e, em seguida, é definido no texto. Use seu "localizador" para encontrar o primeiro uso do termo e sua definição lá.

Datação absoluta	Fóssil	Polaridade magnética normal
Prisma de acréscimo	Geosfera	Dobra aberta
Agregado	Condição de efeito estufa	Sistema aberto
Albedo	Efeito estufa	Fusão parcial
Anticlíneo	Lençóis freáticos	Permafrost
Aquífero	Perigos	Permeabilidade
Água artesianas	Meia vida	Pluton
Asteróide	Alta pressão	Porosidade
Atmosfera	Hidrosfera	Feedback positivo
Margem cozida	Condição de glaciação	Teoria das placas tectônicas
Batólito	Rocha ígnea	Rocha plutônica
Cama	Impermeável	Poluente
Big bang (teoria)	Infiltração	Processo
Corpo fóssil	Rocha ígnea intrusiva	Produto
Biosfera	Arco de ilhas	Curva de decaimento radioativo
Captura de carbono	Dobra isoclinal	Datação radiométrica
Cimentação	Junta	Metamorfismo regional
Sistema fechado	Laminação	Datação relativa
Cometa	Deslizamento de terra	Remediação
Compactação	Desabamento	Energia renovável
Condensação	Lixiviado	Tempo de residência
Aquífero confinado	Litificação	Polaridade magnética invertida
Margens de placa conservadoras	Litosfera	Falha reversa
Teoria da deriva continental	Pressão baixa	mecanismo de cume-impulso
Margens convergentes	Eclipse lunar	Rocha
Correlação	Magma	Zona saturada
Margens da placa divergente	Câmara de magma	Teoria de espalhamento do fundo do mar
Dique	Mecanismo de convecção do manto	Rocha sedimentar
Efeito de estufa aprimorado	Extinção em massa	Ondas sísmicas
Erosão	Auréola metamórfica	Sismômetro
Epicentro	Rochas metamórficas	Mecanismo da tração de placa
Evaporação	Metamorfose	Ciclo de carbono curto
Rocha ígnea extrusiva	Raízes da montanha	Terra Slushball
Falha	Mineral	Terra Bola de Neve
Plano de falha	Mitigação	Ciclo do supercontinente
Comentários	Riscos naturais (ver perigos)	Peitoril
Poços jorantes	Seleção natural	Solo
Foco	maré de quadratura	Eclipse Solar
Dobra	Hipótese nebular	
Dobradilha dobrável	Feedback negativo	
Membro dobrado	Falha normal	

Primavera	Sistema	Tubo vulcânico
Maré de primavera	Metamorfismo térmico	Plug vulcânico
Falha	Falha de impulso	Rocha vulcânica
colisão-deslizamento	Dobra apertada	Intemperismo
Subducção	Falhas de transformação	Ciclo da água
Desenvolvimento	Transpiração	Lençol freático
sustentável	Ponto de viragem	Poço
Sinclinal	Traço fóssil	Ciclo Wilson (ou ciclo J. Tuzo Wilson)

Glossário de elementos, compostos e íons

Elementos	Compostos	Íons
Al – alumínio	CaO – óxido de cálcio, cal	Cl ⁻ – íon cloreto
Au - ouro	Ca(OH) ₂ – hidróxido de cálcio, cal hidratada	HCO ₃ ⁻ – íon hidrogenocarbonato
Ca – cálcio	CaCO ₃ – carbonato de cálcio, calcita	K ⁺ – íon potássio
Cl – cloro	CaSO ₄ . 2H ₂ O – sulfato de cálcio dihidratado, gipso	Mg ²⁺ – íon magnésio
Fe – ferro	CH ₄ – gás metano	Na ⁺ – íon sódio
H – hidrogênio	CO ₂ – gás dióxido de carbono	SO ₄ ²⁻ – íon sulfato
K – potássio	CuFeS ₂ – pirita de cobre e ferro, chalcopyrite	
Mg – magnésio	Fe ₃ O ₄ – óxido de ferro, hematita	
Na – sódio	FeS – sulfeto de ferro (II), pirita	
O – oxigênio	KCl – cloreto de potássio, potassa	
Pb - chumbo	NaCl – cloreto de sódio, halita	
S – enxofre	PbS – sulfeto de chumbo, galena	
	SiO ₂ – dióxido de silício, quartzo	

