

21

Explorando o planeta Terra



Fotografia do interior da Gruta dos Morcegos, no Parque Nacional da Tijuca. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

Atualmente, explorações científicas no planeta e fora dele, utilização de instrumentos que registram vibrações, análise de fenômenos naturais e diversas imagens de satélite nos dão cada vez mais informações sobre o planeta em que vivemos. Alguns instrumentos foram essenciais para o entendimento, por exemplo, de como a Terra é por dentro.

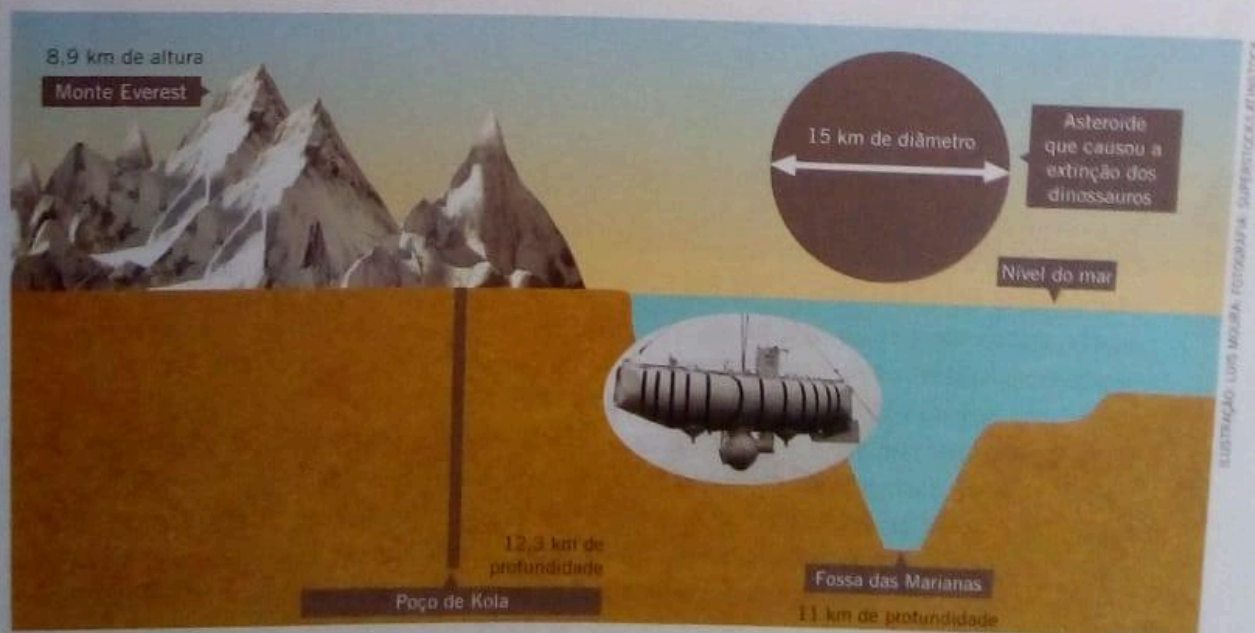
Refleta por alguns instantes e, junto com seus colegas, conversem sobre as características internas do planeta Terra que vocês conhecem. Essas características foram sugeridas a partir de que tipo de observação? Quanto do interior do planeta os seres humanos já foram capazes de explorar?

1 Escavando a superfície do planeta

Usando ferramentas simples como uma pá de jardinagem, quanto de profundidade do solo nós conseguimos cavar no quintal de casa, em um parque, na praia ou mesmo na escola? E para construir as fundações de um prédio, quantos metros abaixo do nível do solo precisam ser escavados?

Com o objetivo de estudar a crosta terrestre, a perfuração mais profunda já realizada é conhecida como **Poço Superprofundo de Kola**. A península de Kola localiza-se no extremo norte da Rússia, na fronteira com a Finlândia. As perfurações em Kola começaram na década de 1970 e tinham como objetivo chegar a 15 mil metros abaixo do solo. Em 1994, entretanto, o projeto foi abandonado quando o poço atingiu 12 262 metros, e a perfuração tornou-se inviável devido às altas temperaturas nessa profundidade, cerca de 180 °C, pois as brocas poderiam derreter.

Para ter uma ideia e comparar medidas, o **Monte Everest** é a montanha mais alta do planeta Terra. Seu pico tem aproximadamente 8 900 metros acima do nível do mar. Já a **Fossa das Marianas** é o local mais profundo dos oceanos, com cerca de 11 mil metros de profundidade. Uma expedição tripulada com dois mergulhadores atingiu, em 1960, aproximadamente 10 900 metros de profundidade nessa localidade, e o asteroide que caiu sobre a Terra, há cerca de 65 milhões de anos, causando a extinção dos dinossauros, tinha cerca de 15 mil metros de diâmetro.



Representação dos extremos do planeta Terra: o Monte Everest e a Fossa das Marianas. No detalhe, vista do Batiscafo Trieste, submarino utilizado na investigação oceanográfica da Fossa das Marianas, em 1960. Elementos fora de escala de tamanho e de proporção. Cores fantasia.

2 Medindo o tamanho da Terra

Qual é a distância entre a superfície da Terra e seu núcleo? Segundo registros históricos, há mais de dois mil anos, Eratóstenes foi o primeiro a ser capaz de estimar o diâmetro da Terra usando cálculos matemáticos. Ele chegou à conclusão de que a Terra teria 12 494 quilômetros de diâmetro. Hoje, modernos e sofisticados sistemas de medidas mostram que Eratóstenes errou sua estimativa do diâmetro terrestre em apenas 246 quilômetros!

A ideia de Eratóstenes

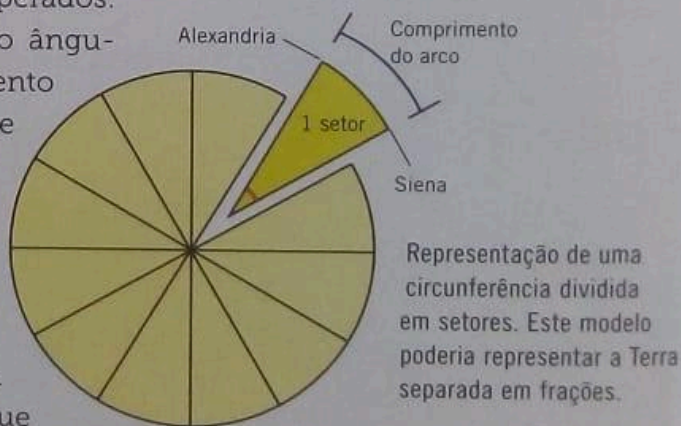
Na época em que Eratóstenes viveu, a hipótese de que o planeta Terra é aproximadamente uma esfera já era aceita. Dessa forma, ele pensou que poderia medir o tamanho aproximado do nosso planeta se usasse cálculos para medir uma circunferência.

Eratóstenes imaginou a Terra cortada ao meio e dividida em setores iguais. Ele sabia que uma circunferência tem 360° e, então, se descobrisse o ângulo de um desses setores, poderia dividir 360 por esse ângulo e encontrar o número de setores iguais da circunferência que representa o planeta Terra.

Ele determinou que um desses setores teria a borda exterior (ou seja, o comprimento do arco) indo de Alexandria até Siena, duas cidades no Egito. Ele teria de calcular a distância entre Alexandria e Siena e medir o ângulo central do setor que as duas cidades formavam. Veja no esquema abaixo.

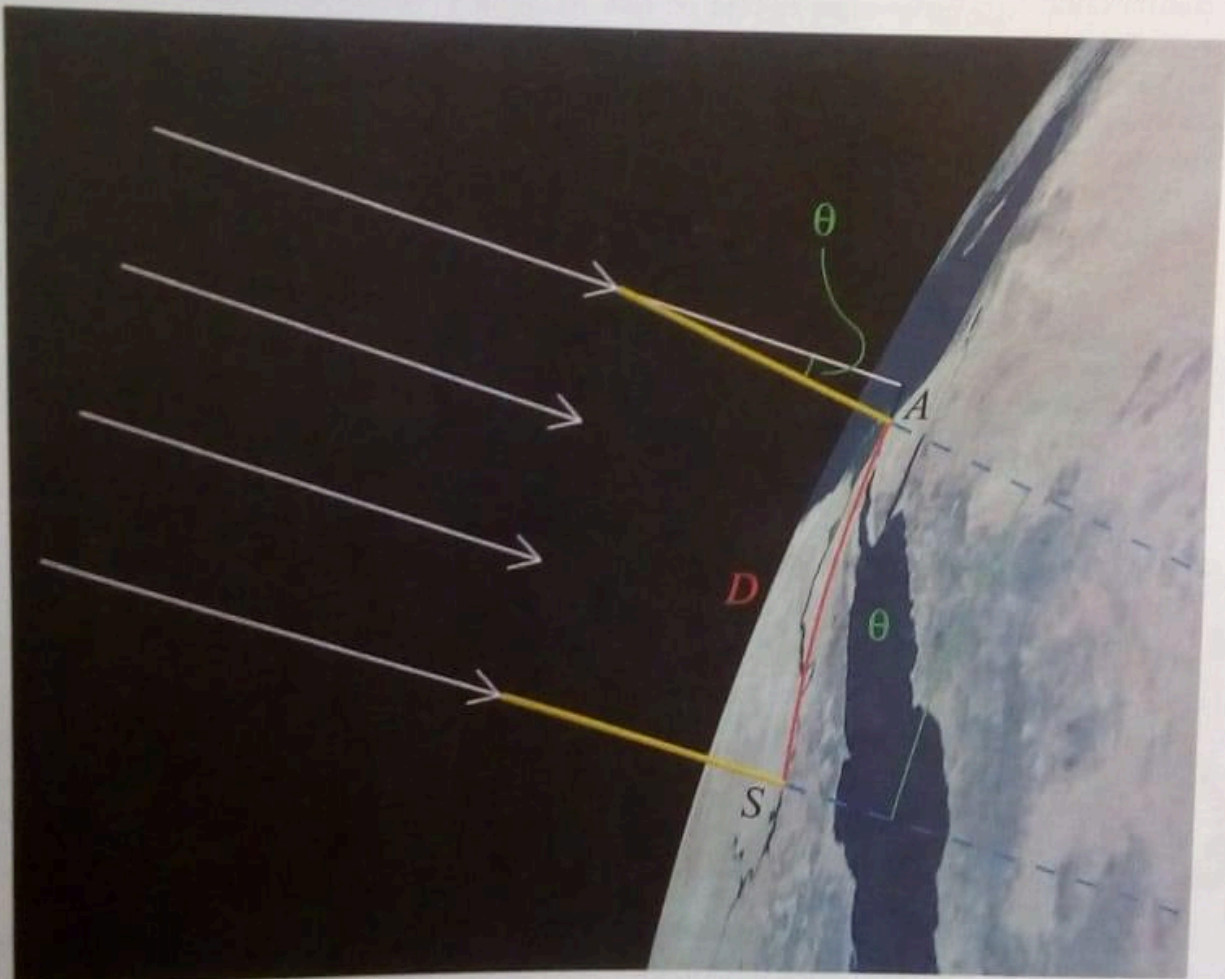
Dois desafios precisavam ser superados: primeiro, era necessário descobrir o ângulo. Depois, descobrir o comprimento do arco, ou seja, a distância entre Alexandria e Siena.

Para o primeiro desafio, Eratóstenes imaginou que poderia usar o Sol. Ele sabia que no dia 21 de junho, exatamente ao meio-dia, o Sol brilharia direto dentro de um poço em Siena e iluminaria seu fundo sem que nenhuma sombra fosse projetada em suas paredes. Na mesma hora, em Alexandria, o Sol incidiria sobre uma vara (um gnômon astronômico), e uma sombra seria projetada dela. Ele sabia que o ângulo formado pela luz solar incidindo sobre Alexandria seria o mesmo que o setor estaria formando no centro da Terra. Naquele dia, Eratóstenes mediu um ângulo de $7,2$ graus em Alexandria (representado pela letra grega θ , na figura da página seguinte). Depois, dividiu 360 por 7,2 e obteve 50 (que seria o número de setores da circunferência Terra). Isso significava dizer que, multiplicando a distância entre Alexandria e Siena por 50, ele descobriria o comprimento da circunferência do planeta.



Para o segundo desafio, Eratóstenes contou com a ajuda do rei Ptolomeu III, que emprestou a ele os serviços de **bematistas**, o que lhe possibilitaria medir com certa precisão a distância entre Alexandria e Siena. Como o apoio do rei e os conhecimentos dos bematistas, Eratóstenes descobriu que a distância entre as cidades correspondia ao tamanho de 5 mil estádios gregos de jogos esportivos. E concluiu que o comprimento da circunferência da Terra era equivalente a 39 250 quilômetros e, portanto, seu diâmetro media cerca de 12 494 quilômetros.

Bematista: pessoa treinada para caminhar com passos sempre do mesmo tamanho.



Representação do experimento de Eratóstenes. As setas brancas representam os raios solares. A letra S aponta a cidade de Siena. A letra A, a cidade de Alexandria. D é a distância medida pelos bematistas, que correspondia a 5 mil estádios gregos de jogos esportivos. O ângulo representado pela letra grega θ foi medido por Eratóstenes e vale $7,2^\circ$. Usando seus conhecimentos de Geometria, Eratóstenes sabia que esse ângulo seria o mesmo que o setor estaria formando no centro da Terra.

Comparando os cerca de 12 quilômetros abaixo do solo que fomos capazes de explorar até agora com os cerca de 12 mil quilômetros de diâmetro do planeta, podemos concluir, equivocadamente, que não temos muita informação sobre o interior da Terra. Então, como os modelos científicos do planeta foram construídos? Com base em quais evidências podemos saber o que há no interior do planeta?

3 A estrutura interna do planeta Terra

Onda sísmica: onda que se propaga através do planeta Terra, geralmente como consequência de um sismo ou devido a uma explosão.

Ondas, sejam elas de luz, de som ou **sísmicas**, têm uma propriedade: elas são capazes de se propagar em materiais e, mais do que isso, se propagam em diferentes materiais com velocidades diferentes. Com a mudança de velocidade, muda também a direção da onda, propriedade conhecida como **refração**. Na unidade 7, você estudou que a luz se propaga no ar mais rápido do que na água e, como consequência, ao mudar de meio material, ela muda de direção.

As ondas de choque associadas aos movimentos naturais que ocorrem no interior do nosso planeta – e que, eventualmente, podem ser percebidas por nós como tremores de terra – podem ser captadas, ampliadas e registradas por equipamentos chamados **sismógrafos**.



Quando uma onda, como a luz, passa de um meio material para outro, como do ar para a água, a sua velocidade muda e, em consequência, há um desvio na sua direção (refração). Podemos ver isso quando olhamos para um lápis dentro de um copo com água e ele parece "quebrado".



ADHITA HENDRAPACIFIC PRESS/ALAMY
LIVE NEWS/TOPIARENA

Especialista analisando ondas sísmicas captadas por um sismógrafo. Centro de Vulcanologia e Mitigação de Riscos Geológicos, Pasuruan, Indonésia, 2015.

Ao se propagar em diferentes materiais, as ondas sofrem refração, como no experimento do lápis no copo com água, ou podem retornar para o local de origem. Estudando a velocidade das ondas e como elas são refratadas, especialistas podem inferir sobre a ocorrência de diferentes materiais e sua disposição no interior da Terra com precisão.

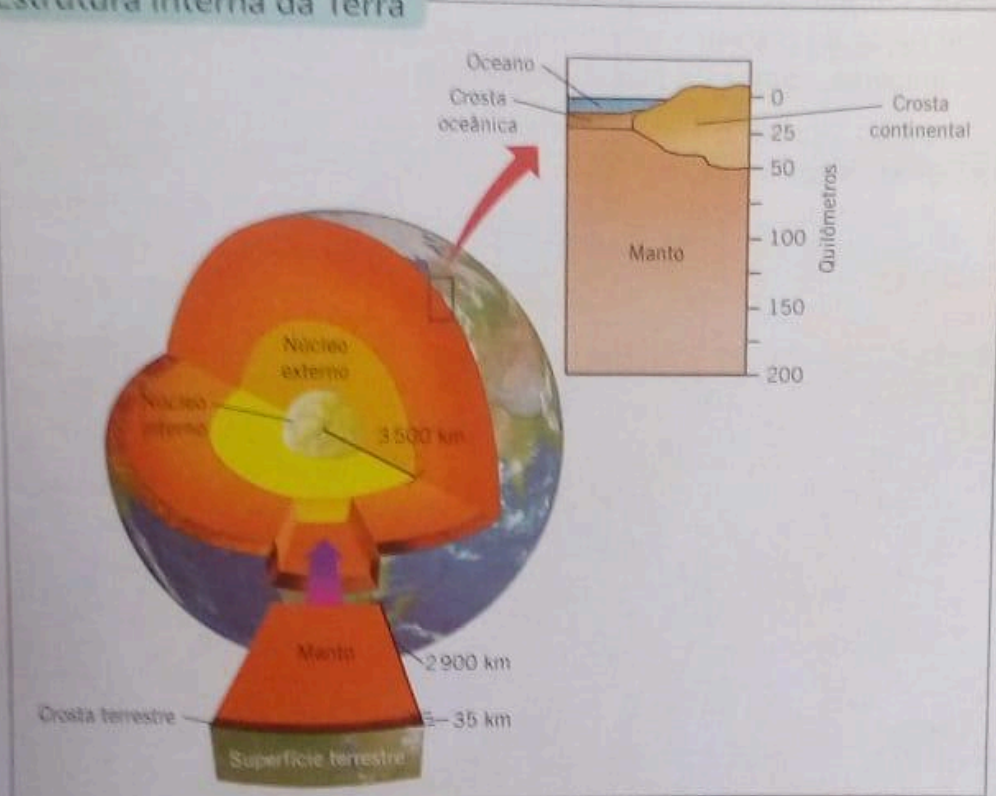
Sismógrafos espalhados pelo planeta todo captam as ondas provenientes do interior da Terra e, a partir das análises feitas, calculam a velocidade das ondas e supõem quais materiais elas tiveram de atravessar até chegar ao equipamento.

Foi em 1906 que o britânico Richard Oldham recolheu todas as informações obtidas de sismógrafos até então e teve a primeira evidência sobre o interior da Terra. A partir desse momento, várias análises foram feitas e, com elas, foi possível construir um **modelo das camadas que estruturam o planeta Terra**.

As evidências que nos permitiram construir esse modelo possibilitam as seguintes conclusões:

- A Terra tem um **formato praticamente esférico** (ela apresenta um achatamento nos polos), com aproximadamente 6370 km de raio, ou seja, de distância do centro até sua superfície.
- A estrutura interna do planeta Terra pode ser dividida em **três camadas** de composição e propriedades diferentes: a crosta terrestre, o manto e o núcleo.

Estrutura interna da Terra



Representação do modelo da estrutura interna do planeta Terra. As camadas internas da Terra não apresentam uma separação exata entre uma região e outra. As espessuras representadas são as médias registradas. Elementos fora de escala de tamanho e de proporção. Cores fantasia.

A **crosta terrestre** é a camada rochosa mais externa, que se estende por todo o planeta e apresenta uma parte continental e uma parte oceânica. A **crosta continental** possui espessura média de 35 km, mas pode ter até 70 km nas áreas de cordilheiras. A **crosta oceânica** tem espessura média de 10 km e forma o fundo dos oceanos e algumas ilhas vulcânicas.

O **manto** fica logo abaixo da crosta terrestre. Apresenta uma espessura média de 2900 km. É formado por rochas sólidas próximas à crosta, as quais se deformam e adquirem consistência pastosa em regiões mais profundas, onde são submetidas a temperaturas e a pressões elevadas.

O **núcleo** está situado abaixo do manto e é constituído principalmente por ferro. Estima-se que a temperatura nessa camada ultrapasse 4000 °C. Pode ser dividido em **núcleo externo**, composto de materiais no estado líquido, que se encontra entre 2900 km e 5150 km de profundidade, e **núcleo interno**, composto de material no estado sólido, que se estende, aproximadamente, de 5150 km até o centro do planeta (6370 km). Devido à enorme pressão que as outras camadas exercem sobre ele, o núcleo interno permanece no estado sólido, mesmo em temperaturas elevadas.

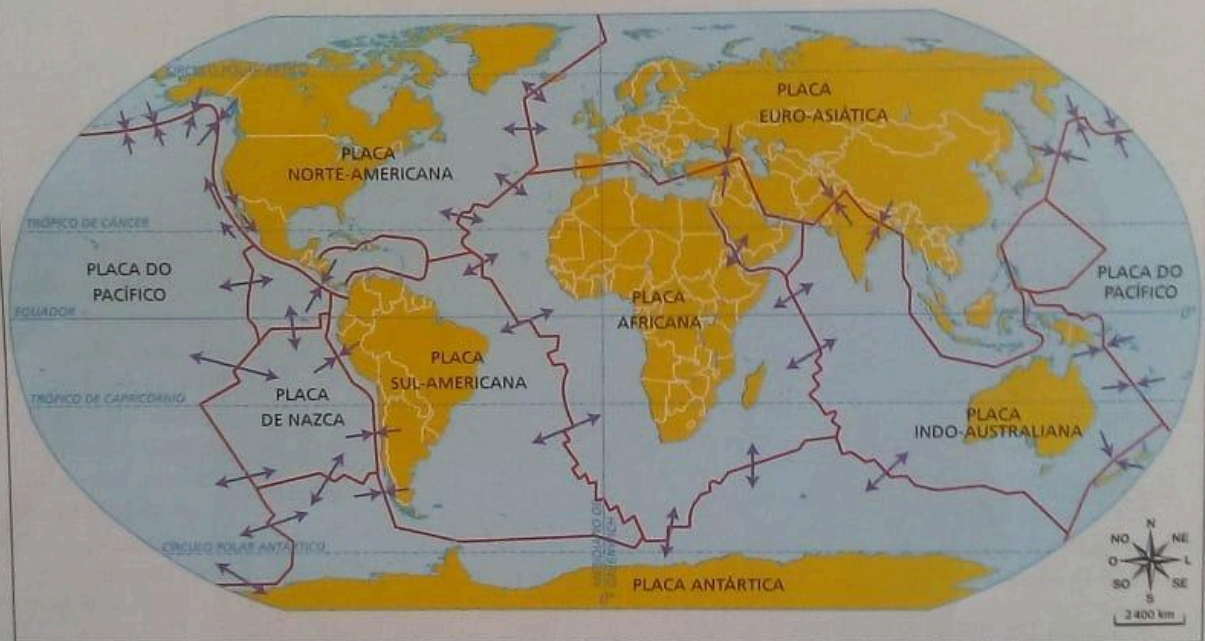
4 A litosfera, a atmosfera e a hidrosfera

Litosfera

Podemos estudar o planeta Terra dividindo-o em três partes – litosfera, hidrosfera e atmosfera.

A parte superior do manto juntamente com a crosta terrestre forma a **litosfera**. Ela tem espessura que varia entre 65 e 120 km, constitui a superfície rígida do planeta e está dividida em diversas partes, umas maiores, outras menores, chamadas **placas litosféricas**.

Principais placas litosféricas



Fonte: HEWITT, P.; SUCHOCKI, J.; HEWITT, L. A.

Conceptual physical science explorations. 2. ed. Boston: Addison-Wesley, 2009.

No mapa, as linhas vermelhas mostram a divisão entre as placas litosféricas de maior extensão. Elas estão apoiadas em um material fluido e, por isso, movimentam-se bastante lentamente. Em algumas ocasiões, esses movimentos podem ser sentidos por nós, por exemplo, durante os terremotos. As setas indicam o sentido em que as placas se movimentam.

Abaixo da litosfera, encontra-se a **astenosfera**, mais quente e menos rígida que a litosfera, onde está o magma. A astenosfera vai da base da litosfera até 700 km de profundidade. As placas litosféricas podem se movimentar sobre a astenosfera, compondo, ao longo de milhões de anos, algumas das formas de relevo que conhecemos, como a Cordilheira dos Andes.

A Cordilheira dos Andes (cadeia de montanhas que se estende por boa parte da América do Sul), por exemplo, foi formada quando a placa de Nazca colidiu com a placa Sul-Americana, provocando sua elevação.

Atmosfera

A atmosfera terrestre é a camada de ar, água e material particulado, como poeira, poluentes e grãos de pólen, que envolve o planeta e se estende por muitos quilômetros acima da superfície terrestre.

O ar que envolve a Terra é uma mistura de gases cujos componentes mais abundantes são o **gás nitrogênio** e o **gás oxigênio**, que representam 78% e 21% dela, respectivamente.

O gás nitrogênio é transformado em outros compostos por bactérias do solo e constitui um nutriente essencial para as plantas e para toda a cadeia alimentar. Já o gás oxigênio é essencial para a respiração na maioria dos seres vivos. Além desses gases, há uma pequena fração de outros gases, como o **gás carbônico**, relacionado com a fotossíntese, processo pelo qual os seres autótrofos produzem o seu alimento, e com o efeito estufa.



Pesquisar um pouco mais

O interior do planeta

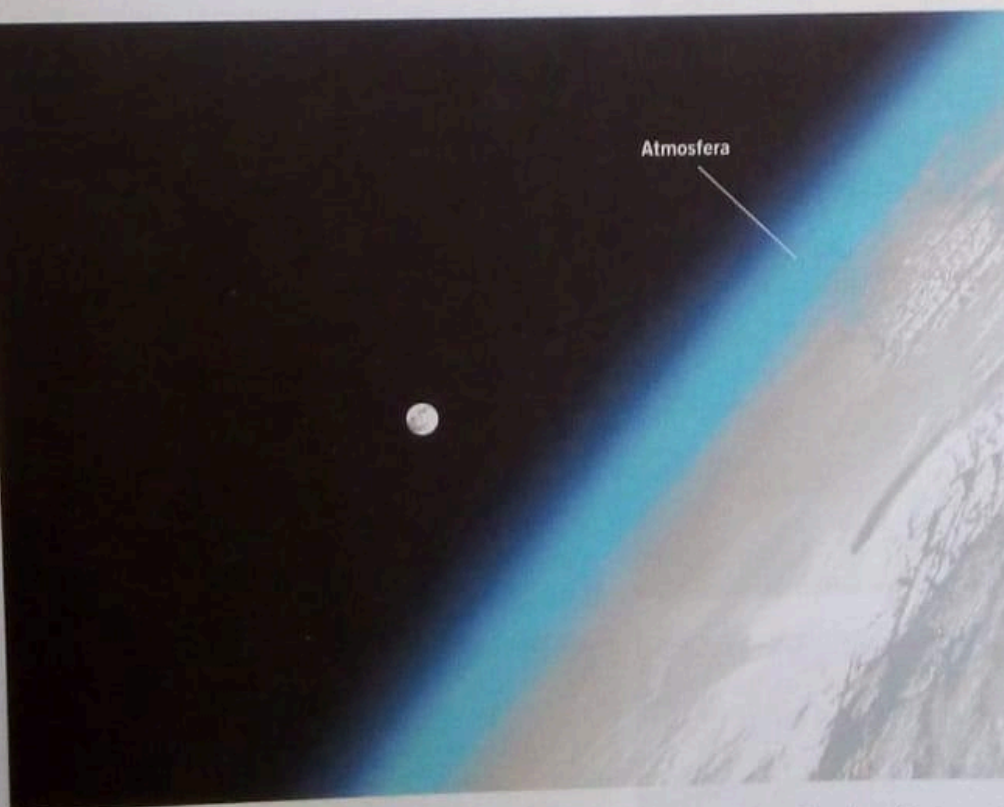
BRANCO, S. M.

Passeio por dentro da Terra. São Paulo: Moderna, 2011.

Como a combinação de forças e de fenômenos da natureza forma o relevo terrestre que conhecemos?

Esse é o tema central deste livro.

NASA



A atmosfera terrestre apresenta composição única entre os planetas do Sistema Solar. Sua coloração é resultado da dispersão da luz solar na camada gasosa. Note que sua espessura é relativamente fina e que não há limite definido com o meio interplanetário. Ao fundo, a Lua. (Imagem obtida da Estação Espacial Internacional, em 2012.)

A atmosfera terrestre reúne condições para a manutenção da vida, uma vez que protege os seres vivos contra a radiação nociva do Sol, mantém o planeta aquecido pela retenção do calor e reduz a diferença de temperatura entre o dia e a noite. Ela é um sistema dinâmico, ou seja, modifica-se continuamente. Sua composição variou ao longo da história da Terra, sua temperatura se modifica e seus gases se movimentam. O ar em movimento forma correntes, que têm papel importante nas características climáticas, relacionadas à formação e à manutenção dos ecossistemas.

Hidrosfera

A hidrosfera é formada por **toda a água** existente no planeta, ou seja, pelas águas oceânicas e continentais, incluindo os depósitos subterrâneos e a água presente na atmosfera.

A hidrosfera influencia a distribuição do espaço geográfico do mundo. Diversas civilizações se desenvolveram às margens de corpos d'água, como rios, lagos ou oceanos, o que se deve às diversas possibilidades de recursos oferecidas nesses lugares. A presença de um corpo d'água possibilita o desenvolvimento da agricultura, da pesca e da navegação. A água também é recurso essencial para a hidratação do corpo, o preparo de alimentos e para o conjunto de hábitos e práticas de saúde e bem-estar relacionados à higiene e à limpeza.

A água da Terra está em constante movimento por meio de um processo chamado **ciclo da água**. Nele, os raios solares aquecem a água presente na superfície terrestre, que evapora, condensando-se e formando as nuvens, que se precipitam e dão origem às chuvas. A água da chuva pode escorrer pela superfície terrestre, infiltrando-se no solo, ou agrupar-se em diferentes corpos d'água, sendo, em todos os casos, utilizada pelos seres vivos.



IMAGEM: SHUTTERSTOCK/STEFAN HARTMANN



IMAGEM: SHUTTERSTOCK/STEFAN HARTMANN



IMAGEM: SHUTTERSTOCK/STEFAN HARTMANN



IMAGEM: SHUTTERSTOCK/STEFAN HARTMANN



IMAGEM: SHUTTERSTOCK/STEFAN HARTMANN

Há diversos tipos de depósitos de água, como os rios, as nascentes, os glaciares, os mares e as lagoas. Em (A), vista aérea do rio Moa, Parque Nacional da Serra do Divisor, Cruzeiro do Sul, AC, 2017. Em (B), nascente do rio Araguaia, Mineiros, GO, 2014. Em (C), glaciar Perito Moreno, Parque Nacional Los Glaciares, Santa Cruz, Argentina, 2015. Em (D), praia do Arpoador e Ipanema, Rio de Janeiro, RJ, 2016. Em (E), vista aérea da lagoa Jansen, São Luís, MA, 2017.

Estima-se que a quantidade total de água no planeta, somando todos os seus reservatórios, tanto de água salgada quanto de água doce, seja de 1,5 bilhão de quilômetros cúbicos. Cada quilômetro cúbico corresponde a 1 trilhão de litros.

Atividades

Não escreva no livro. Faça as atividades no caderno.

1 Se você fosse capaz de cortar a Terra ao meio, o que veria em seu interior, considerando o modelo da estrutura interna do planeta visto neste capítulo? Faça uma ilustração para auxiliá-lo a identificar as principais camadas do interior da Terra.

2 Associe as características listadas na coluna da direita com as camadas da estrutura interna do planeta Terra, listadas à esquerda.

Crosta terrestre	Em sua parte mais interna, é composta de material no estado sólido, devido à enorme pressão que as outras camadas exercem sobre ele.
Manto	É formado por rochas sólidas próximas à crosta, as quais se deformam e adquirem consistência pastosa em regiões mais profundas, onde são submetidas a temperaturas e a pressões elevadas.
Núcleo	Possui espessura média de 35 km na parte continental e de 10 km na parte oceânica. Tem como componente principal o ferro.

3 Leia o texto abaixo, sobre uma obra clássica da literatura mundial, chamada *Viagem ao centro da Terra*. Depois, responda às perguntas.

Um jovem e seu tio resolvem viajar ao centro da Terra. Dirigem-se, então, à cratera de um vulcão na Islândia, que acreditam ser a porta de entrada para o interior do planeta. Na incrível aventura, encontram um mundo

subterrâneo repleto de surpresas que vão de oceanos a dinossauros. Parece fantástico? E é, mas trata-se apenas de uma história de ficção. O livro *Viagem ao centro da Terra*, do francês Julio Verne, não se aproxima nem um pouco da realidade.

CHAGAS, C. *Viagem ao centro da Terra. Ciência Hoje das Crianças*, 10 dez. 2012.

Disponível em: <<http://chc.org.br/viagem-ao-centro-da-terra/>>. Acesso em: jul. 2018.

a) Se pudesse escrever uma carta ao jovem e ao seu tio sobre os conhecimentos que temos atualmente a respeito do interior da Terra, o que você destacaria? Justifique sua resposta.

b) Com base nos seus conhecimentos sobre as perfurações na crosta terrestre de que temos registros, explique se seria possível aos seres humanos viajar a mais de 12 mil metros de profundidade.

4 Embora estejamos em um planeta cheio de água, a água doce para consumo humano corresponde a uma parcela bastante pequena. Faça uma pesquisa sobre o que é água de reúso. Em grupo com mais três colegas, que deve ser organizado por seu(sua) professor(a), façam um projeto sobre como seria possível utilizar água de reúso na escola. Vocês devem apresentar o projeto em um painel, onde precisam explicar o que é água de reúso, onde ela pode ser utilizada e em que situações seu uso é contraindicado.