

Um impacto importante ocorreu há 65 milhões de anos. O bólido, com pouco mais de 10 km, causou a extinção de metade das espécies da Terra, incluindo todos os dinossauros. Talvez, esse evento tenha possibilitado que os mamíferos se tornassem a espécie dominante, preparando o caminho para o homem. O Quadro 1.1 descreve os efeitos de impactos de vários tamanhos em nosso planeta e na vida. O poeta Robert Frost talvez tenha pensado na vulnerabilidade da vida na Terra quando escreveu

Alguns dizem que o mundo terminará em labareda quente,
Outros dizem que em frio enregelado,
Do que eu provei do desejo ardente
Eu concordo com os que torcem pelo fogo inclemente.
Mas se eu tiver de perecer dobrado,
Eu acho que conheço bem o querer mal
Para dizer que a destruição do gelo desapiedado
É também colossal
E suficiente pro mundo ser acabado.⁷



A Terra como um sistema de componentes interativos

Embora a Terra tenha se esfriado desde seu início ardente, ela continua um planeta inquieto, mudando continuamente por meio de atividades geológicas, tais como terremotos, vulcões e glaciações. Essas atividades são governadas por dois mecanismos térmicos: um interno e o outro externo. Mecanismos de tal tipo –

como, por exemplo, o motor a gasolina de um automóvel – transformam calor em movimento mecânico ou trabalho. O mecanismo interno da Terra é governado pela energia térmica aprisionada durante a origem cataclísmica do planeta e gerada pela radioatividade em seus níveis mais profundos. O calor interior controla os movimentos no manto e no núcleo, suprimindo energia para fundir rochas, mover continentes e soerguer montanhas. O mecanismo externo da Terra é controlado pela energia solar – calor da superfície terrestre proveniente do Sol. O calor do Sol energiza a atmosfera e os oceanos e é responsável pelo nosso clima e tempo. Chuva, vento e gelo erodem montanhas e modelam a paisagem e, por sua vez, a forma da superfície muda o clima.

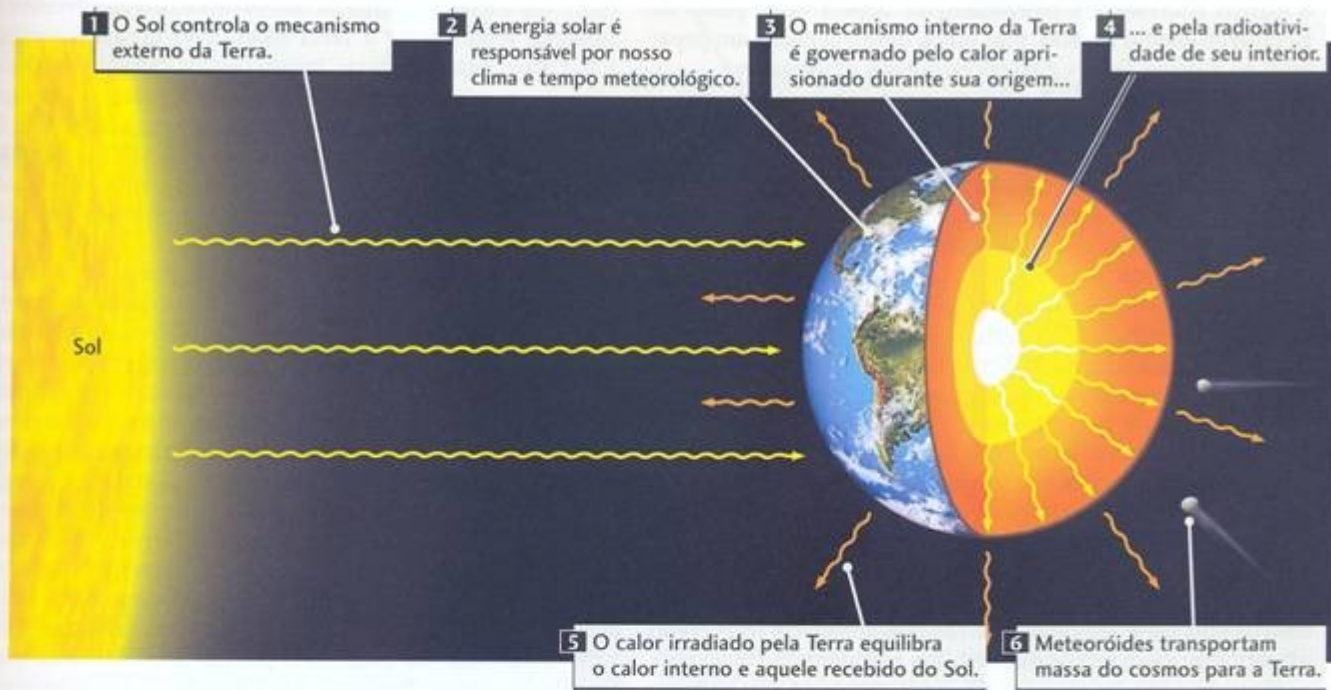
Todas as partes do nosso planeta e todas suas interações, tomadas juntas, constituem o **sistema Terra**. Embora os cientistas da Terra pensem já há algum tempo em termos de sistemas naturais, foi apenas nas últimas décadas do século XX que eles dispuseram de equipamentos adequados para investigar como o sistema Terra realmente funciona. Dentre os principais avanços, estão as redes de instrumentos e satélites orbitantes de coleta de informações do sistema Terra numa escala global e o uso de computadores eletrônicos com potência suficiente para calcular a massa e a energia transferidas dentro do sistema. Os principais componentes do sistema Terra estão descritos no Quadro 1.2 e representados na **Figura panorâmica 1.10**. Já discutiremos sobre alguns deles e definiremos os outros a seguir.

Dedicaremos nossa atenção às diversas facetas do sistema Terra nos capítulos posteriores. Vamos agora começar a pensar sobre algumas de suas feições básicas. A Terra é um *sistema aberto*, no sentido de que troca massa e energia com o restante do cosmos. A energia radiante do Sol energiza o intemperismo e a erosão da superfície terrestre, bem como o crescimento das plantas, as quais servem de alimento a muitos outros seres vivos. Nosso clima é controlado pelo balanço entre a energia solar que

Quadro 1.2 Os principais componentes do sistema Terra

A energia solar energiza estes componentes	
Atmosfera	Invólucro gasoso que se estende desde a superfície terrestre até uma altitude de cerca de 100 km
Hidrosfera	A esfera da água compreende todos os oceanos, lagos, rios e a água subterrânea
Biosfera	Toda matéria orgânica relacionada à vida próxima à superfície terrestre
O calor interno da Terra energiza estes componentes	
Litosfera	Espessa camada rochosa externa da Terra sólida que compreende a crosta e a parte superior do manto até uma profundidade média de cerca de 100 km; forma as placas tectônicas
Astenosfera	Fina camada dúctil do manto sob a litosfera que se deforma para acomodar os movimentos horizontais e verticais das placas tectônicas
Manto inferior	Manto sob a astenosfera, estendendo-se desde cerca de 400 km até o limite núcleo-manto ⁸ (cerca de 2.900 km de profundidade)
Núcleo externo	Camada líquida composta predominantemente por ferro liquefeito, estendendo-se desde cerca de 2.900 km até 5.150 km de profundidade
Núcleo interno	Esfera mais interna constituída predominantemente de ferro sólido, estendendo-se desde cerca de 5.150 km até o centro da Terra (cerca de 6.400 km de profundidade)

A TERRA É UM SISTEMA ABERTO QUE TROCA ENERGIA E MASSA COM SEU ENTORNO



O SISTEMA TERRA É CONSTITUÍDO POR TODAS AS PARTES DE NOSSO PLANETA E SUAS INTERAÇÕES

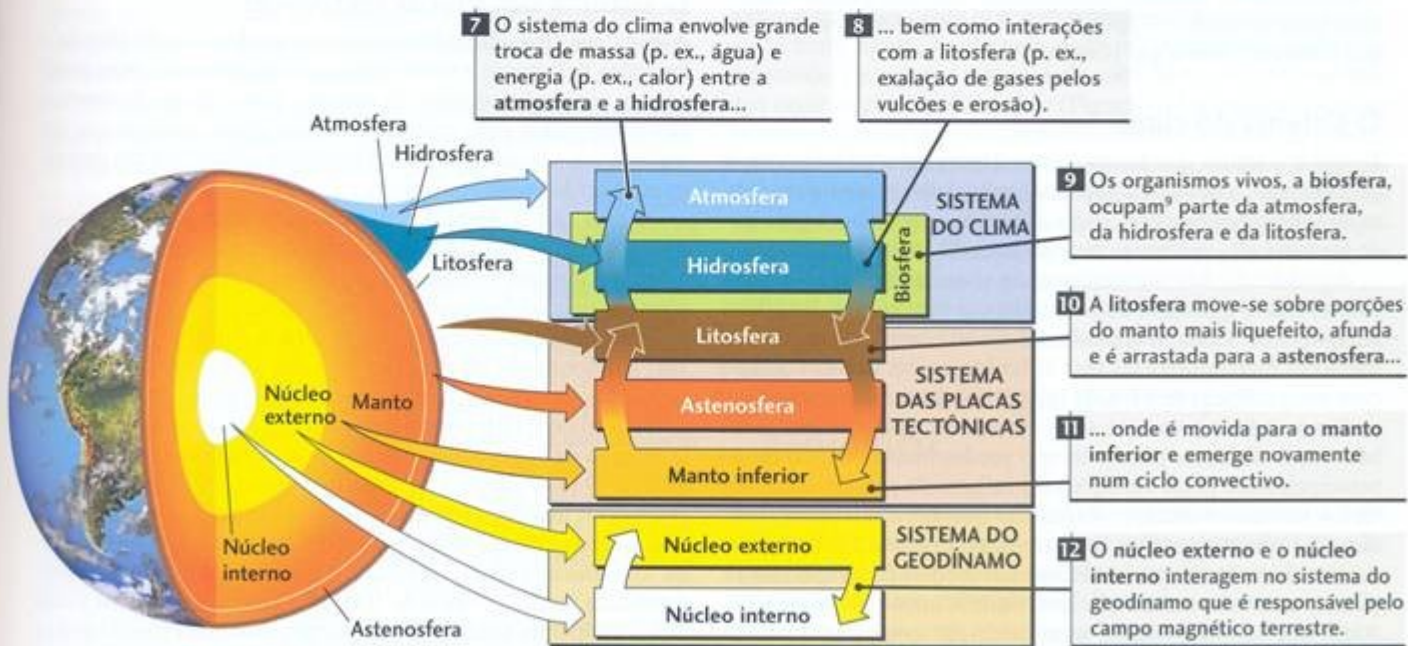


Figura panorâmica 1.10 Principais componentes e subsistemas do sistema Terra (ver Quadro 1.2). As interações entre os componentes são governadas pela energia do Sol e do interior do planeta e organizadas em três geossistemas globais: o sistema do clima, o sistema das placas tectônicas e o sistema do geodínamo.

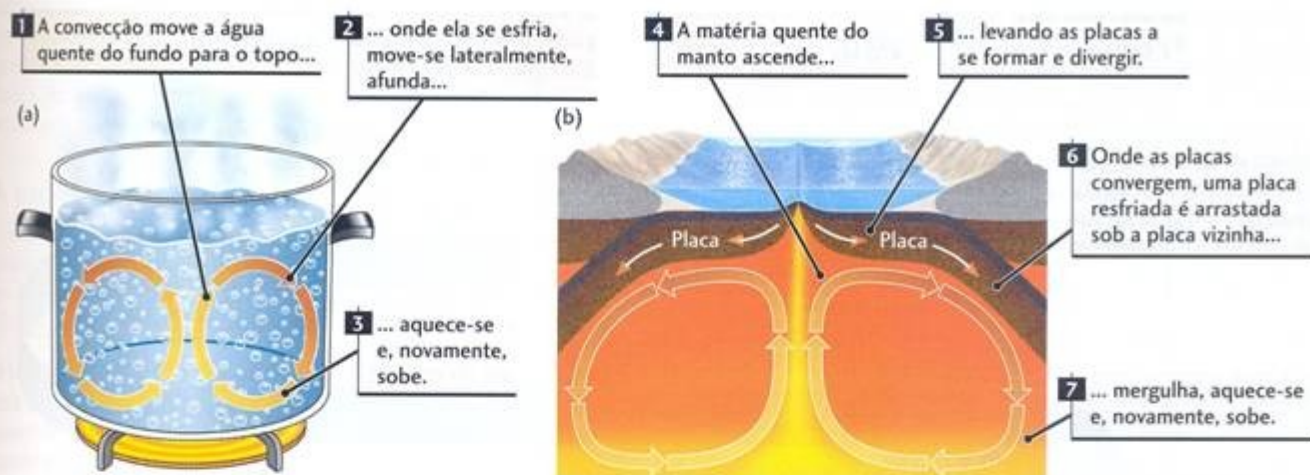


Figura 1.11 (a) A água fervendo é um exemplo familiar da convecção. (b) Uma visão simplificada das correntes de convecção no interior da Terra.

mo uma unidade rígida distinta que se move sobre a astenosfera, a qual também está em movimento. Ao formar uma placa, a litosfera pode ter uma espessura de apenas alguns quilômetros nas áreas com atividade vulcânica e, talvez, de até 200 km ou mais nas regiões mais antigas e frias dos continentes. A descoberta das placas tectônicas na década de 1960 forneceu aos cientistas a primeira teoria unificada para explicar a distribuição mundial dos terremotos e dos vulcões, a deriva dos continentes, o soerguimento de montanhas e muitos outros fenômenos geológicos. O Capítulo 2 será destinado a descrever detalhadamente a tectônica de placas.

Por que as placas se movem na superfície terrestre ao invés de se fixarem completamente numa casca rígida? As forças que empurram e arrastam as placas ao redor da superfície originam-se do motor térmico do manto sólido da Terra, o qual causa convecção. Em termos gerais, a convecção é um mecanismo de transferência de energia e de massa no qual o material aquecido ascende e o resfriado afunda. Tendemos a pensar a convecção como um processo envolvendo fluidos e gases – como acontece nas correntes de circulação de água fervendo num pote, na fumaça ascendendo de uma chaminé ou no ar aquecido que sobe para o teto enquanto o frio desce para o chão –, mas ela também pode ocorrer em sólidos que estão em temperaturas suficientemente altas, tornando-os frágeis e dúcteis. Observamos que o fluxo dos sólidos dúcteis é comumente mais lento que o dos fluidos, pois mesmo os sólidos “frágeis” (como a cera ou o caramelo) são mais resistentes à deformação que os fluidos comuns (como a água ou o mercúrio).

A convecção pode ocorrer em qualquer material que flui, seja um fluido ou um sólido dúctil, quando é aquecido na base e resfriado no topo. A matéria quente da base sobe sob a força do empuxo, pois se tornou menos densa que a matéria que está sobre ela no topo. Quando alcança a superfície, ela perde calor e esfria, a partir do que se move lateralmente e se torna mais densa. No momento em que adquire mais densidade que o material subjacente, ela afunda pela atração da gravidade, como

ilustrado na **Figura 1.11**. A circulação continuará durante o tempo necessário para que o calor existente no interior seja transferido para a superfície fria.

O movimento das placas é a manifestação superficial da convecção do manto e nos referimos a todo esse sistema como o **sistema das placas tectônicas**. Controlado pelo calor interno da Terra, o material quente do manto sobe onde as placas se separam, e então começa a endurecer a litosfera. À medida que se move para longe desse limite divergente, a litosfera esfria e torna-se mais rígida. Porém, ela pode eventualmente afundar na astenosfera e arrastar material de volta para o manto, nos bordos onde as placas convergem (**Figura 1.11b**). Assim como no sistema do clima (que envolve uma ampla variedade de processos convectivos na atmosfera e nos oceanos), os cientistas estudam as placas tectônicas usando simulações computadorizadas para representar o que pensam ser os mais importantes componentes e interações. Eles revisam os modelos cujas implicações estão em desacordo com os dados reais.



A Terra ao longo do tempo geológico

Até agora, discutimos dois tópicos importantes: como a Terra se formou nos primórdios do sistema solar e como dois geossistemas globais funcionam hoje. Mas o que ocorreu durante os 4,5 bilhões de anos subsequentes? Para responder essa questão, iniciaremos com uma abordagem geral do tempo geológico, desde o nascimento do planeta até o presente. Os capítulos posteriores apresentarão mais detalhes.

Uma visão geral do tempo geológico

Compreender a imensidão do tempo geológico pode ser um desafio para os leigos. O escritor John McPhee observou eloqüen-