



SINTESE

Dinâmica Externa da Terra

Dinâmica do Sistema Terra

LiGEA

2020

4,5-4,4 Ga

Formação do planeta
Atmosfera primitiva
He, H

4,0-3,3 Ga

Evolução da atmosfera para a composição atual
Diminuição da concentração de CO₂

3,5-3,0 Ga

cianobactérias ->
fotossíntese -> O₂ ->
oxidação minerais (Fe)
-> 2Ga todo o Fe foi oxidado -> liberação de O₂ na atmosfera -> O₃

... até hoje

78 % N₂
21% O₂
0,03 % CO₂
ΔH₂O

Zircões de Jack Hills (Australia) 4,4 Ga = CC
Gnaisses de Acasta (Canadá) 4,03 Ga

Sedimentos de Isua (Groenlândia) 3,82 Ga?

Estromatólitos
BIF

Red Beds

Resfriamento ->
condensação vapor H₂O
-> chuva -> formação dos oceanos ->
dissolução CO₂ ->
acidificação -> alteração silicatos e precipitação de carbonatos
CO₂, H₂O ⇌ N₂ ↗
T_{sup} = 300°C (3,5Ga)
100°C (3,2Ga)

3,2-2,0 Ga ...
Oxigenação progressiva da atmosfera

à 3Ga T_{sup} = 50 °C

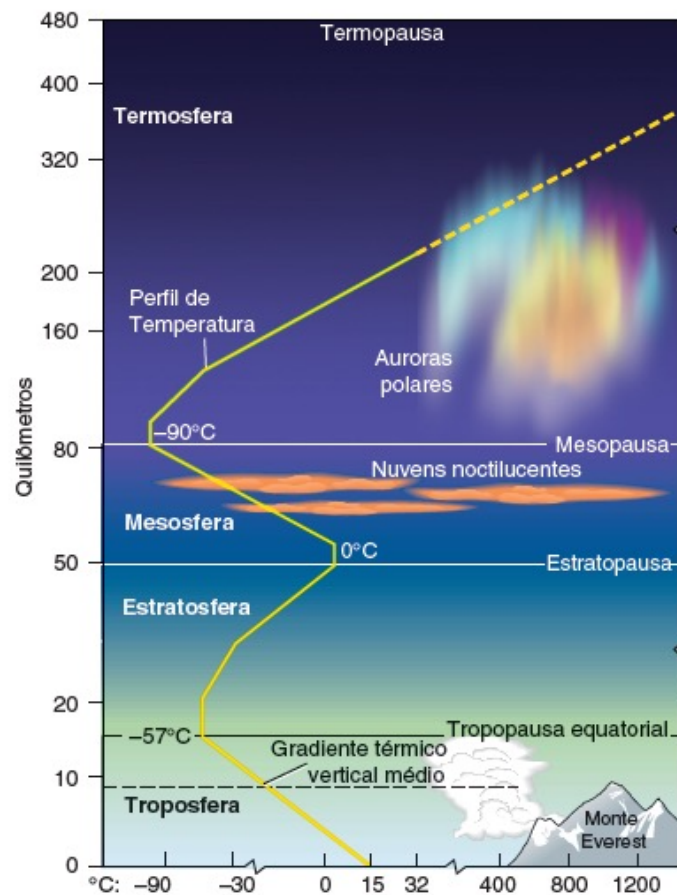
Diversificação formas de vida
Oceano -> terrestre

4,4-4,0 Ga

Atmosfera e água
85 % H₂O
10 à 15 % CO₂
1 à 3 % N₂
Degazagem do manto

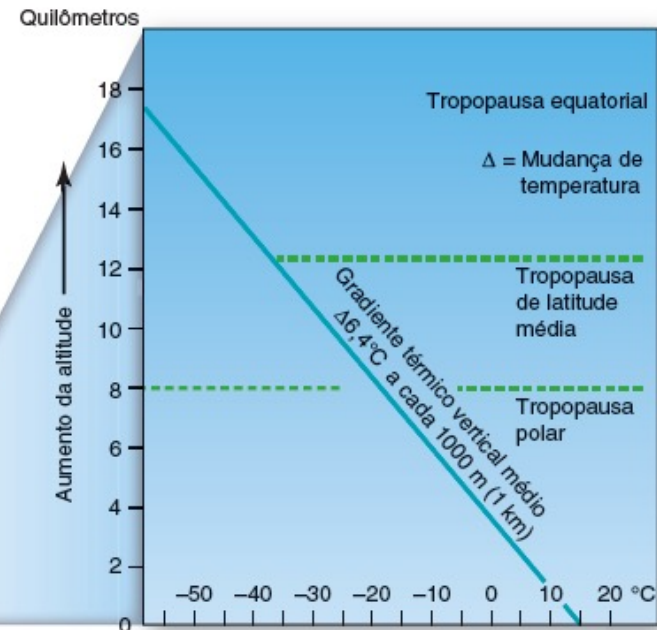
Diferenciação planeta

T_{sup} > 1500 °C



(a) O perfil de temperatura traça as mudanças de temperatura em relação à altitude.

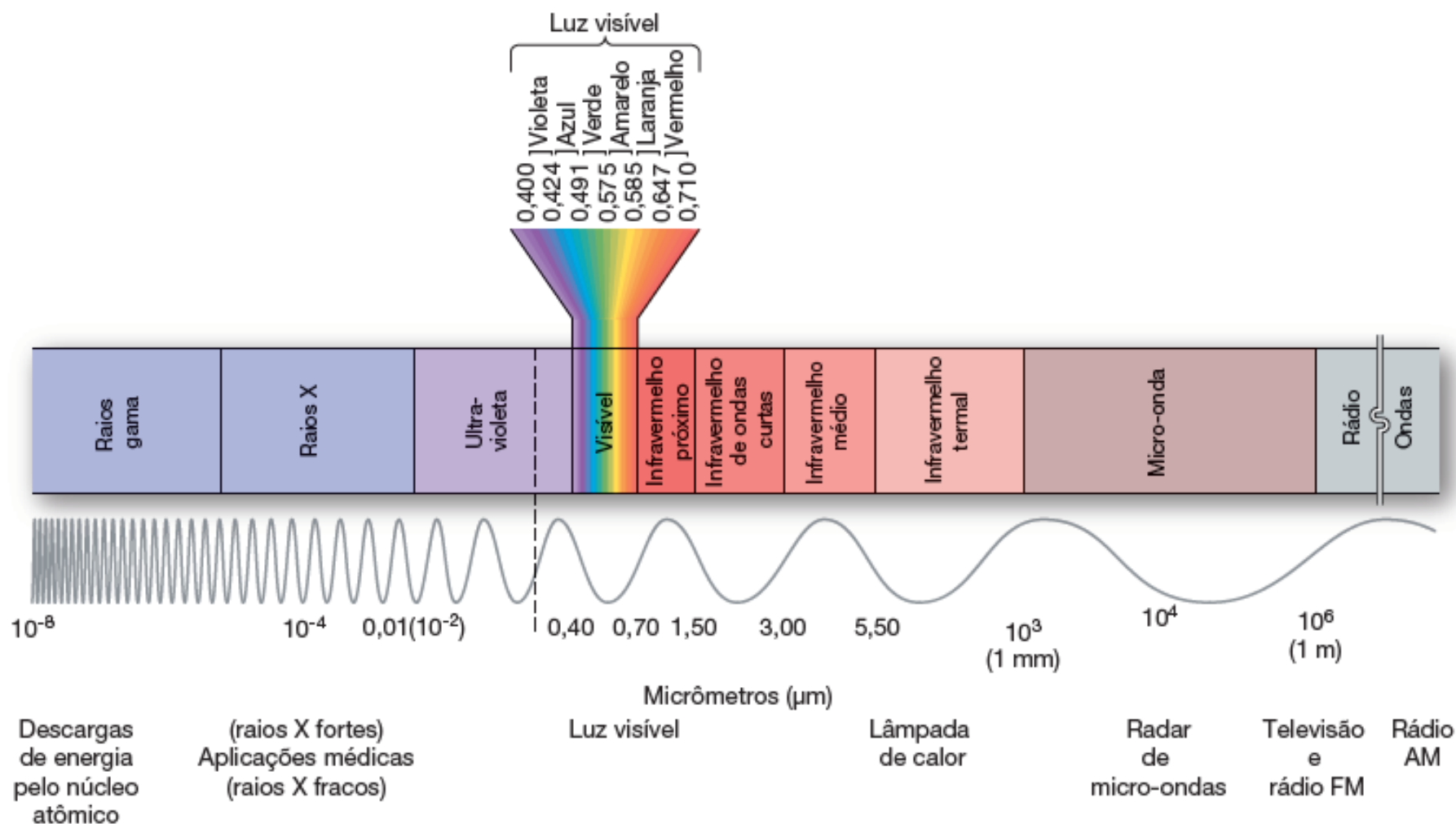
▼ **Figura 3.3** Perfil da temperatura na atmosfera, enfatizando a troposfera. [NASA.]



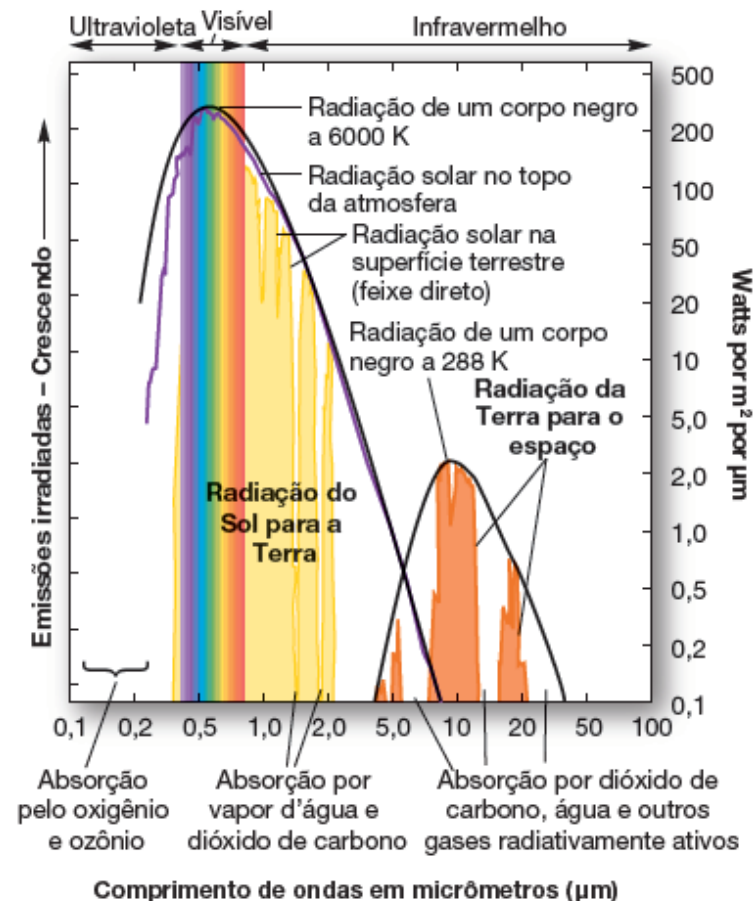
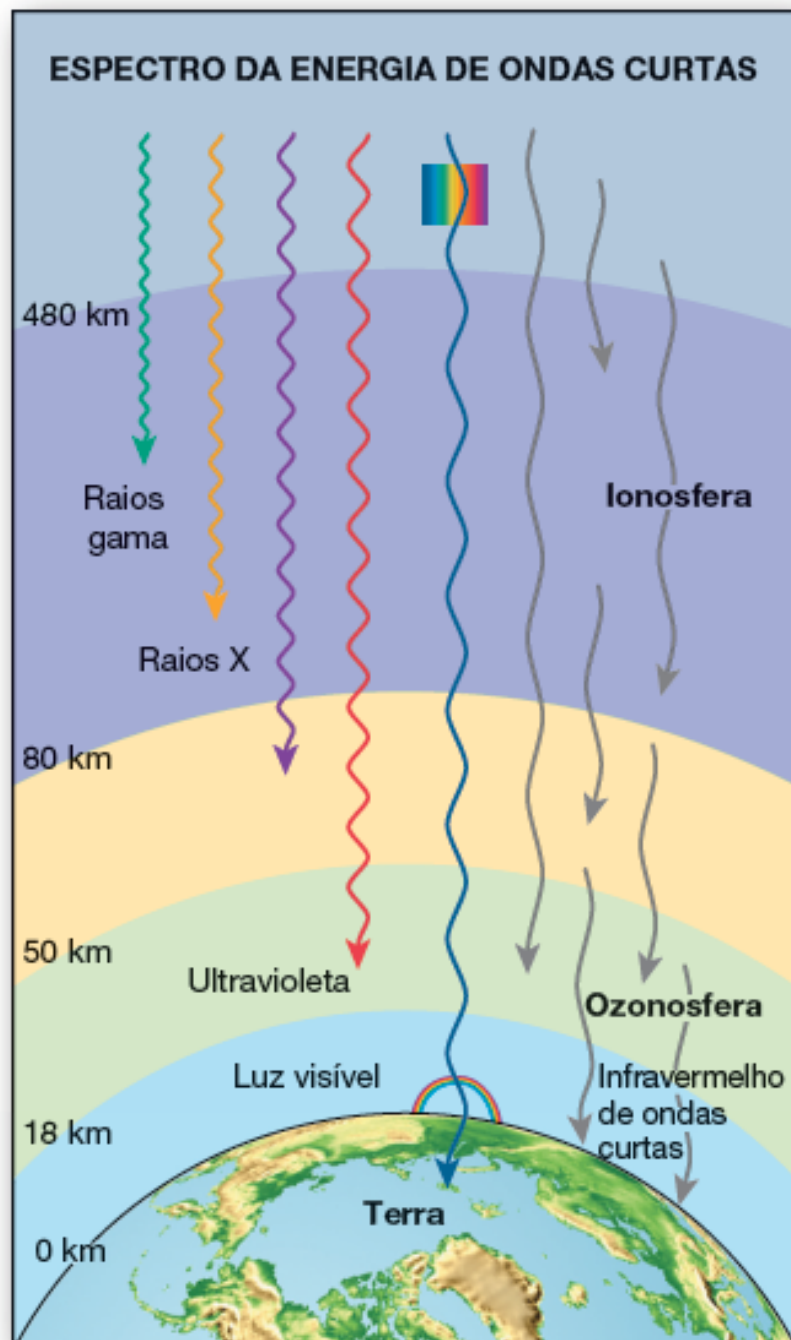
(b) A temperatura cai com o aumento da altitude no *gradiente térmico vertical médio*.



(c) Um ocaso visto da órbita mostra a silhueta de uma bigorna de uma nuvem cumulonimbus encimando a tropopausa.



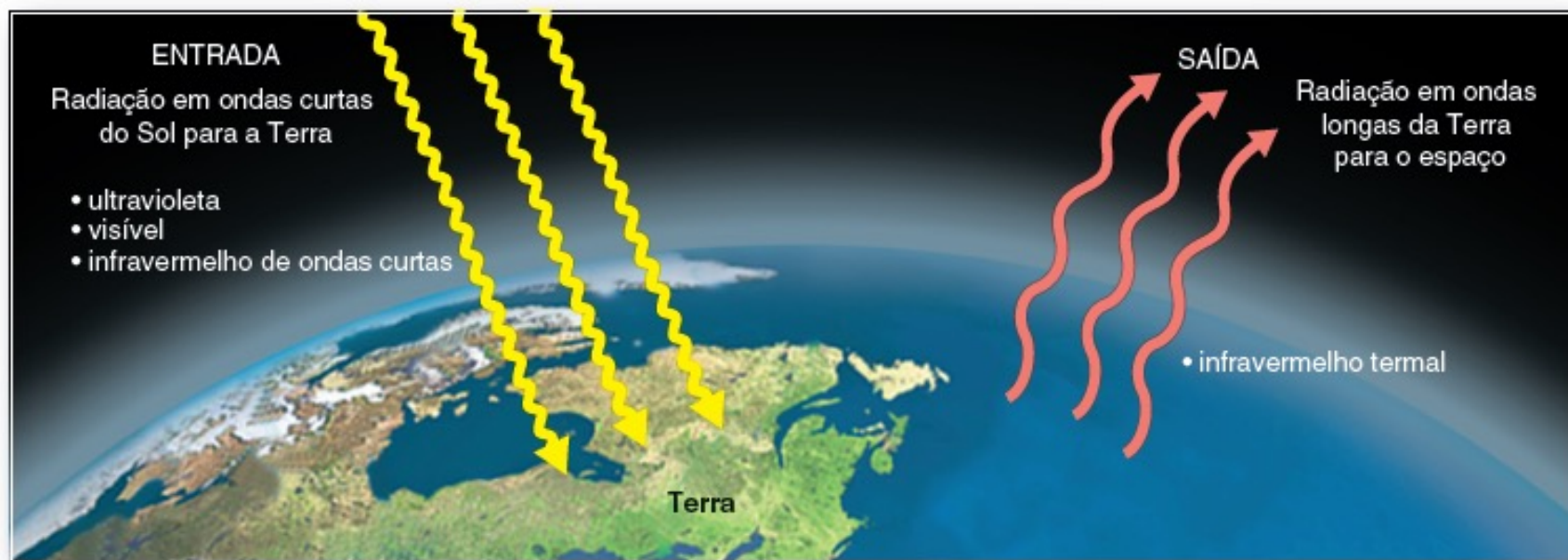
▲ Figura 2.5 Uma parte do espectro eletromagnético de energia radiante. O comprimento de onda e a frequência são duas maneiras de descrever o movimento das ondas eletromagnéticas. Comprimentos de onda mais curtos (à esquerda) têm frequência maior; comprimentos de onda mais longos (à direita) têm frequência menor.



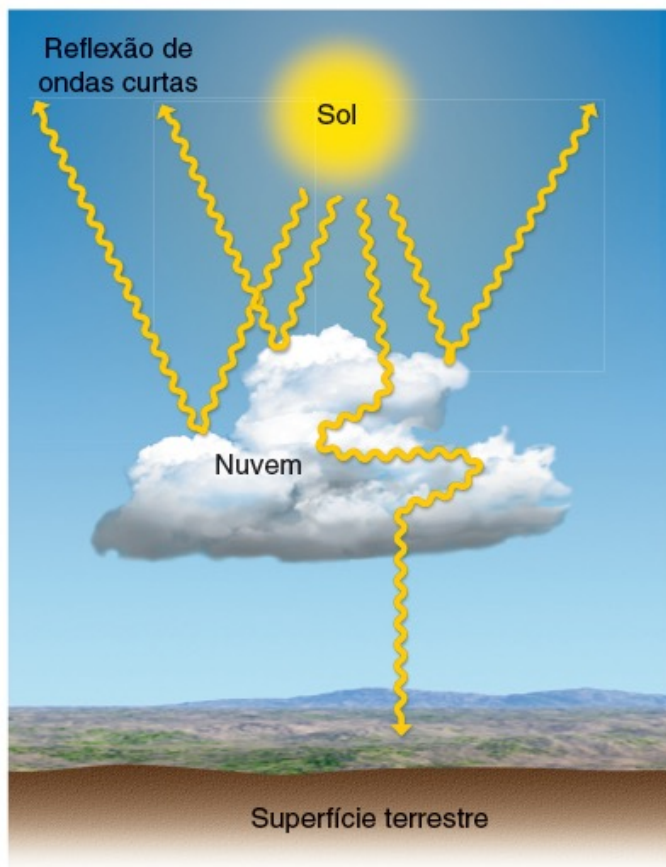
Comprimento de ondas em micrômetros (μm)

▲ **Figura 2.6** A distribuição da energia solar e terrestre conforme o comprimento de onda. O Sol, mais quente, irradia comprimentos de onda mais curtos, ao passo que a Terra, mais fria, emite comprimentos de onda mais longos. As linhas escuras representam curvas de corpo negro ideal para o Sol e a Terra. Os intervalos nas linhas da radiação solar e terrestre representam faixas de absorção pelo vapor d'água, água, dióxido de carbono, oxigênio, ozônio (O_3) e outros gases. [Adaptado de W. D. Sellers, *Physical Climatology* (Chicago: University of Chicago Press), p. 20. Reproduzido com permissão.]

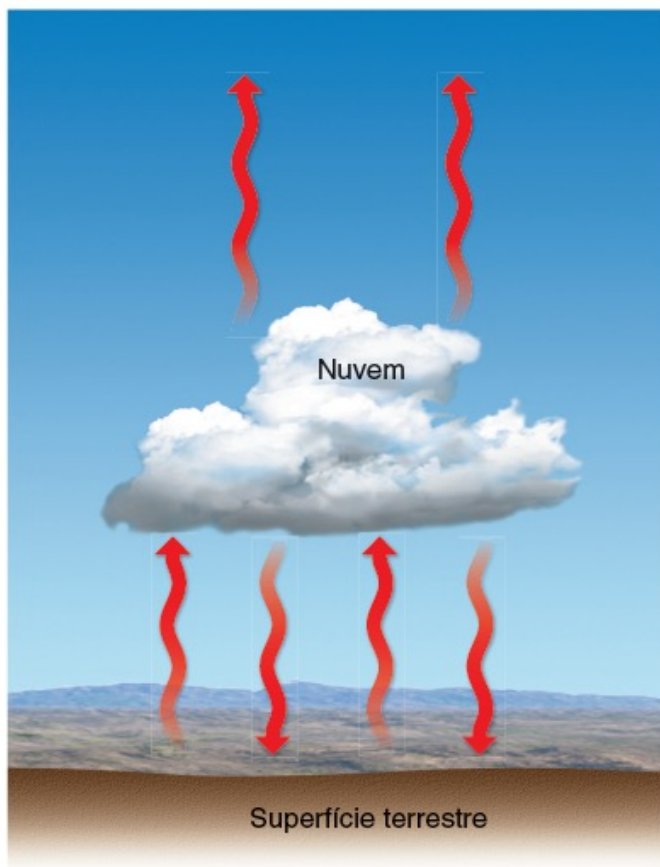
▲ **Figura 3.4** Absorção dos comprimentos de onda acima da superfície da Terra. Quando a energia solar de ondas curtas passa pela atmosfera, as ondas mais curtas são absorvidas. Somente uma fração da radiação ultravioleta, mas a maior parte da luz visível e infravermelha de ondas curtas, alcança a superfície terrestre.



▲ **Figura 2.7** Uma versão simplificada do balanço de energia da Terra.



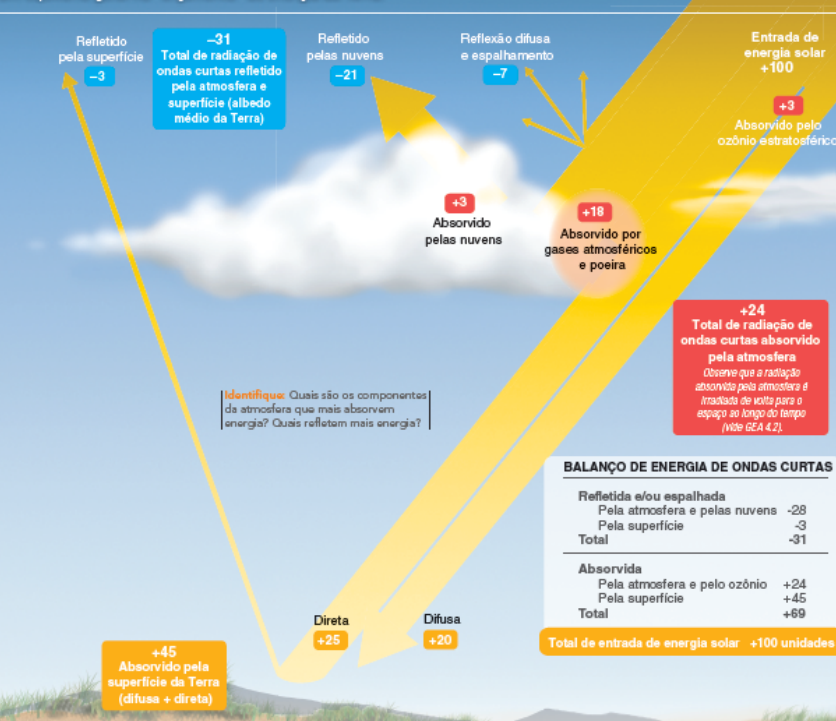
(a) As nuvens refletem e espalham a radiação de ondas curtas, devolvendo uma alta porcentagem ao espaço.



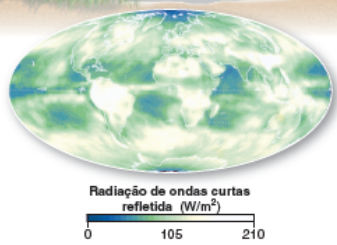
(b) As nuvens absorvem e irradiam novamente a radiação de ondas longas emitida pela Terra; parte da energia em ondas longas retorna para o espaço e parte vai em direção à superfície.

◀ **Figura 4.7** Os efeitos das nuvens sobre a radiação de ondas curtas e longas.

A energia solar que chega na forma de radiação de ondas curtas interage com a atmosfera e com a superfície da Terra (GEA 4.1). A superfície reflete ou absorve um pouco da energia, reirradiando a energia absorvida como radiação de ondas longas (GEA 4.2). Na média anual, a superfície da Terra tem um ganho ou excedente de energia, ao passo que a atmosfera tem um déficit ou perda de energia. Essas duas quantidades de energia se igualam, mantendo um equilíbrio geral no "orçamento" de energia da Terra.



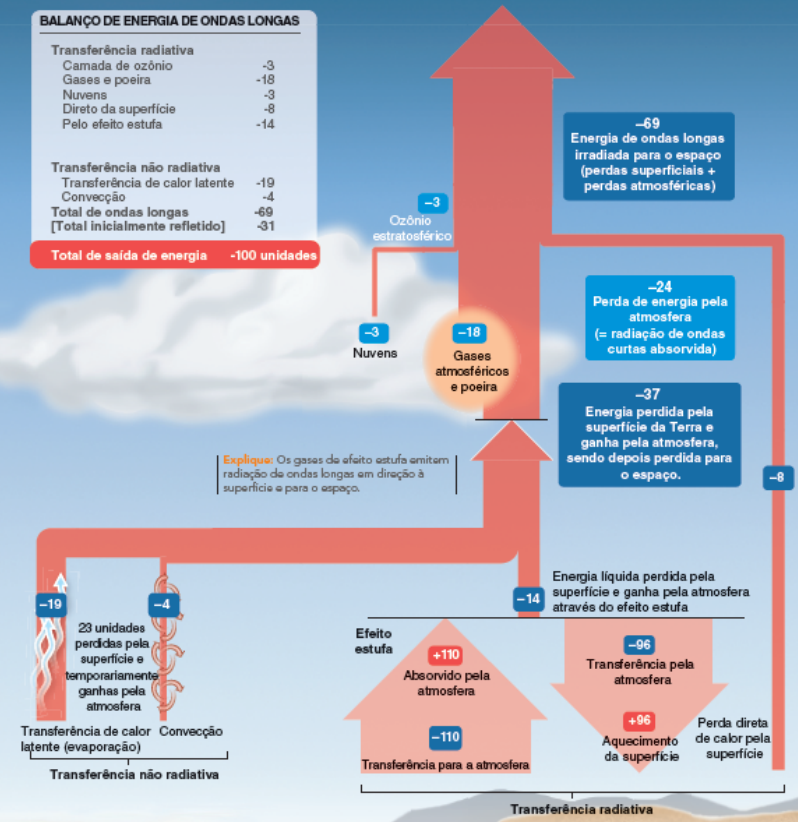
4.1 ENTRADAS DE RADIAÇÃO DE ONDAS CURTAS E ALBEDO
A energia solar atravessa as camadas da atmosfera da Terra até atingir a superfície, onde é absorvida, refletida e espalhada. Nuvens, atmosfera e superfície refletem 31% dessa insolação de volta para o espaço. Gases atmosféricos, poeira e a superfície terrestre absorvem energia e irradiam radiação em ondas longas (como mostrado em GEA 4.2).



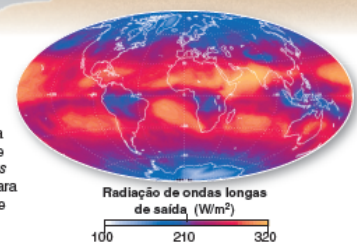
A energia de ondas curtas de saída refletida da atmosfera, nuvens, terra e água, equivalente ao albedo da Terra. [NASA, CERES.]

BALANÇO DE ENERGIA DE ONDAS LONGAS

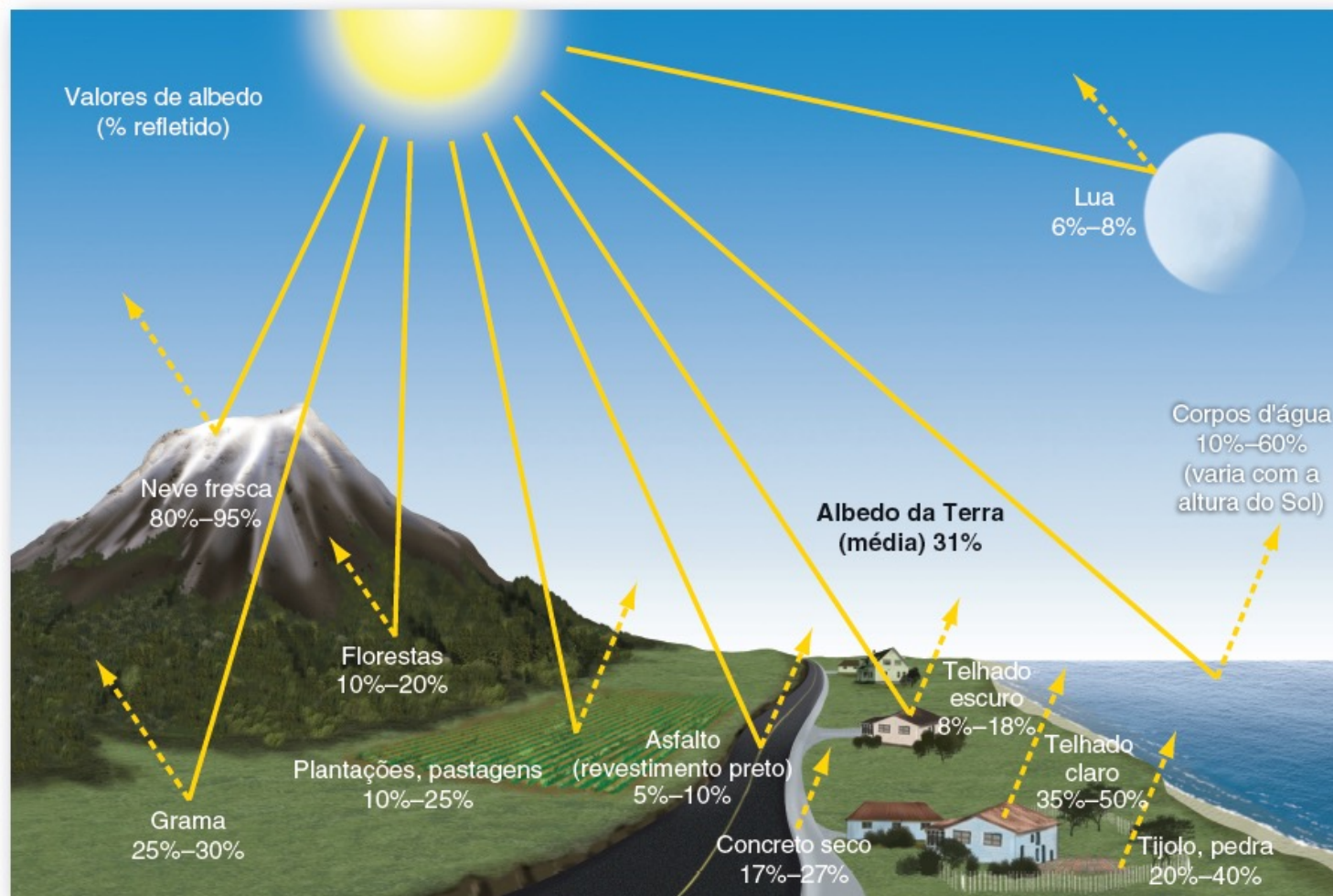
Transferência radiativa	
Camada de ozônio	-3
Gases e poeira	-18
Nuvens	-3
Direto da superfície	-8
Pelo efeito estufa	-14
Transferência não radiativa	
Transferência de calor latente	-19
Convecção	-4
Total de ondas longas	-69
[Total inicialmente refletido]	-31
Total de saída de energia	-100 unidades



4.2 RADIAÇÃO DE ONDAS LONGAS DE SAÍDA
Ao longo do tempo, a Terra emite, em média, 69% da energia de entrada para o espaço. Quando acrescentada à quantidade de energia refletida (31%), é igual à entrada total de energia vinda do Sol (100%). As transferências de energia de saída a partir da superfície são tanto *radiativas* (consistindo em radiação de ondas longas diretamente para o espaço) quanto *não radiativas* (envolvendo convecção e energia liberada por transferência de calor latente).

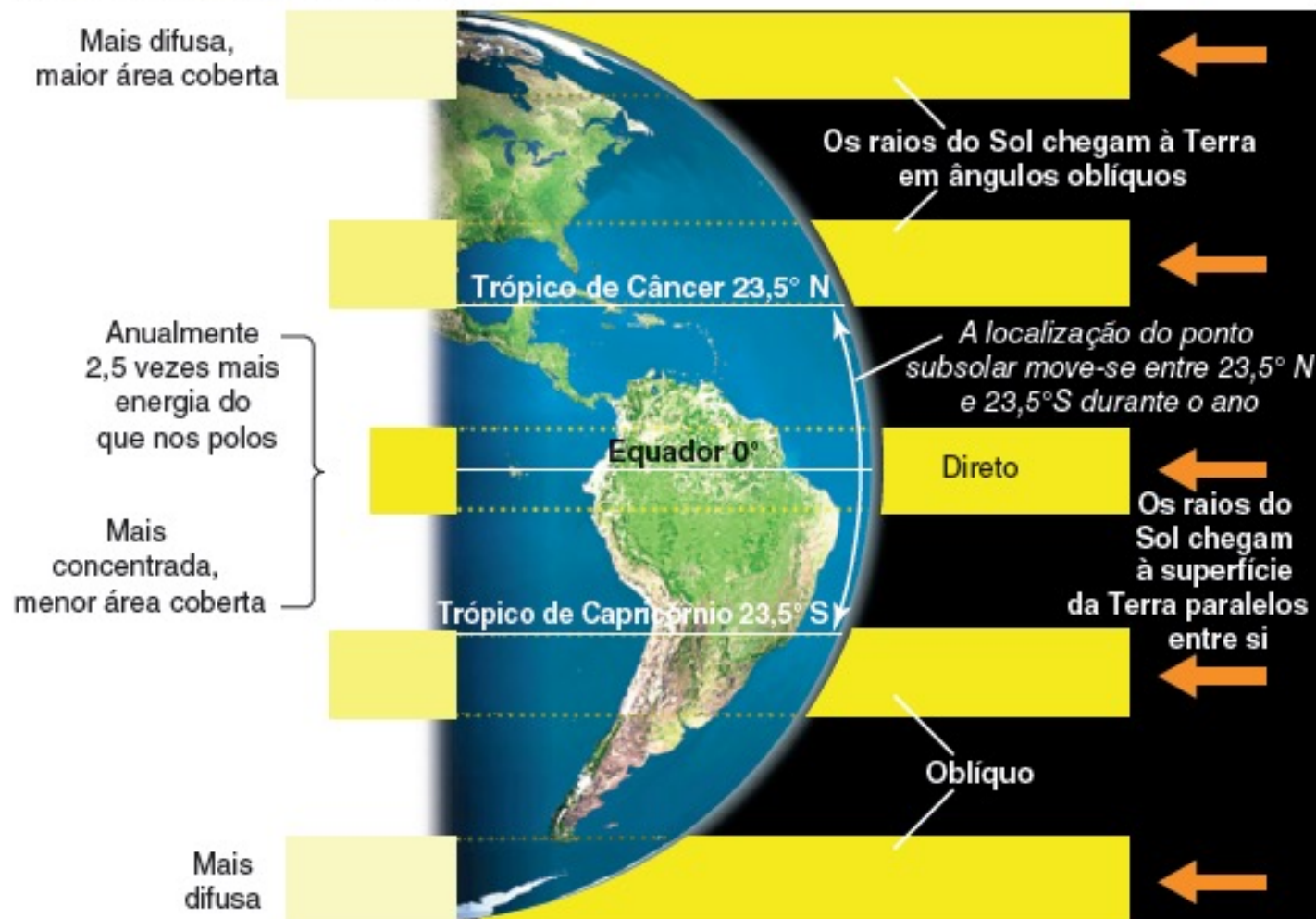


Energia de ondas longas emitida por terra, água, atmosfera e superfícies de nuvens de volta ao espaço. [NASA, CERES.]

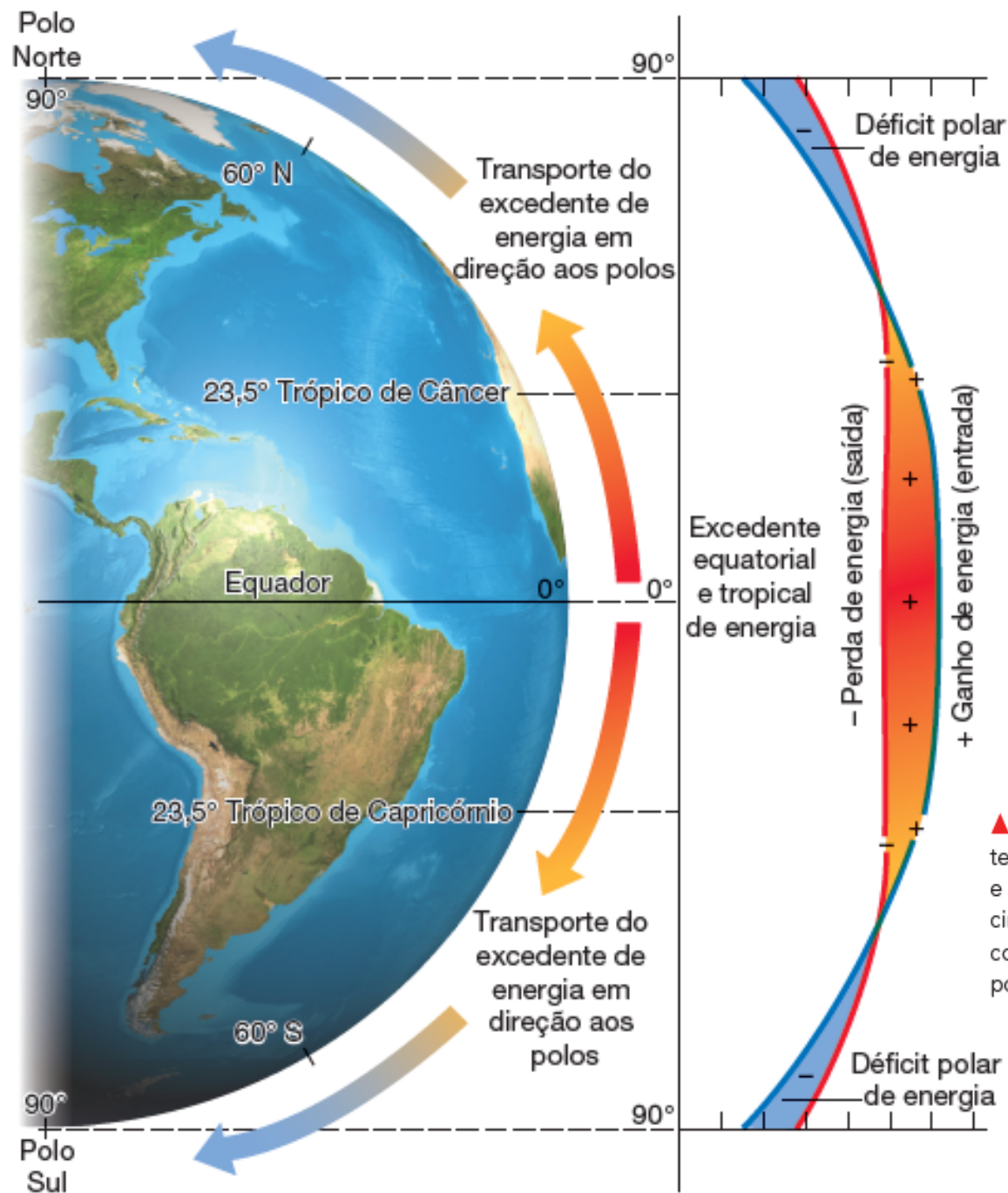


◀ **Figura 4.6** Diversos valores de albedo. Em geral, superfícies claras são mais reflexivas do que superfícies escuras e, portanto, têm valores maiores de albedo.

Área superficial recebendo energia



◀**Figura 2.8** A insolação recebida e a superfície curva da Terra. O ângulo em que a insolação chega do Sol determina a concentração da energia recebida por latitude. O ponto subsolar, onde os raios do Sol chegam à Terra perpendicularmente, move-se entre os trópicos durante o ano.

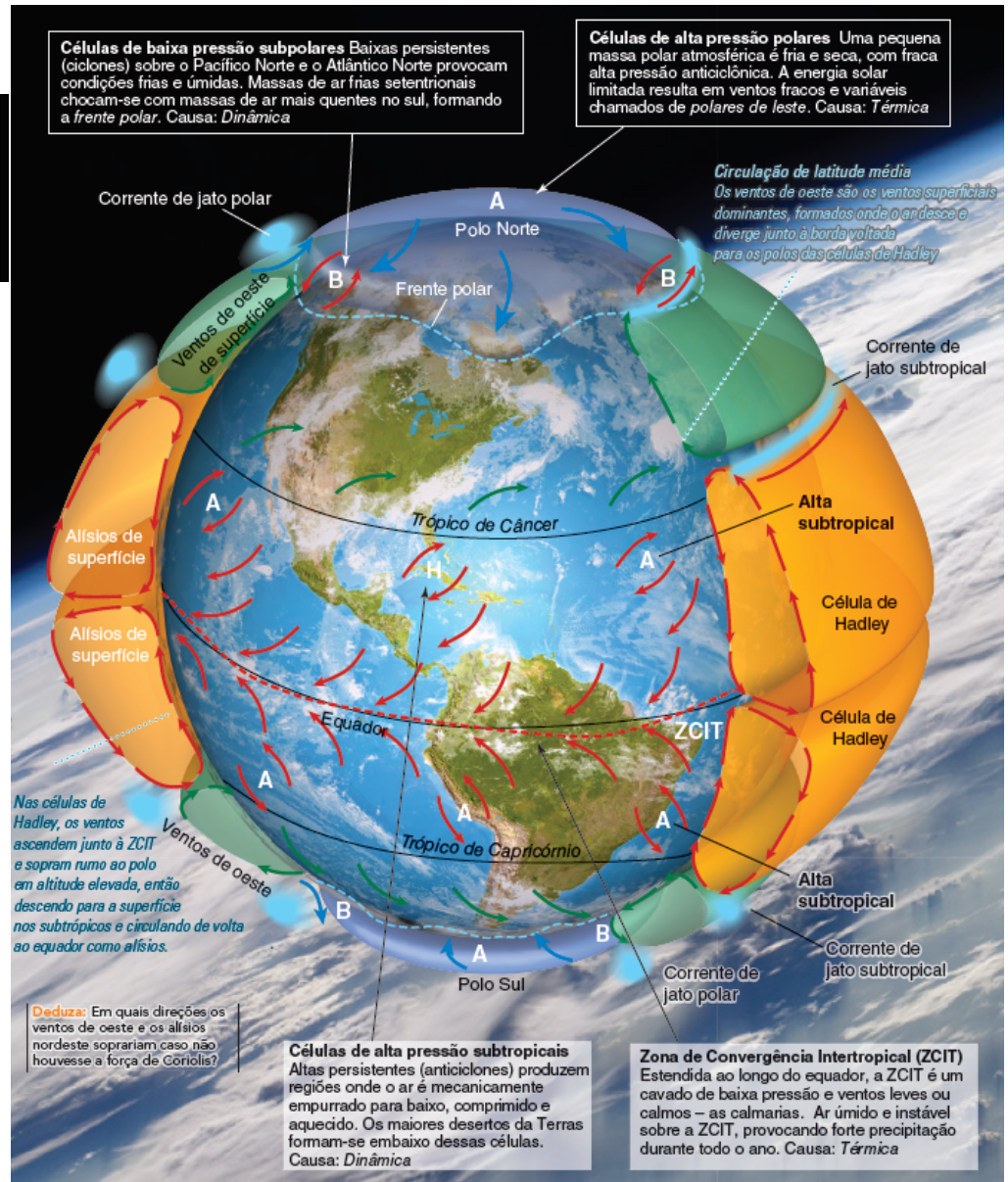


▲Figura 4.10 Balanço de energia por latitude. Os excedentes e déficits de energia da Terra produzem transporte de energia e massa em direção aos polos nos dois hemisférios, por meio da circulação atmosférica e das correntes oceânicas. Fora dos trópicos, os ventos atmosféricos são os meios dominantes de transporte de energia rumo aos polos.

6.1a

MODELO GERAL DA CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA

Nos Hemisférios Norte e Sul, zonas de ar instável e ascendente (baixas) e ar estável e descendente (altas) dividem a troposfera em *células de circulação*, que são simétricas em ambos os lados do equador.



10.1 INSOLAÇÃO

A radiação solar de entrada é a fonte de energia do sistema climático. A insolação varia com a altitude, assim como (diária e sazonalmente) com a alteração da duração do dia e do ângulo solar. (Capítulo 2; revise as Figuras 2.8, 2.10 e GEA 2)



Sol da meia-noite no Cabo Norte, Noruega. [marockenya/Shutterstock]

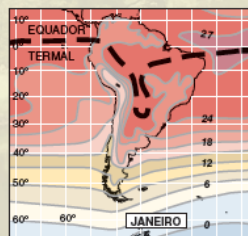
10.2 BALANÇO DE ENERGIA DA TERRA

O desequilíbrio criado pelos excedentes de energia no equador e pelos déficits de energia nos polos provoca os padrões de circulação global dos ventos e das correntes oceânicas que determinam os sistemas meteorológicos. (Capítulo 4; revise a Figura 4.10)



10.3 TEMPERATURA

Os controles primários da temperatura são latitude, elevação, nebulosidade e diferenças de aquecimento entre terra e água. O padrão das temperaturas globais é afetado pelos ventos globais, pelas correntes oceânicas e pelas massas de ar. (Capítulo 5; revise as Figuras 5.12 a 5.15)



Formação de nuvens

Evaporação Transpiração

Advecção atmosférica de vapor

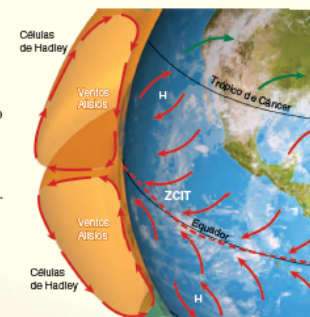
Formação de nuvens

Precipitação

10.4 PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Os ventos sopram das áreas de alta pressão para as de baixa pressão. A baixa equatorial cria um cinturão de climas úmidos. As altas subtropicais criam áreas de climas secos. Os padrões de pressão influenciam a circulação atmosférica e o movimento das massas de ar. A circulação oceânica e as oscilações multianuais dos padrões de pressão e temperatura sobre os oceanos também afetam o tempo meteorológico e o clima. (Capítulo 6; revise as Figuras 6.10 e GEA 6)

Explique: Onde estão os ventos alísios nessa visão do globo? Explique e localize áreas de climas quentes e úmidos e climas quentes e secos em relação às Células de Hadley.



10.5 MASSAS DE AR

Imensos corpos de ar homogêneo formam-se sobre as regiões-fonte oceânicas e continentais, assumindo as características dessas superfícies. Quando essas massas de ar migram, elas levam suas condições de temperatura e umidade para outras regiões. Nas frentes, onde as massas de ar se encontram, pode ocorrer precipitação ou tempo severo. (Capítulo 8; revise a Figura 8.1)

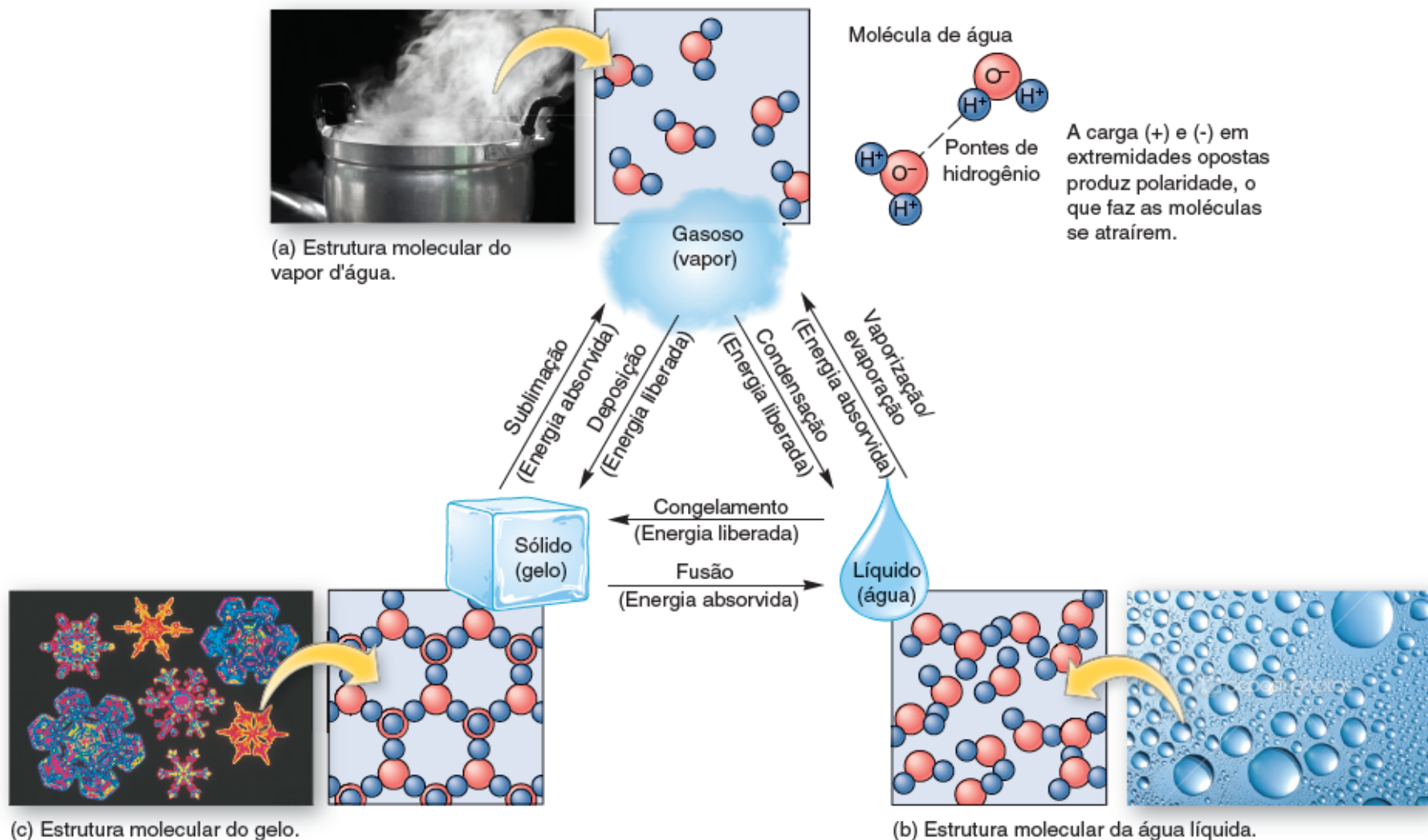


A massa de ar mT tépida e tropical traz ar úmido e instável para o Leste e Meio-Oeste dos EUA. Aqui, uma tempestade aproxima-se de Miami Beach. [Jörg Hackemann/Shutterstock]

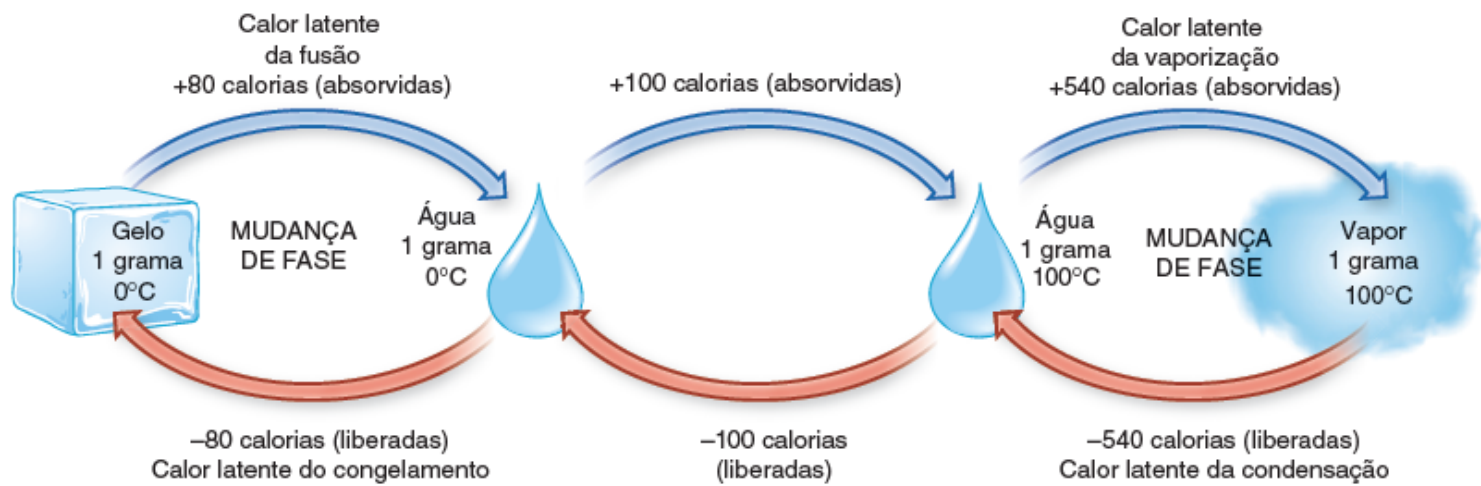
10.6 UMIDADE ATMOSFÉRICA

O ciclo hidrológico transfere umidade para o sistema climático da Terra. Dentro desse ciclo, os processos de evaporação, transpiração, condensação e precipitação são componentes essenciais do tempo meteorológico. (Capítulos 7 e 9; revise a Figura 9.4)

[cpphotoimages/Shutterstock]

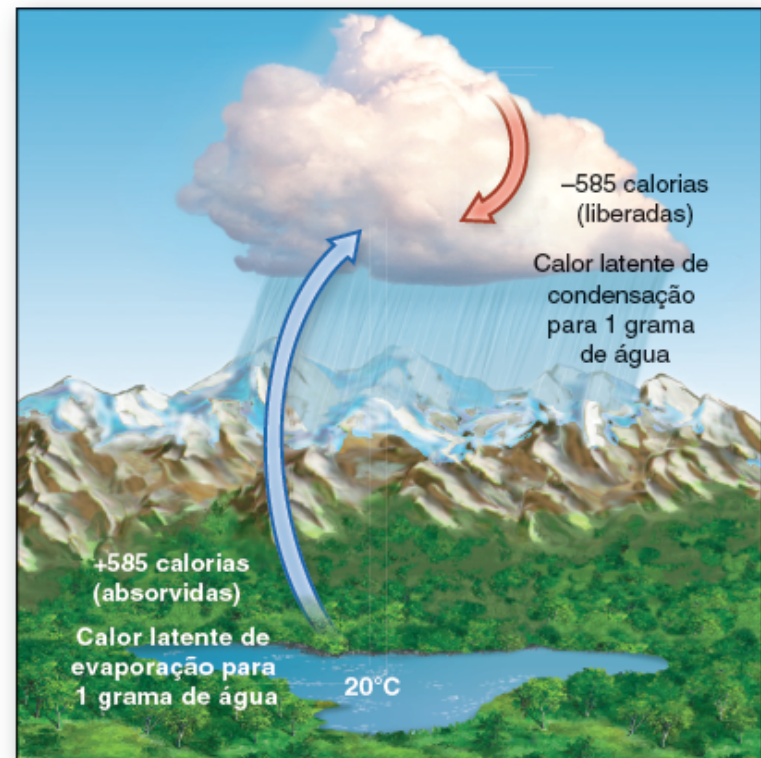


▲ **Figura 7.2** Os três estados físicos da água e as mudanças de estado entre eles. [(a) toa555/Fotolia. (b) Olga Miltsova/Shutterstock. (c) Fotografia trabalhada por © Scott Camazine/Photo Researchers, Inc., sobre a base de W. A. Bentley.]



(a) Calor latente absorvido ou liberado em mudanças de fase entre gelo, água e vapor. Transformar 1 g de gelo a 0°C em 1 g de vapor d'água a 100°C exige 720 cal: $80 + 100 + 540$.

▲ **Figura 7.5** Características de energia térmica da água.



(b) Troca de calor latente entre a água em um lago a 20°C e o vapor d'água na atmosfera, em condições típicas.

A Terra é frequentemente descrita como sendo constituída por quatro “esferas” – a atmosfera, a hidrosfera, a litosfera e a biosfera. *Geossistemas* vê essas esferas como sistemas terrestres nos quais a energia e matéria fluem dentro e entre as partes que interagem entre esses sistemas. Analisar os sistemas terrestres em termos de suas entradas, ações e saídas ajuda a entender o sistema Energia-Atmosfera (GEA 1.1), água, tempo meteorológico e clima (GEA 1.2), interface Terra-Atmosfera (GEA 1.3) e Solos, Ecossistemas e Biomas (GEA 1.4). Em cada caso, você verá que a relação humanos-Terra é parte integrante das interações do sistema terrestre.

1.1 PARTE I: O SISTEMA ENERGIA-ATMOSFERA

A energia solar que chega ao topo da atmosfera terrestre estabelece o padrão de entrada de energia que força os sistemas físicos do planeta e influencia diariamente nossas vidas. O Sol é a fonte definitiva de energia para a maioria dos processos da vida em nossa biosfera. A atmosfera da Terra age como um filtro eficiente, absorvendo a maior parte da radiação solar letal, impedindo que ela chegue até a superfície da Terra. Cada um de nós depende das interações desse sistema.

ATMOSFERA

Capítulos 2–6

Energia Solar Interceptada pela Terra e as Estações do Ano
A Atmosfera Moderna da Terra
O Balanço de Energia da Atmosfera e da Superfície
Temperaturas Globais
As Circulações Atmosférica e Oceânica

Energia térmica

Energia solar

CICLO DO CARBONO E DO OXIGÊNIO

CICLO HIDROLÓGICO

Escoamento superficial

Crosta continental
Fluxo de água subterrânea

Fluxo de água subterrânea

CICLO DE ROCHAS

Subducção

CICLO TECTÔNICO

1.3 PARTE III: A INTERFACE TERRA-ATMOSFERA

A Terra é um planeta dinâmico cuja superfície é moldada. Dois amplos sistemas – endógeno e exógeno – organizam esses agentes na Parte III. No sistema endógeno, os processos internos produzem fluxos de calor e material bem abaixo da crosta terrestre. O sistema exógeno envolve os processos externos que colocam em movimento o ar, a água e o gelo, todos movidos por energia solar. Dessa forma, a superfície terrestre é a interface entre dois vastos sistemas abertos: um que constrói a paisagem e outro que a destrói.

LITOSFERA

Capítulos 12–17

O Planeta Dinâmico
Tectônica, Terremotos e Vulcanismo
Intemperismo, Paisagem Cárstica e Movimento de Massa
Sistemas Fluviais
Oceanos, Sistemas Costeiros e Processos Eólicos
Paisagens Glaciais e Periglaciais

Astenosfera

1.4 PARTE IV: SOLOS, ECOSISTEMAS E BIOMAS

A energia entra na biosfera por meio da conversão de energia solar pela fotossíntese nas folhas dos vegetais. O solo é o elo essencial que conecta o mundo vivo com a litosfera e o resto dos sistemas físicos da Terra. Assim, o solo é a ponte adequada entre a Parte III e a Parte IV deste livro. Juntos, solos, plantas, animais e o ambiente físico formam os ecossistemas, os quais são agrupados em biomas.

BIOSFERA

Capítulos 18–20

A Geografia dos Solos
Princípios Básicos dos Ecossistemas
Biomas Terrestres

1.2 PARTE II: A ÁGUA E OS SISTEMAS METEOROLÓGICO E CLIMÁTICO

A Terra é o planeta água. A Parte II descreve a distribuição da água na Terra, incluindo a circulação da água no ciclo hidrológico. Também descreve a dinâmica diária da atmosfera interagindo com a hidrosfera, produzindo o tempo meteorológico. Os resultados do sistema água-tempo meteorológico variam de padrões de clima aos recursos hídricos. A Parte II encerra com uma verificação da mudança climática global, os impactos que estão ocorrendo e as previsões de mudanças para o futuro.

HIDROSFERA

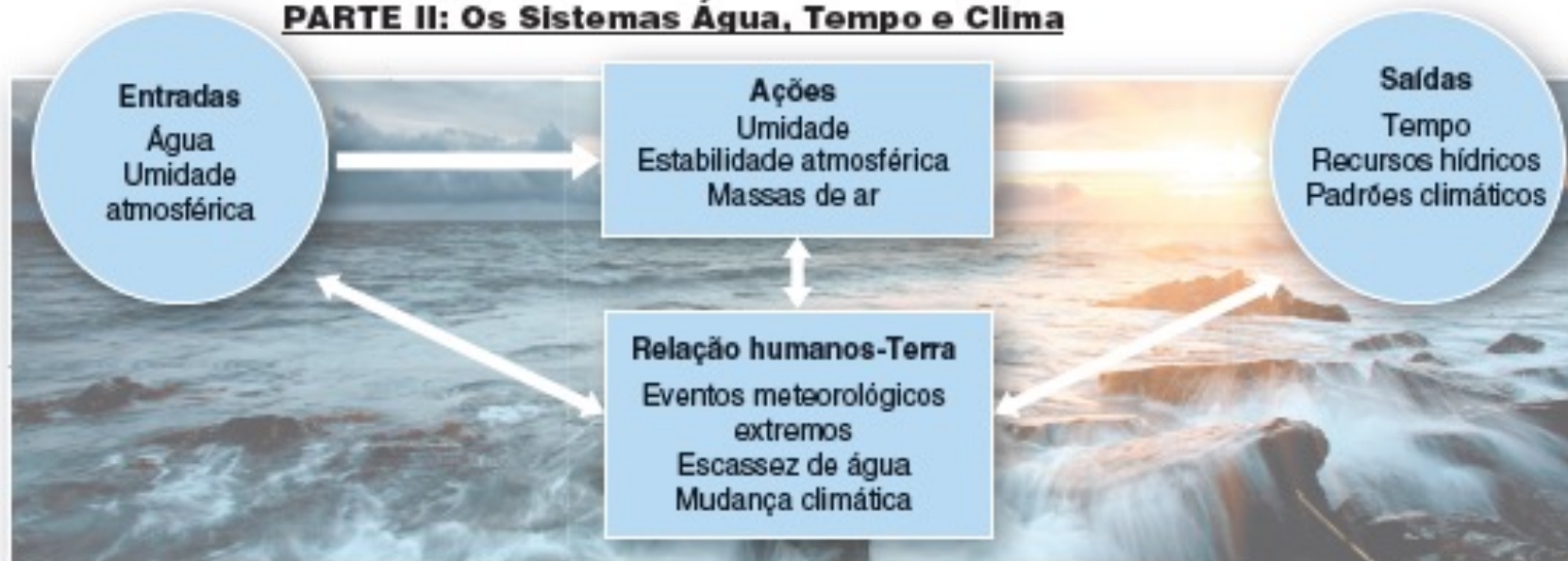
Capítulos 7–11

Água e Umidade Atmosférica
Tempo Meteorológico
Recursos Hídricos
O Sistema Climático Global
Mudança Climática

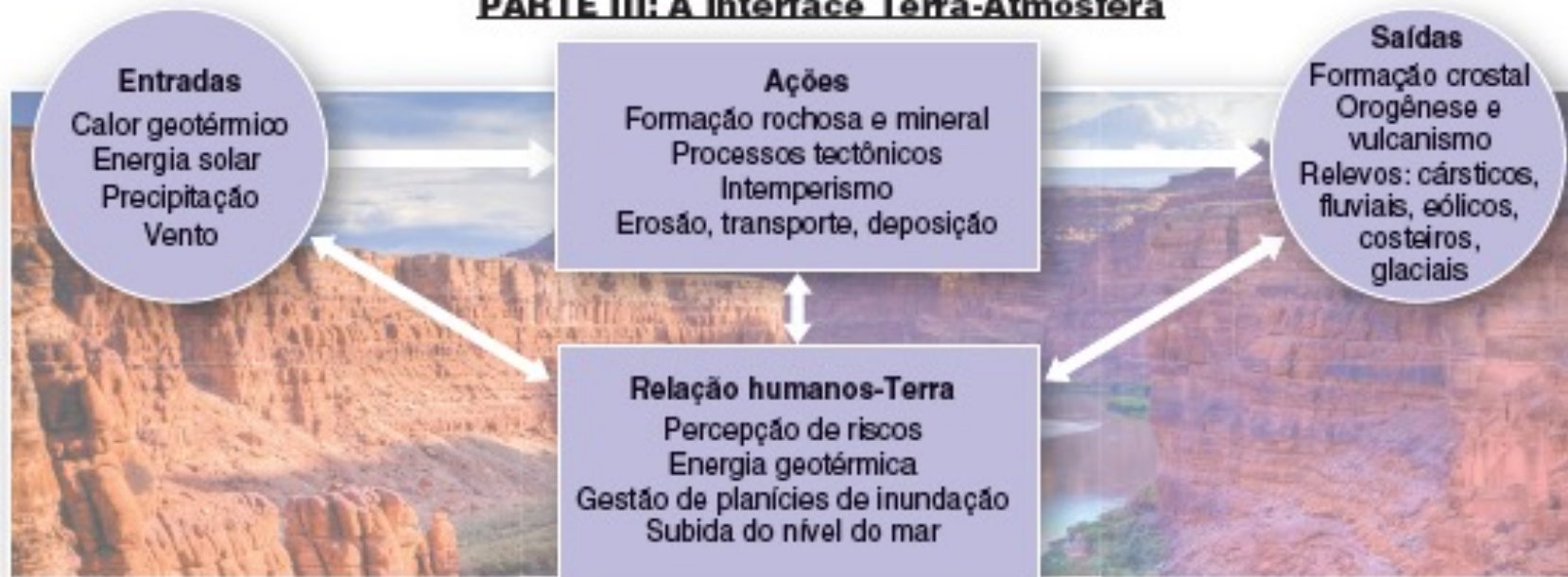
PARTE I: O Sistema Energia-Atmosfera



PARTE II: Os Sistemas Água, Tempo e Clima



PARTE III: A Interface Terra-Atmosfera



PARTE IV: Solos, Ecossistemas e Biomas

