

3

Ecossistemas: O Que São e Como Funcionam?



ESTUDO DE CASO

Você Já Agradeceu aos Insetos Hoje?

Os insetos têm má reputação. Classificamos muitas espécies de insetos como *pestes*, pois eles competem conosco por alimento, disseminam doenças, como a malária, e ainda invadem nossas gramas, jardins e casas. Algumas pessoas têm “insectofobia” – pavor de insetos – e, para elas, inseto bom é inseto morto. Essa visão não reconhece o papel vital que os insetos exercem ao ajudar a sustentar a vida na Terra.

Muitas das espécies de plantas do planeta (inclusive as árvores) dependem dos insetos para polinizar as flores. Sem os insetos polinizadores, teríamos pouquíssimas frutas, vegetais e legumes disponíveis.

Os insetos que comem outros insetos – como o louva-a-deus – ajudam a controlar as populações de pelo menos metade das espécies de insetos que chamamos de *pestes*. Esse serviço gratuito de controle de *pestes* é uma parte importante do capital natural da Terra.

Os insetos existem há pelo menos 400 milhões de anos e são formas de vida bem-sucedidas. Alguns se reproduzem a uma taxa espetacular. Por exemplo, uma única mosca doméstica e sua prole podem, teoricamente, produzir cerca de 5,6 trilhões de moscas em apenas um ano.

Os insetos são capazes de desenvolver com rapidez novas características genéticas, como a resistência a pesticidas. Eles também têm uma excelente capacidade de evoluir para outras espécies ao enfrentarem novas condições ambientais e também são bastante resistentes à extinção.

A lição ambiental é: apesar de os insetos poderem prosperar sem a presença de novos seres, como os humanos, nós e a maioria dos outros organismos pereceríamos sem eles.

Aprender sobre o papel dos insetos na natureza requer a compreensão de como eles e outros organismos na *comunidade biológica*, como uma floresta ou lagoa, interagem uns com os outros e com o ambiente não-vivo. Ecologia é

a ciência que estuda tais relacionamentos e interações na natureza.

A fina camada de matéria viva da Terra é sustentada por longos ciclos realizados pelos elementos químicos.

G. EVELYN HUTCHINSON

Este capítulo descreve os principais componentes dos ecossistemas e os processos que os sustentam. Serão discutidas as seguintes questões:

- O que é ecologia?
- Quais processos básicos mantêm vivos os seres humanos e outros organismos?
- Quais são os principais componentes de um ecossistema?
- O que acontece com a energia em um ecossistema?
- O que são solos e como são formados?
- O que acontece com a matéria em um ecossistema?
- Como os cientistas estudam os ecossistemas?

IDÉIAS PRINCIPAIS

- A vida na Terra é mantida pelo fluxo de energia proveniente do Sol, pelo ciclo da matéria ou nutrientes essenciais na biosfera e pela gravidade, que evita que as moléculas na atmosfera escapem para o espaço.
- Alguns organismos produzem alimento; outros o consomem.
- A biodiversidade encontrada nos genes, nas espécies, nos ecossistemas e nos processos do ecossistema é um recurso renovável vital.
- O solo fornece a maioria dos nutrientes necessários para o crescimento da planta, ajuda a purificar a água e armazena o carbono que auxilia no controle dos níveis de dióxido de carbono na atmosfera.
- As atividades humanas estão alterando os fluxos de energia e o ciclo dos principais nutrientes no ecossistema.

3.1 A NATUREZA DA ECOLOGIA

O Que É Ecologia?

Ecologia é o estudo das conexões na natureza.

Ecologia (do grego *oikos*, “casa” ou “lugar para morar”, e *logos*, “estudo de”) é o estudo de como os organismos interagem uns com os outros e com seu ambiente não-vivo. Mais efetivamente, a ecologia examina as *conexões na natureza* – a casa para a vida na Terra. Os ecologistas concentram-se em tentar entender as interações entre organismos, populações, comunidades, ecossistemas e biosfera (Figura 2.2).

Um **organismo** é qualquer forma de vida. A **célula** é a unidade básica de vida nos organismos. Tais organismos podem conter apenas uma célula (a bactéria, por exemplo) ou muitas. Olhe no espelho. Você verá o resultado – cerca de 10 trilhões de células divididas em aproximadamente 200 tipos diferentes.

Os organismos classificam-se em **espécies**, grupos de organismos que se assemelham uns aos outros no que diz respeito à aparência, ao comportamento, à química e à composição genética. Os organismos que se reproduzem sexualmente, pela combinação de células de ambos os pais, são classificados como membros da mesma espécie se, de seu cruzamento, sob condições normais, resultar indivíduos vivos e férteis. Os cientistas utilizam um sistema especial para classificar e denominar as espécies (consultar o Suplemento Científico 3, no final deste livro).

Quantas espécies existem na Terra? Não sabemos. As estimativas variam de 3,6 milhões a 100 milhões – a maioria microrganismos pequenos demais para serem vistos a olho nu. Supõe-se que compartilhamos o planeta com mais 10 milhões a 14 milhões de espécies. Até o momento, os biólogos já identificaram e denominaram cerca de 1,4 milhão de espécies, na maioria, insetos (Figura 3.1).

Foco na Ciência: Quais Espécies Dominam o Mundo?

Uma quantidade imensa de minúsculos microrganismos, como bactérias, protozoários, fungos e leveduras ajudam a nos manter vivos.

Existem trilhões deles e estão em toda a parte. Billhões são encontrados dentro do seu corpo, sob o seu corpo, em uma mão de terra e em um copo de água de rio.

Tais dominadores da Terra, em sua maioria invisíveis, são *micróbios*, um termo genérico para milhares de espécies de bactérias, protozoários, fungos e leveduras – dos quais a maior parte é pequena demais para ser vista a olho nu.

Os micróbios não recebem o respeito que merecem. Muitos de nós os vemos como uma ameaça a nossa saúde, na forma de bactérias ou “germes” infecciosos, fungos que causam pé-de-atleta e outras doenças de pele, e protozoários que provocam doenças, como a malária. A verdade é que esses micróbios nocivos são minoria.

Você está vivo graças a milhões de micróbios que trabalham quase sempre sem serem vistos. Os micróbios convertem o gás nitrogênio presente na atmosfera em formas que as plantas podem absorver do solo, como nutrientes. Eles também ajudam a produzir alimentos, como pães, queijo, iogurte, vinagre, *tofu*, *shoyu*, cerveja e vinho. As bactérias e fungos no solo decompõem os resíduos orgânicos em nutrientes que podem ser absorvidos pelas plantas ingeridas por nós e pela maioria dos outros animais. Sem essas minúsculas criaturas, estaríamos afundados em resíduos até o pescoço.

Os micróbios, especialmente as bactérias, ao decompor os resíduos, auxiliam na purificação da água que bebemos. Já as bactérias, no trato intestinal, decompõem o alimento que ingerimos.

Alguns micróbios no seu nariz impedem que bactérias nocivas alcancem os pulmões. Outros são fonte de antibióticos que combatem doenças, entre eles penicilina, eritromicina e estreptomicina. Engenheiros genéticos estão desenvolvendo micróbios capazes de extrair metais de minérios, decompôr diversos poluentes e ajudar a limpar locais com resíduos tóxicos.

Alguns micróbios auxiliam no controle de doenças que afetam plantas e populações de espécies de insetos que atacam nossas safras de alimentos. Confiar mais nesses micróbios para controlar pragas pode reduzir o uso de pesticidas químicos nocivos.

Populações, Comunidades e Ecossistemas

Populações de diferentes espécies vivendo interagindo em uma área formam uma comunidade; por sua vez, uma comunidade integrando com seu meio físico de matéria e energia forma um ecossistema.

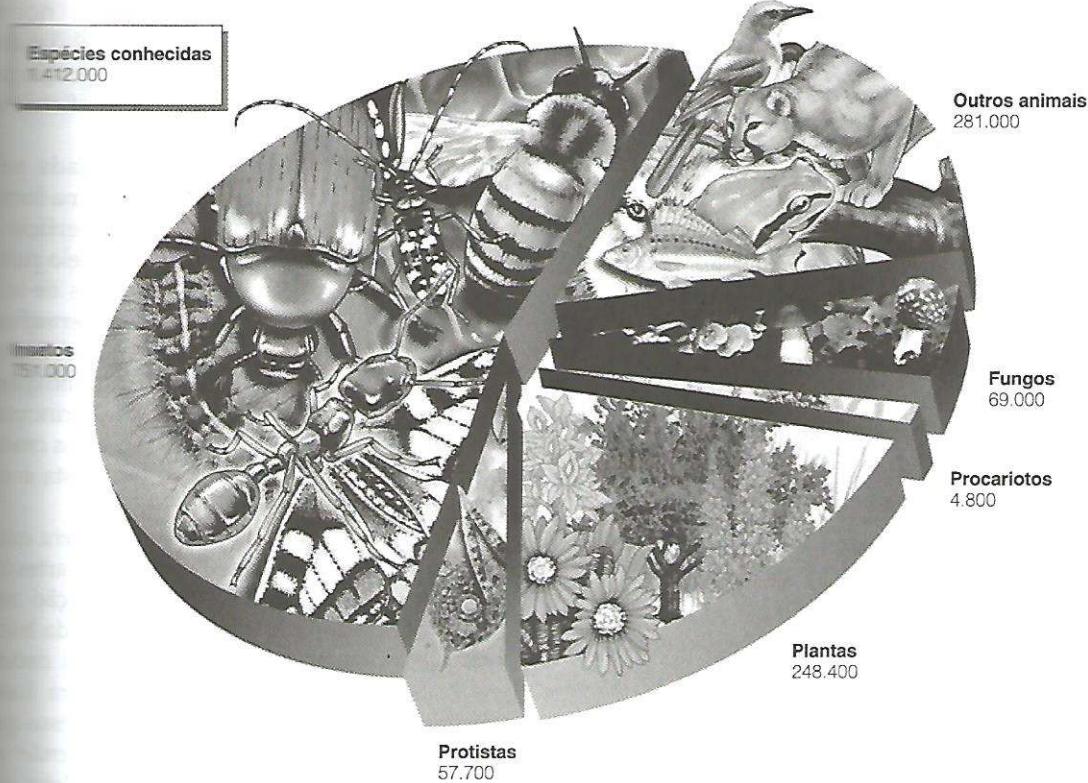


Figura 3.1 Capital natural: subdivisão de 1,4 milhão de espécies conhecidas.

população é um grupo de indivíduos da mesma espécie que interage e ocupa uma área específica (Figura 3.2). Exemplos incluem o peixe em uma lagoa, árvores de carvalho-branco em floresta e pessoas em um país. Na maioria das populações naturais, a composição genética dos indivíduos varia ligeiramente, motivo pelo qual a aparência física e o modo de agir são diferentes. Essa variação é denominada **diversidade genética** de uma população (Figura 3.3).

O local onde vive uma população (ou qualquer organismo individual) é o seu **habitat**, pode ser grande como um oceano ou pequeno como o intestino de um cupim.

Uma **comunidade**, ou comunidade biológica, é formada por todas as populações de diferentes espécies de plantas, animais e microrganismos vivendo e interagindo em uma área.

Um **ecossistema** é o conjunto de uma comunidade de diferentes espécies interagindo com as outras e com seu meio físico de vida e energia. Os ecossistemas podem variar de um amanho, de uma poça d'água a um riacho, de um recôcho de uma mata a uma floresta inteira ou até mesmo um deserto. Os ecossistemas podem ser

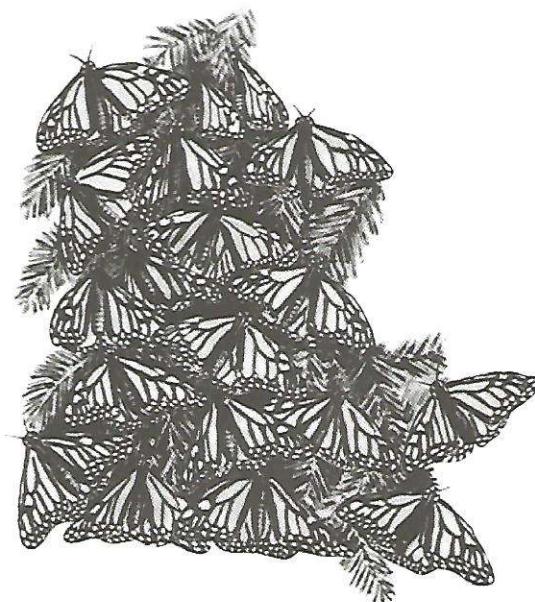


Figura 3.2 Capital natural: população de borboletas-monarca. A distribuição geográfica dessa borboleta coincide com a das asclépias, das quais as larvas se alimentam.



Figura 3.3 Capital natural: a diversidade genética entre os indivíduos de uma espécie de caracol do Caribe reflete-se nas várias cores de suas conchas e na disposição das listras.

naturais ou artificiais (criados pelo homem). Exemplos de ecossistemas artificiais incluem plantações, lagoas artificiais e reservatórios. O conjunto de todos os ecossistemas terrestres forma a biosfera.

3.2 OS SISTEMAS DE SUPORTE DE VIDA DA TERRA

Os Sistemas de Suporte de Vida da Terra: Quatro Esferas

A Terra é constituída de camadas esféricas interligadas que contêm ar, água, solo, minerais e vida.

Podemos pensar na Terra como formada por várias camadas esféricas (Figura 3.4). A **atmosfera** é um fino envelope ou membrana de ar ao redor do planeta. Sua camada interna, a **troposfera**, se estende por apenas cerca de 17 quilômetros acima do nível do mar. Ela contém a maior parte do ar do planeta, principalmente nitrogênio (78%) e oxigênio (21%).

A camada seguinte, de 17 a 48 quilômetros de extensão acima do nível do mar, é a **estratosfera**. Sua porção inferior contém ozônio (O_3)

suficiente para filtrar a nociva radiação ultravioleta do Sol. Tal fato permite que exista vida na porção terrestre e nas camadas superficiais de corpos de água.

A **hidrosfera** é formada pela água da Terra. Encontra-se na forma de **água líquida** (na superfície e subsolo do planeta), **gelo** (gelo polar, icebergs e gelo nas camadas de solo congeladas, chamadas de *permafrost*) e **vapor de água** na atmosfera. A Terra é constituída de um **núcleo** muito quente e um **manto** formado principalmente de rocha e de uma fina **crosta**. A **litosfera** consiste na crosta e no manto superior terrestres.

Todas as partes da biosfera estão interligadas, assim como as partes do seu corpo. Qualquer alteração nos componentes ou processos da biosfera pode ter um efeito em cadeia em outras partes. Se a Terra fosse uma maçã, a biosfera não seria mais espessa que a casca. O objetivo da ecologia é compreender as interações nessa fina casca ou membrana global que mantém a vida na Terra e é composta de ar, água, solo e organismos.

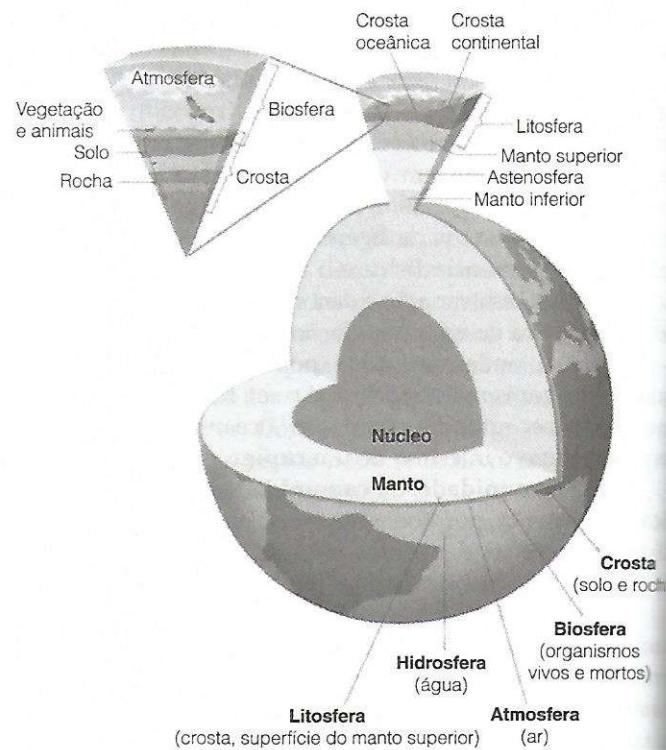


Figura 3.4 Capital natural: estrutura geral da Terra.

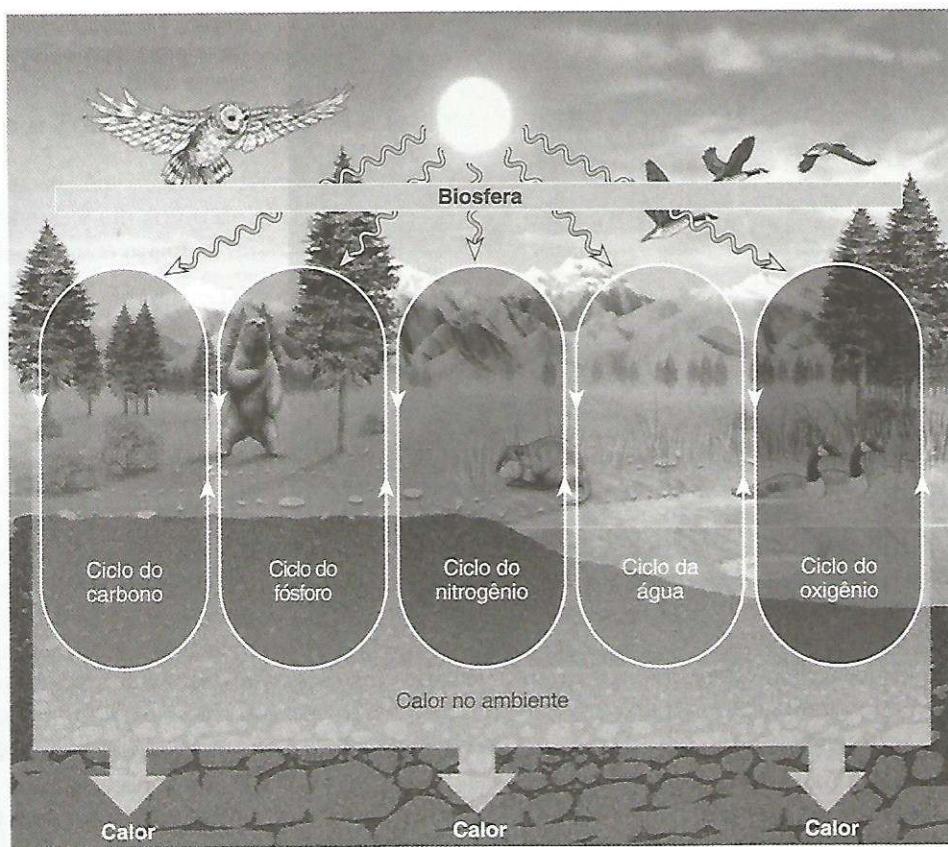


Figura 3.5 Capital natural: a vida na Terra depende do *fluxo unidirecional de energia* (setas onduladas) proveniente do Sol e que passa pela biosfera, dos *ciclos dos elementos cruciais* (linhas sólidas ao redor dos círculos ovais), e da *gravidade*, que impede que os gases atmosféricos escapem para o espaço e permite que os elementos químicos percorram os ciclos das matérias. Este modelo simplificado exibe apenas alguns dos vários elementos que apresentam ciclos.

■ Que Sustenta a Vida na Terra?

Energia solar, o ciclo da matéria e a gravidade sustentam a vida na Terra.

A vida na Terra depende de três fatores interligados (Figura 3.5):

- O *fluxo unidirecional de energia de alta qualidade* proveniente do Sol passa pelos materiais e seres vivos em suas interações alimentares, vai para o ambiente em forma de energia de baixa qualidade (principalmente calor disperso nas moléculas de ar ou água em baixa temperatura) possivelmente, volta ao espaço em forma de raios. Projetos de ida e volta não são permitidos, a energia não pode ser reciclada.

- O *ciclo da matéria* (átomos, íons ou componentes necessários para a sobrevivência dos organismos

vivos) através de partes da biosfera. Uma vez que a Terra está fechada para a entrada de quantidade significativa de matéria vinda do espaço, sua quantia fixa de suprimento de nutrientes deve ser continuamente reciclada para sustentar a vida. Todos os trajetos de nutrientes nos ecossistemas são de ida e volta.

- A *gravidade*, que permite que a Terra retenha sua atmosfera e possibilita o movimento dos elementos químicos entre o ar, a água, o solo e os organismos nos ciclos da matéria.

O Que Acontece com a Energia Solar Que Chega à Terra?

A energia solar que percorre a biosfera aquece a atmosfera, evapora e recicla a água, gera o vento e sustenta o crescimento das plantas.



Figura 3.6 Capital solar: fluxo de energia para a Terra e proveniente dela.

Aproximadamente a bilionésima parte da energia emitida pelo Sol atinge a Terra – uma minúscula esfera na vastidão do universo – na forma de ondas eletromagnéticas, em sua maioria, luz visível (Figura 2.8). A maior parte dessa energia é refletida de volta ou absorvida pelos elementos químicos na atmosfera do planeta (Figura 3.6).

Grande parte da radiação solar que consegue atravessar a atmosfera é degradada em radiação infravermelha cujas ondas têm comprimentos maior.

Essa radiação infravermelha encontra os chamados *gases de efeito estufa* (como vapor de água, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e ozônio) na troposfera. À medida que essa radiação interage com as moléculas gasosas, aumenta a energia cinética desses gases, auxiliando no aquecimento da troposfera e da superfície terrestre. Sem esse **efeito estufa natural**, a Terra seria muito fria para que a vida, como a conhecemos, existisse.

Por Que a Terra Favorece Tanto a Vida?

A variação de temperatura da Terra, sua distância em relação ao Sol e seu tamanho resultam em condições favoráveis para a existência da vida como a conhecemos.

A vida no nosso planeta depende da água líquida que domina a superfície terrestre. A

temperatura é um fator crucial, pois a maior parte da vida na Terra necessita de temperaturas médias entre os pontos de fusão e ebulição da água.

A órbita terrestre está a uma distância ideal do Sol para proporcionar tais condições. Se o planeta estivesse muito mais perto do Sol, seria quente demais – como Vênus – para que o vapor de água se condensasse e formasse a chuva. Se estivesse muito mais distante, a superfície terrestre seria tão fria – como Marte – que a água só existiria em forma de gelo. A Terra também gira; caso contrário, o lado voltado para o Sol seria demasiadamente quente, e o outro lado, frio demais para permitir a vida aquática.

A Terra também tem o tamanho certo: ela contém massa gravitacional suficiente para manter seu núcleo de ferro e níquel liquefeito e para impedir que suas moléculas de gases leves (como N₂, O₂, CO₂ e H₂O) presentes na atmosfera escapem para o espaço.

Em uma escala temporal de milhões de anos, a Terra tem sido extremamente resiliente e adaptável. No decorrer dos 3,7 bilhões de anos desde o surgimento da vida, a temperatura média da superfície terrestre permaneceu dentro da estreita faixa de 10°C a 20°C (de 50°F a 68°F), mesmo com o aumento de 30% a 40% na emissão de energia solar. Em suma, esse planeta formidável que chamamos de casa é apropriado para a vida.

COMPONENTES DO ECOSISTEMA

Biomas e Zonas de Vida Aquática

Há vida existente em sistemas terrestres denominados biomas e em zonas de vida aquática nas águas doces e nos oceanos.

Vista no espaço sideral, a Terra assemelha-se a um enorme quebra-cabeça composto de grandes pedaços de terra e vastas extensões de oceano.

Os biólogos classificaram a porção terrestre da biosfera em **biomas**. Cada uma dessas vastas regiões – tais como florestas, desertos e pastos – é caracterizada por um clima singular e espécies específicas (principalmente a vegetação) adaptadas a ela. A Figura 3.7 traz os principais diferentes biomas ao longo do paralelo 39, que compreende os Estados Unidos.

Os cientistas dividem as partes aquosas da biosfera em **zonas de vida aquática**, cada uma contendo inúmeros sistemas. Exemplos incluem *zonas de vida em água doce* (como lagos e

riachos) e *zonas de vida oceânica ou marinha* (como os recifes de corais, os estuários costeiros e o oceano profundo).

Componentes Vivos e Não-Vivos dos Ecossistemas

Os ecossistemas são formados de componentes não-vivos (abióticos) e vivos (bióticos).

Dois tipos de componentes formam a biosfera e seus ecossistemas: componentes **abióticos** ou não-vivos, como a água, o ar, os nutrientes e a energia solar, e os componentes biológicos **bióticos** ou vivos, como as plantas, os animais e os microrganismos.

As Figuras 3.8 e 3.9 mostram diagramas bastante simplificados de alguns componentes bióticos e abióticos em um ecossistema aquático de água doce e em um ecossistema terrestre. Observe atentamente esses componentes e como eles estão conectados uns aos outros por meio dos hábitos de consumo dos organismos.

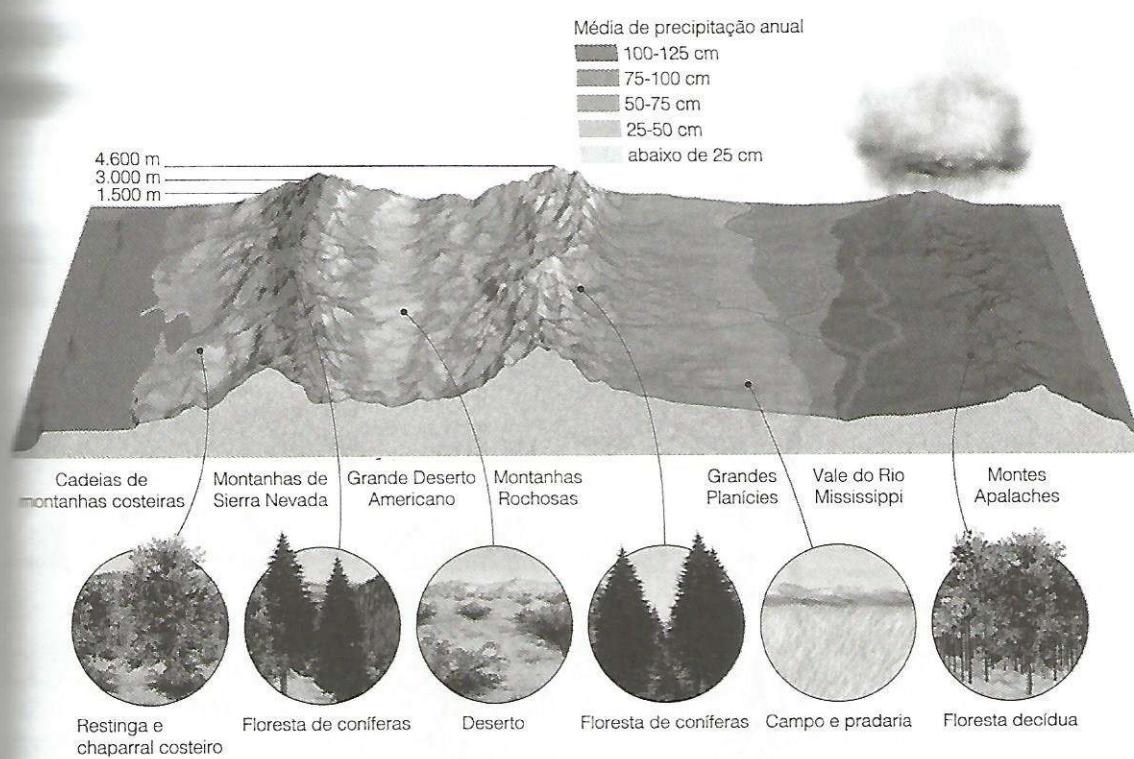


Figura 3.7 Capital natural: principais biomas encontrados ao longo do paralelo 39 que cruza os Estados Unidos. As diferenças refletem alterações no clima, especialmente diferenças na média anual de precipitação e temperatura.

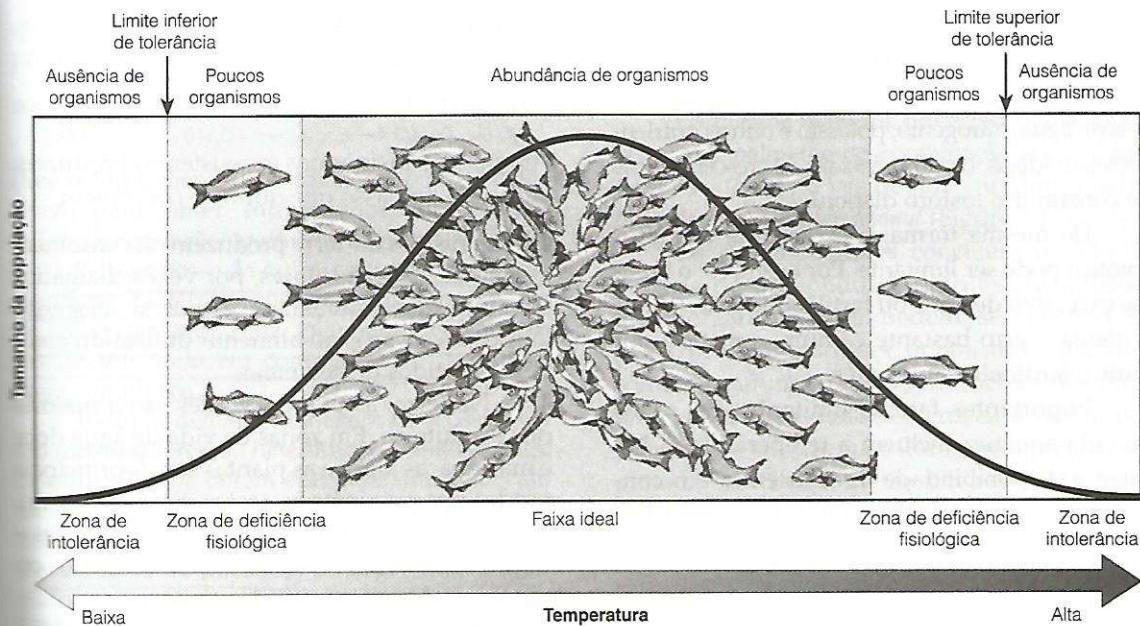


Figura 3.10 Faixa de tolerância de uma população de organismos, como peixes, para um fator ambiental abiótico – neste caso, a temperatura.

Espécies diferentes crescem sob condições físicas distintas. Algumas necessitam da luz do Sol; outras nascem à sombra. Algumas precisam de um ambiente quente; outras preferem o frio. Algumas se saem melhor sob condições úmidas; outras prosperam em condições secas.

Cada população em um ecossistema tem uma faixa de tolerância a variações em seu ambiente físico e químico, como mostra a Figura 3.10. Os indivíduos dentro de uma mesma população podem apresentar faixas de tolerância ligeiramente diferentes em relação à temperatura ou a outros fatores em razão de pequenas diferenças na composição genética, condição de vida ou idade. Por exemplo, uma população de trutas pode viver melhor entre uma estreita faixa de temperaturas (*nível* ou *faixa ideal*), mas os indivíduos conseguem sobreviver acima ou abaixo dessa faixa. Obviamente, se a água ficar muito quente ou muito fria, nenhuma das trutas segue sobreviver.

Tais observações estão resumidas na lei de tolerância: o que determina a existência, abundância e distribuição de uma espécie no ecossistema é o fato de os níveis de um ou mais fatores físicos e químicos estarem situados na faixa tolerada pela espécie. Uma espécie pode apresentar

alta capacidade de tolerância para alguns fatores e baixa capacidade para outros. A maioria dos organismos é menos tolerante durante a juventude ou na fase de reprodução. Espécies altamente tolerantes podem viver em uma variedade de habitats de condições bastante distintas.

Fatores que Limitam o Crescimento da População

Disponibilidade de matéria e recursos energéticos podem limitar o número de organismos em uma população.

Diversos fatores podem afetar o número de organismos em uma população. Por vezes, um fator, conhecido como **fator limitante**, tem mais importância que outros para o crescimento da população. Tal princípio ecológico, relacionado à lei de tolerância, denomina-se **princípio dos fatores limitantes**: o excesso ou a falta de um fator abiótico pode limitar ou impedir o crescimento de uma população, ainda que todos os outros fatores estejam na faixa de tolerância ideal ou próximos a ela.

Na terra, a precipitação é geralmente o fator limitante. A falta de água no deserto limita o crescimento das plantas. Os nutrientes no solo

também podem atuar como fator limitante da terra. Suponhamos que um fazendeiro plante milho em um solo pobre em fósforo. Mesmo que os níveis de água, nitrogênio, potássio e outros nutrientes sejam ideais, o milho deixará de crescer depois de consumir o fósforo disponível.

Da mesma forma, o excesso de um fator abiótico pode ser limitante. Por exemplo, o volume excessivo de água ou fertilizante pode matar a planta – erro bastante comum cometido por muitos jardineiros iniciantes.

Importantes fatores limitantes de zonas de vida aquática incluem a temperatura, a luz solar, a disponibilidade de nutrientes e o **conteúdo de oxigênio dissolvido (OD)** – a quantidade de gás oxigênio dissolvido em determinado volume de água a uma temperatura e pressão específicas. Outro fator limitante nas zonas de vida aquática é a salinidade – as quantidades de diversos minerais ou sais inorgânicos dissolvidos em determinado volume de água.

Componentes Biológicos dos Ecossistemas: Produtores, Consumidores e Decompositores

Alguns organismos nos ecossistemas produzem alimento, ao passo que outros o consomem.

Os organismos da Terra produzem ou consomem alimentos. Os **produtores**, por vezes chamados de **autótrofos** (alimentam-se por si mesmos), fabricam seu próprio alimento utilizando compostos obtidos de seu meio.

Na terra, as plantas verdes são a maioria dos produtores. Em zonas de vida de água doce e marinha, as algas e as plantas são os principais produtores próximos às costas. Em mar aberto, os produtores dominantes são os **fitoplânctons** – organismos microscópicos que flutuam ou vagam na água.

A maior parte dos produtores captura a luz solar para formar compostos complexos (como a glicose, $C_6H_{12}O_6$) por meio da **fotossíntese**. Apesar da ocorrência de centenas de reações

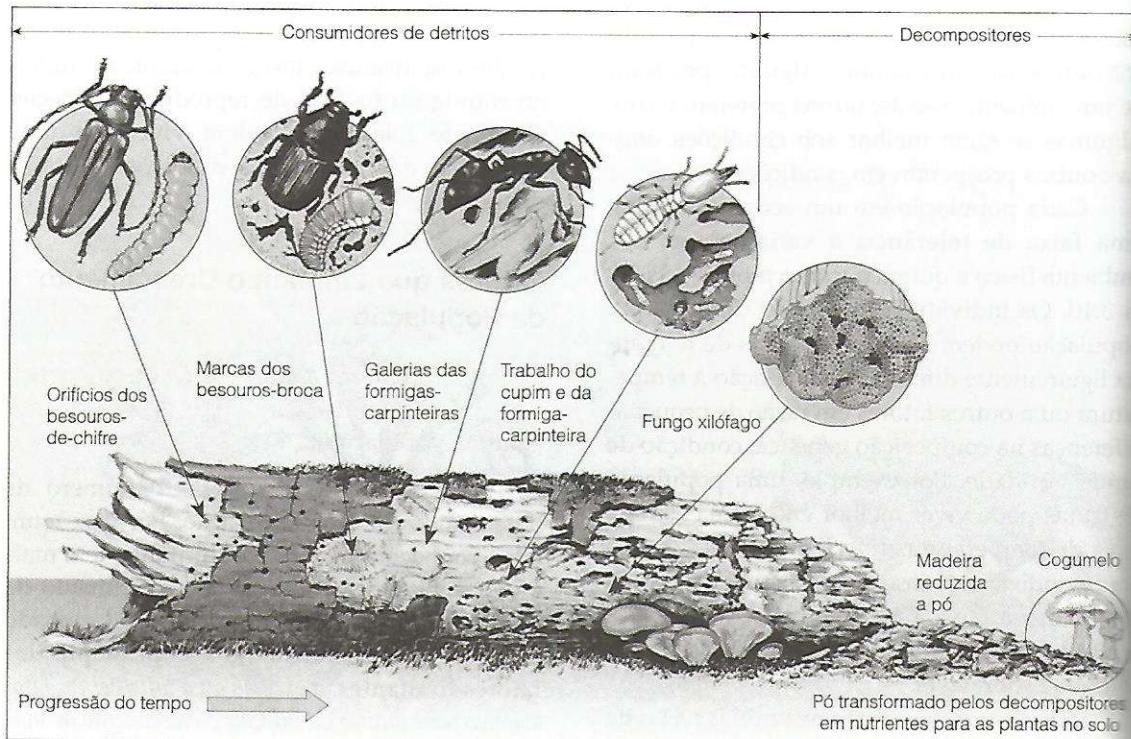
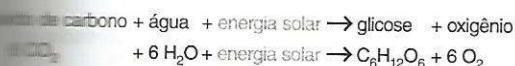


Figura 3.11 Capital natural: alguns detritívoros, chamados de *consumidores de detritos*, consomem fragmentos desse tronco. Outros detritívoros, denominados *decompositores* (em sua maioria, fungos e bactérias), digerem compostos químicos complexos nos fragmentos da madeira, convertendo-os em nutrientes inorgânicos mais simples, que podem ser outra vez absorvidos pelos produtores.

químicas durante a fotossíntese, a reação geral pode ser resumida da seguinte maneira:



• Suplemento Científico 2, no final deste capítulo, para obter informações sobre como escrever equações químicas como essa.)

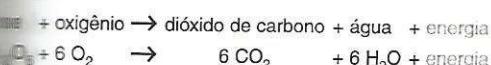
Pelo processo da **quimiossíntese**, principalmente as bactérias especializadas são capazes de converter, sem a luz solar, simples compostos de seu meio em compostos de nutrientes complexos.

Todos os demais organismos no ecossistema são **consumidores**, ou heterótrofos ("alimentam-se de outros"), que obtêm energia e nutrientes alimentando-se de outros organismos ou de resíduos inorgânicos. Os **decompositores** (na maioria, tipos de bactérias e fungos) são consumidores especializados que reciclam matéria orgânica nos ecossistemas. Eles decomponem (lham) material orgânico morto ou detritos ("fragmentos") para obter nutrientes. Essa ação libera compostos inorgânicos mais simples no solo e na água, onde os produtores podem absorver os nutrientes.

Os **onívoros** exercem uma dupla função: comoram-se de plantas e animais. São exemplos: porcos, ratos, raposas, ursos, baratas e seres humanos, entre outros. Você foi herbívoro, carnívoro ou onívoro no almoço de hoje?

Os **detritívoros** são os consumidores de detritos, decompositores que se alimentam de restos orgânicos. Milhões desses comedores e degradação de resíduos podem transformar em pó um pedaço de árvore caído no chão e, depois, em moléculas inorgânicas que as plantas podem absorver como nutrientes (Figura 3.11). Nos ecossistemas naturais, existe pouco ou nenhum desperdício. Os resíduos de um organismo servem de alimento para outros, pois os nutrientes que tornam a vida possível são reciclados de forma contínua.

Produtores, consumidores e decompositores usam a energia química armazenada na glicose para outros compostos orgânicos para manter os processos vitais. Na maioria das células, a energia é liberada pela **respiração aeróbica**, que utiliza o oxigênio para converter nutrientes orgânicos novamente em dióxido de carbono e água. Podemos representar esse processo como por meio da seguinte reação:



Apesar de suas etapas diferirem, a reação química da respiração aeróbica é o oposto da que ocorre na fotossíntese.

A sobrevivência de qualquer organismo depende do *fluxo da matéria e energia* que percorre seu corpo.

Da mesma maneira, um ecossistema sobrevive principalmente da combinação entre *reciclagem da matéria* (em vez de fluxo unidirecional) e *fluxo de energia unidirecional* (Figura 3.12).

Os decompositores concluem o ciclo da matéria decompondo os detritos em nutrientes inorgânicos, que podem ser absorvidos pelos produtores. Esses organismos que consomem resíduos e reciclam nutrientes nos prestam um serviço ecológico crucial e nunca nos cobram por isso. Sem os decompositores, nosso planeta estaria submerso em restos de plantas, carcaças de animais, resíduos de animais e lixo, e grande parte da vida como a conhecemos não existiria.

Biodiversidade: Um Recurso Crucial

A biodiversidade da Terra é um recurso renovável vital encontrado na variedade de genes, espécies, ecossistemas e processos ecológicos.

A **diversidade biológica**, ou **biodiversidade**, é um dos recursos renováveis mais importantes. É formada por quatro componentes, conforme mostra a Figura 3.13.

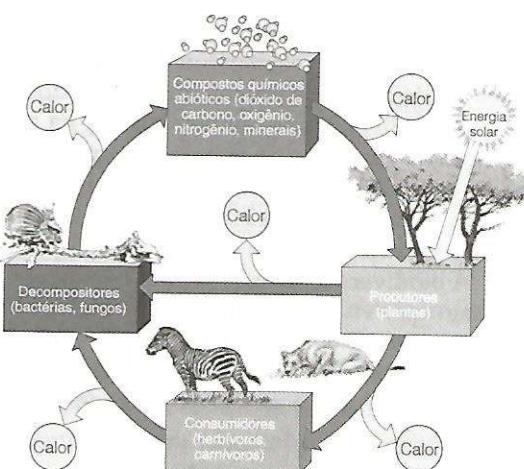


Figura 3.12 Capital natural: principais componentes estruturais de um ecossistema (energia, compostos químicos e organismos). A reciclagem da matéria e o fluxo de energia – primeiro do Sol, em seguida, pelos organismos, e finalmente para o meio ambiente em forma de calor de baixa qualidade – ligam esses componentes.

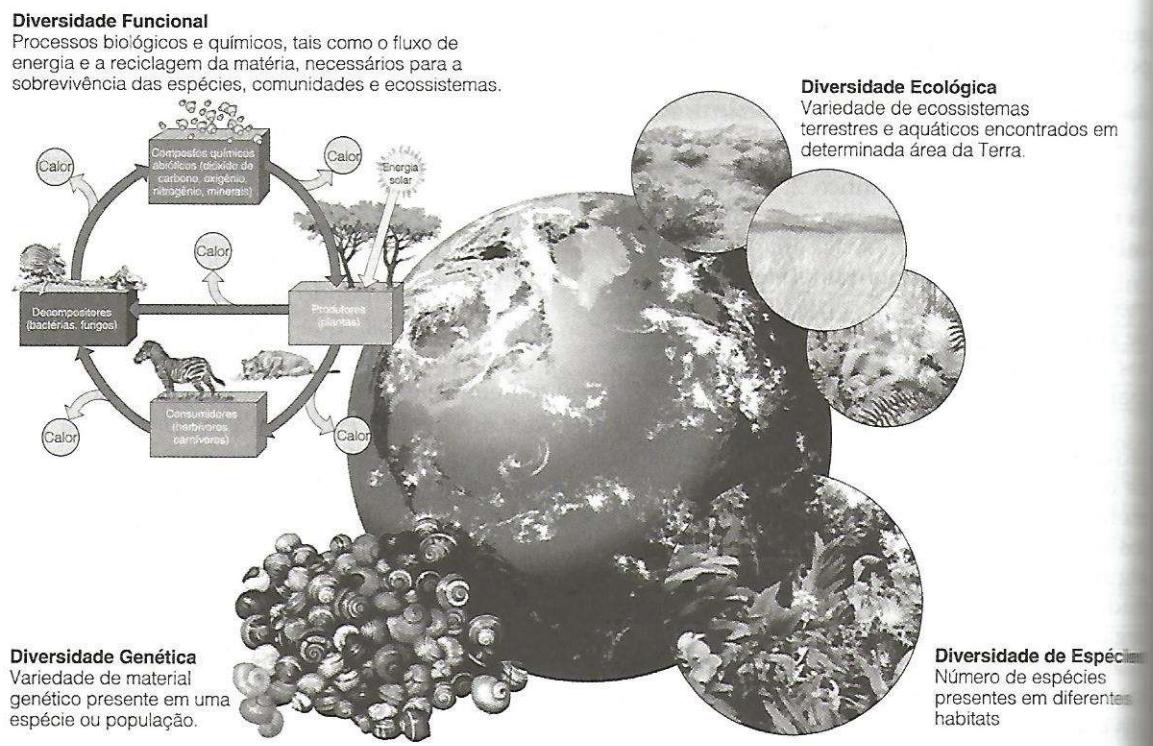


Figura 3.13 Capital natural: principais componentes da *biodiversidade* da Terra – um dos recursos renováveis mais importantes do planeta.

A biodiversidade da Terra é a riqueza ou capital biológico que ajuda a nos manter vivos. Ela nos fornece alimento, madeira, fibras, energia, matérias-primas, elementos químicos industriais e medicamentos – recursos que derramam bilhões de dólares na economia mundial todos os anos. A biodiversidade também auxilia na preservação da qualidade do ar e da água, na manutenção da fertilidade dos solos, descarte de resíduos e controle de populações de pestes que atacam plantações e florestas.

A biodiversidade é um recurso renovável, contanto que vivamos daquilo que ela nos fornece, preservando o capital natural que provê tais elementos. *Compreender, proteger e manter a biodiversidade é o grande objetivo da ecologia e deste livro.*

3.4 FLUXO DE ENERGIA NOS ECOSISTEMAS

Cadeias e Teias Alimentares

Cadeias e teias alimentares mostram como os consumidores, os consumidos e os decompostos estão conectados uns aos outros no ecossistema.

Todos os organismos, vivos ou mortos, são fontes potenciais de alimentos para outros organismos. Uma lagarta come uma folha, um pássaro come a lagarta, o falcão come o pássaro. Os decompositores consomem a folha, a lagarta, o pássaro e o gavião, depois de mortos. Como resultado, *existe pouco desperdício nos ecossistemas naturais*.

Uma seqüência de organismos, na qual cada um serve como fonte de alimento para o próximo, recebe o nome de **cadeia alimentar**. Ela determina como a energia e os nutrientes passam de um organismo ao outro pelo ecossistema, conforme mostra a Figura 3.14.

Os ecologistas atribuem um nível alimentar, ou **nível trófico** (do grego *trophos*, que significa “nutrição”), a cada organismo em um ecossistema, dependendo se ele é um produtor ou consumidor, e se ele come ou decompõe. Os produtores pertencem ao primeiro nível trófico, os consumidores primários ao segundo nível trófico, os consumidores secundários ao terceiro nível, e assim por diante. Os detritívoros (consumidores de detritos e decompositores) processam os detritos de todos os níveis tróficos.

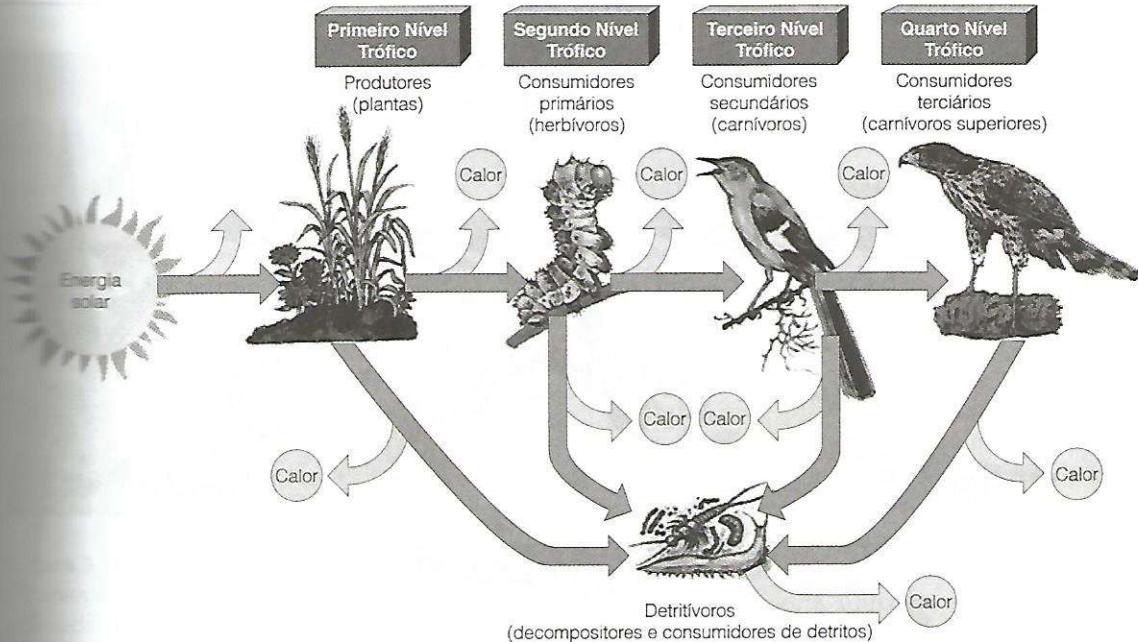


Figura 3.14 Capital natural: cadeia alimentar. As setas ilustram como a energia química do alimento é transferida pelos vários níveis tróficos: a maior parte da energia é dissipada em calor, de acordo com a segunda lei da termodinâmica. *Raciocínio crítico: as cadeias alimentares raramente têm mais de quatro níveis tróficos. Você sabe dizer por quê?*

Obviamente, os ecossistemas de verdade são mais complexos. A maioria dos consumidores se alimenta de mais de um tipo de organismo que, por sua vez, são consumidos por mais de um tipo de consumidor.

Como a maior parte das espécies participa de diversas cadeias alimentares, os organismos da maioria dos ecossistemas formam uma complexa rede de cadeias alimentares interligadas denominada **teia alimentar**, como mostra a Figura 3.15. Os níveis tróficos podem ser atribuídos nas teias alimentares assim como nas cadeias alimentares.

Fluxo de Energia em um Ecossistema

Há uma diminuição na quantidade de energia disponível para cada organismo que se sucede na cadeia ou teia alimentar.

Cada nível trófico na cadeia ou teia alimentar contém certa quantidade de **biomassa**, o peso seco de toda a matéria orgânica contida nesses

organismos. A energia química armazenada na biomassa é transferida de um nível trófico ao outro.

A porcentagem de energia transferida em forma de biomassa de um nível trófico ao outro denomina-se **eficiência ecológica**. Ela varia de 2% a 40% (ou seja, uma perda de 60% a 98%), dependendo dos tipos de espécies e do ecossistema envolvido, mas 10% é o valor típico.

Supondo uma eficiência ecológica de 10% (90% de perda) em cada transferência trófica, se as plantas de uma área conseguirem capturar 10 mil unidades de energia do Sol, isso significa que apenas cerca de mil unidades estarão disponíveis para alimentar os herbívoros e somente cem unidades para os carnívoros.

Quanto maior o número de etapas ou níveis tróficos em uma cadeia ou teia alimentar, maior a perda cumulativa de energia à medida que ela flui pelos vários níveis tróficos. A **pirâmide de fluxo de energia** na Figura 3.16 ilustra essa perda de energia em uma cadeia alimentar simples, supondo 90% de perda energética em

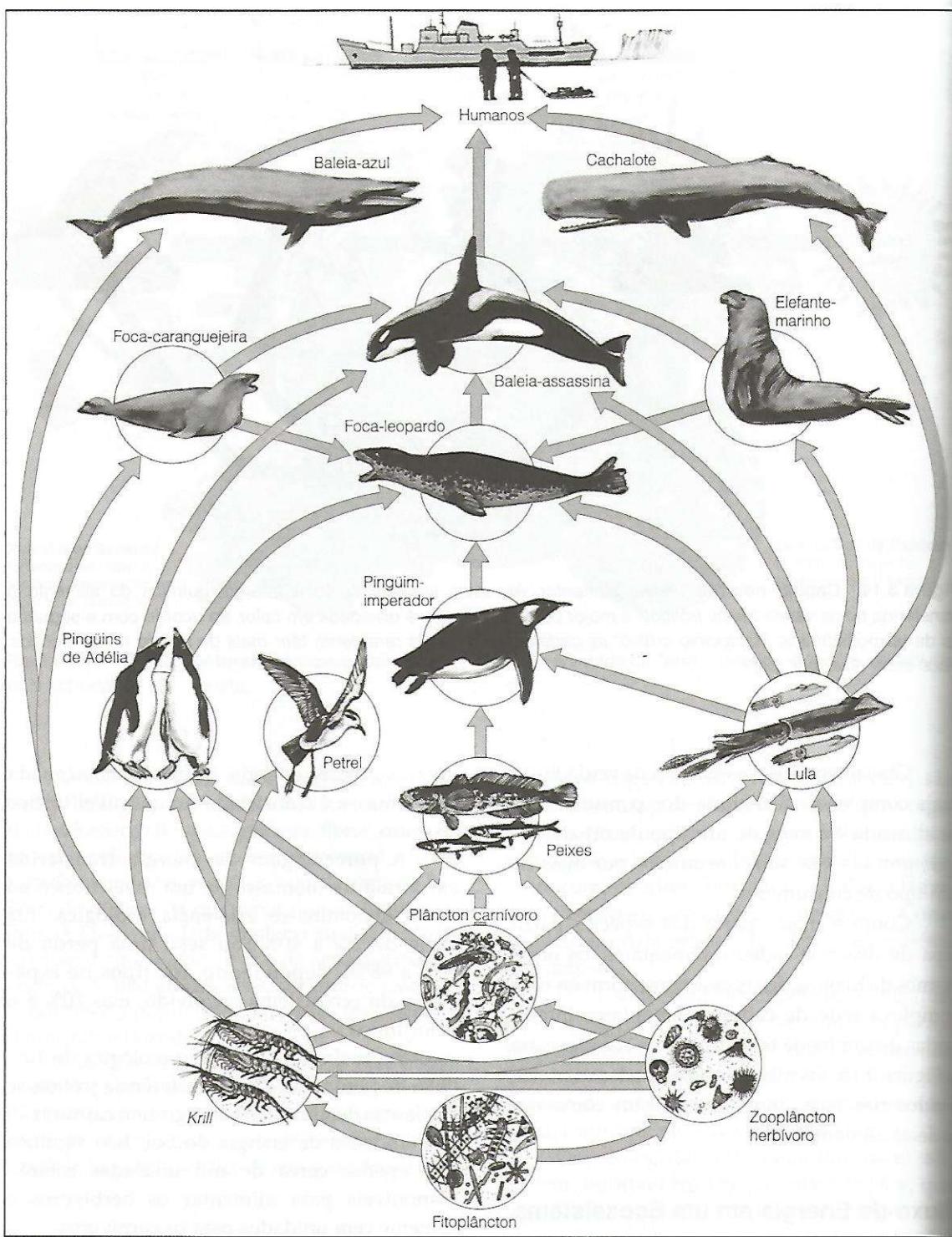


Figura 3.15 Capital natural: uma *teia alimentar* bastante simplificada na Antártica. Inúmeros outros participantes na teia, incluindo uma série de organismos decompositores, não estão na figura.

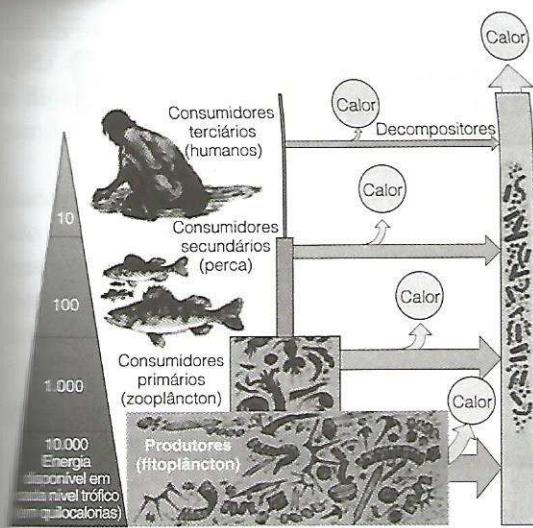


Figura 3.16 Capital natural: a pirâmide geral de fluxo de energia mostra a diminuição na energia disponível em cada nível trófico que se sucede na cadeia ou teia alimentar. Na natureza, a eficiência ecológica varia de 2% a 40%, sendo 10% o normal. Esse modelo supõe uma eficiência ecológica de 10% (90% de perda de energia para o meio ambiente, na forma de calor de baixa qualidade) a cada transferência de um nível trófico ao outro.

da transferência. Como esse diagrama ajuda a explicar por que existem tão poucos tigres no mundo?

As pirâmides de fluxo de energia explicam por que a Terra pode manter mais pessoas se elas se alimentarem em níveis tróficos menores, ingerindo grãos, vegetais e frutas diretamente, vez de submeter tais plantações a outro nível trófico, e se alimentar dos consumidores de grão, como o gado.

A grande perda energética entre os níveis tróficos sucessivos também explica por que é raro cadeias e teias alimentares terem mais de quatro ou três níveis. Na maioria dos casos, resta pouquíssima energia, ao final de quatro ou cinco transferências, para suprir os organismos que se alimentam em níveis tróficos maiores. Como consequência, existem relativamente poucos carnívoros de topo, como a águia, o lince, o tigre e o tubarão branco.

Tal fenômeno também explica o porquê de algumas espécies serem geralmente as primeiras a sofrer quando seus ecossistemas são destruídos e vulneráveis à extinção. Você acha que os seres humanos estão nessa lista?

Produtividade dos Produtores

Diferentes ecossistemas utilizam energia solar para a produção e apresentam diferentes taxas de uso de biomassa.

A taxa em que produtores de um ecossistema convertem energia solar em energia química na forma de biomassa é a **produtividade primária bruta (PPB)**. Para permanecerem vivos, crescerem e se reproduzirem, os produtores de um ecossistema devem utilizar em sua própria respiração parte da biomassa que produzem. A **produtividade primária líquida (PPL)** é a taxa na qual os produtores utilizam a fotossíntese para armazenar energia *menos* a taxa de utilização da energia armazenada por meio da respiração aeróbica, como ilustra a Figura 3.17. Em outras palavras, $PPL = PPB - R$, em que R significa a energia utilizada na respiração. A PPL mede a velocidade na qual os produtores podem fornecer o alimento de que os demais organismos (consumidores) necessitam.

Os diversos ecossistemas e zonas de vida diferem quanto à PPL, conforme mostra a Figura 3.18. De acordo com esse gráfico, quais são os três sistemas mais produtivos e os três menos produtivos da natureza? A despeito de sua

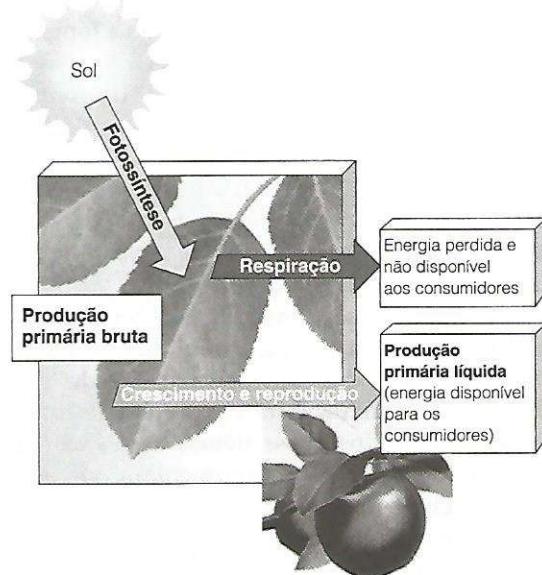


Figura 3.17 Distinção entre a produtividade primária bruta e a produtividade primária líquida. A planta utiliza parte de sua PPB para sobreviver, na sua própria respiração. A energia remanescente fica disponível aos consumidores.

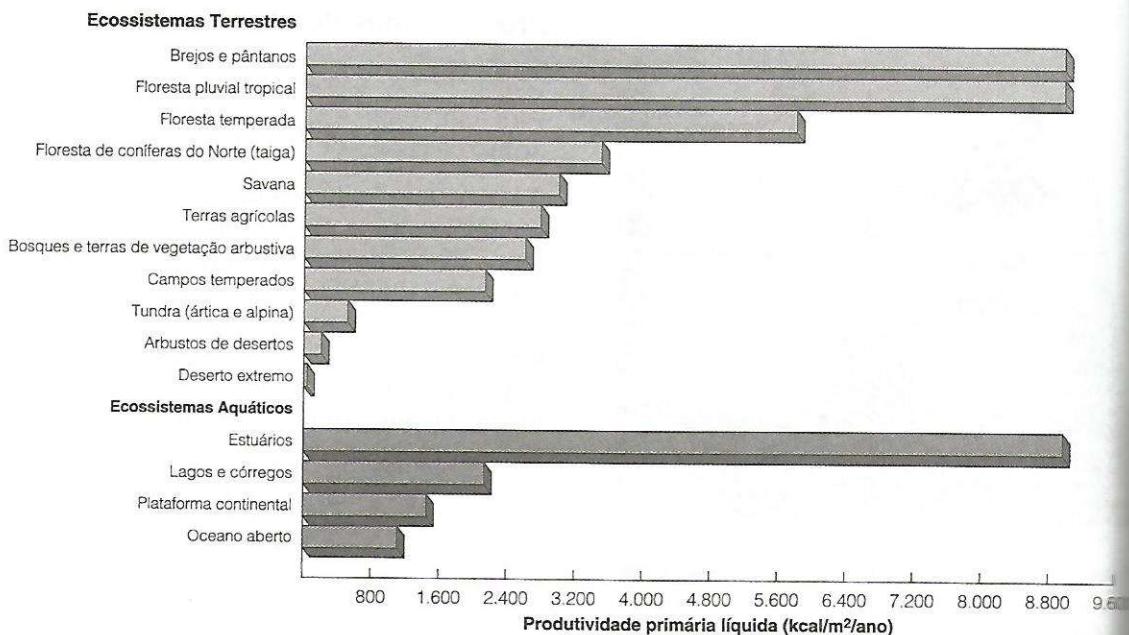


Figura 3.18 Capital natural: produtividade primária líquida estimada por unidade de área, nos principais ecossistemas e zonas de vida, expressa em quilocalorias de energia produzida por metro quadrado por ano (kcal/m²/ano). (Dados de R. H. Whittaker, *Communities and Ecosystems*, 2. ed. Nova York: Macmillan, 1975.)

baixa PPL, o oceano, em razão de sua vasta extensão, é responsável por mais PPL da Terra por ano que qualquer outro ecossistema ou zona de vida.

Como vimos, os produtores são a fonte de todo o alimento no ecossistema. Apenas a biomassa representada pela PPL está disponível em forma de alimento para os consumidores, que utilizam somente parte dessa quantia. Conseqüentemente, a PPL da Terra acaba por limitar o número de consumidores (inclusive os seres humanos) que podem sobreviver na Terra. Eis uma importante lição da natureza.

Peter Vitousek, Stuart Rojstaczer e outros ecologistas estimam que os humanos usam, desperdiçam ou destroem cerca de 27% do total de PPL potencial da Terra e por volta de 10% a 55% de PPL dos ecossistemas terrestres do planeta. Os ecologistas argumentam que essa é a principal razão por estarmos usurpando ou eliminando os habitats ou suprimentos alimentares de outras espécies. O que poderá acontecer conosco e com outras espécies de consumidores ante o crescimento da população humana no decorrer dos próximos 40 ou 50 anos e do aumento exponencial do consumo *per capita* de recursos, como alimento, madeira e pastos?

3.5 SOLOS

O Que É Solo e Por Que É Importante?

O solo é um recurso de lenta renovação, que fornece a maior parte dos nutrientes necessários para o crescimento das plantas e ajuda a purificar a água.

O solo é uma fina cobertura sobre a terra formada de uma complexa mistura de rocha erodida, nutrientes minerais, matéria orgânica em decomposição, água, ar e bilhões de organismos vivos. Observe na Figura 3.19 um perfil de solos de diferentes idades. Apesar de o solo ser um recurso renovável, sua renovação ocorre lentamente. Dependendo do clima, a formação de apenas um centímetro pode levar de 15 a centenas de anos.

O solo é a base da vida na terra. Ele fornece um grande volume de nutrientes necessários para o crescimento das plantas. Na verdade, o solo é composto principalmente de nutrientes do solo introduzidos em seu corpo por meio dos alimentos que você ingere. O solo também é o principal filtro da Terra, pois purifica a água à medida que ela passa por ele. Auxilia na decomposição e na reciclagem de resíduos biodegradáveis e é o principal componente dos processos de reciclagem.