

Estrutura dos ecossistemas, fluxo de energia e ciclo da matéria

Biosphoto/Thierry Montford/Diomedea



Figura 4.1. Os beija-flores, exemplificados nessa fotografia pelo beija-flor-tesoura (*Eupetomena macroura*; mede cerca de 20 cm de comprimento), são muito ágeis. Essas aves são capazes de bater as asas dezenas de vezes por segundo e, por isso, conseguem pairar no ar. Os beija-flores têm o metabolismo mais acelerado entre as aves, portanto alimentam-se com mais frequência. O seu principal alimento é o néctar de flores, mas eles também caçam pequenos insetos com grande habilidade em voos curtos. Além disso, têm um papel importante na polinização de muitas plantas. Na época da reprodução, após a cópula, a fêmea constrói o ninho em uma árvore usando musgos, líquens e restos de folhas e de teias de aranha. O macho defende o território enquanto a fêmea incuba os ovos. Os filhotes são alimentados pela fêmea, principalmente com insetos, e deixam o ninho com 14 a 22 dias de vida.



Pense nisso

- Na legenda da fotografia acima são descritos aspectos da vida de beija-flores. Para construir o ninho, essas aves precisam de alguns elementos. De onde vêm esses elementos?
- O beija-flor depende de outros organismos para viver? Quais?
- Cite alguns animais que você conhece e do que cada um deles se alimenta.
- Como é a nutrição de outros organismos, como plantas, fungos e bactérias? De onde vem o alimento desses organismos? A função do alimento para os seres que citou é a mesma função do alimento que você come?
- O que acontece com o corpo de um organismo quando ele morre?
- Explique a importância da água para a nossa vida e para a dos demais seres vivos.

1. Hábitat e nicho ecológico

No capítulo anterior, foram discutidos os biomas terrestres e os ecossistemas aquáticos. Durante o estudo, foram destacados os principais fatores abióticos que atuam sobre as comunidades.

Considerando qualquer um dos ecossistemas mencionados, os organismos neles presentes estão constantemente interagindo entre si e com os fatores abióticos, dando origem a uma complexa rede de relações. Cada organismo tem o seu lugar e a sua função nessa rede de relações.

O lugar onde um organismo vive é o seu **hábitat**, e o modo de vida, ou forma de interagir com os demais

componentes do ecossistema, constitui o seu **nicho ecológico**. Podemos dizer que hábitat refere-se ao ambiente, enquanto nicho diz respeito ao organismo (Fig. 4.2).

Assim, em um ecossistema representado por uma lagoa, o hábitat de uma alga microscópica planctônica é a coluna de água em que há luz para a fotossíntese. Seu nicho ecológico pode ser assim resumido: ela necessita de luz, de nutrientes minerais, de temperatura adequada, realiza fotossíntese, reproduz-se, serve de alimento para determinados animais e afeta a composição química do meio, especialmente quanto aos gases e nutrientes dissolvidos.



Luciano Candisani



Luciano Candisani

Figura 4.2. As fotografias acima exemplificam algumas das interações que uma sucure (à esquerda) e um muriqui (à direita) estabelecem com o ambiente. A sucure tem como hábitat rios, lagos e matas próximas a esses locais. Faz parte de seu nicho ser predadora, alimentando-se de diversos animais, caso do peixe piraputanga, na fotografia, que ela capturou dentro de um rio no Pantanal. Já o muriqui tem como hábitat a copa das árvores na região da Mata Atlântica. Faz parte de seu nicho alimentar-se do néctar das flores. A sucure da fotografia mede cerca de 4 m de comprimento e o muriqui, cerca de 80 cm de comprimento, sem contar a cauda.

2. Os componentes estruturais de um ecossistema

Os ecossistemas apresentam dois componentes estruturais básicos e intimamente inter-relacionados:

- componentes **abióticos**: podem ser físicos (como a radiação solar, a temperatura, a luz, a umidade, os ventos), químicos (como os nutrientes presentes nas águas e nos solos) ou geológicos (como o solo);
- componentes **bióticos**: são os seres vivos. Em um ecossistema podem-se reconhecer dois tipos de componentes bióticos:
 - organismos autótrofos (*auto* = próprio; *trofos* = alimento): sintetizam seu próprio alimento a partir de substâncias inorgânicas, como o gás carbônico e a água, e uma fonte de energia, por exemplo, a energia luminosa;
 - organismos heterótrofos (*hetero* = diferente; *trofos* = alimento): não são capazes de sintetizar seu próprio alimento como fazem os autótrofos; os he-

terótrofos dependem direta ou indiretamente da matéria orgânica sintetizada pelos autótrofos para obter a matéria-prima para seu crescimento, reprodução e reparação de perdas, além da energia necessária para a manutenção de seus processos vitais.

Os organismos autótrofos são chamados **produtores**. Entre eles, os mais importantes em termos ecológicos são os que realizam a fotossíntese. Por esse processo, moléculas de gás carbônico e de água participam de reações químicas, que dependem direta ou indiretamente da energia luminosa captada pelo pigmento verde clorofila, dando origem a moléculas orgânicas, como é o caso de açúcares.

Na fotossíntese, portanto, a energia luminosa é transformada em energia química, que fica armazenada nas moléculas orgânicas. Praticamente todo o oxigênio presente na atmosfera ou dissolvido na água provém da fotossíntese.

Os organismos heterótrofos podem ser:

- **consumidores:** alimentam-se de outros organismos ou restos de organismos (detritos). Todos os animais são consumidores. Os animais que se alimentam de produtores são chamados consumidores primários. Os **herbívoros**, animais que se alimentam de plantas, são consumidores primários. Os animais que se alimentam de herbívoros são chamados consumidores secundários. Os animais que se alimentam de consumidores secundários são chamados consumidores terciários, e assim por diante. Com exceção dos consumidores primários, que são herbívoros, os demais consumidores de matéria viva são **carnívoros** (alimentam-se de outros animais) ou **onívoros** (alimentam-se de plantas ou animais). Consumidores de detritos são chamados **detritívoros**. Em um ecossistema, no entanto, nem sempre ocorrem todas essas categorias de consumidores;

- **decompositores:** organismos heterótrofos que degradam a matéria orgânica contida em produtores ou em consumidores mortos. Eles utilizam alguns produtos da decomposição como alimento e liberam para o meio minerais e outras substâncias (processo chamado remineralização) que podem ser novamente utilizadas pelos produtores. Os decompositores estão representados por certas bactérias e fungos.

Os limites de um ecossistema nem sempre são fáceis de se estabelecer. A biosfera toda pode ser considerada um grande ecossistema. Partes da biosfera, tais como oceanos, florestas e lagos, também são ecossistemas. Eles podem ser encontrados até mesmo em espaços muito pequenos, como poças d'água, onde vivem diversas espécies. Independentemente das dimensões, pode-se considerar como um ecossistema qualquer unidade funcional da biosfera em que se verificam **fluxo de energia** e **ciclo de matéria**. Vamos ver o que isso significa.



Despertando ideias

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

REGISTRE
NO CADERNO



Ciclo de matéria e fluxo de energia em um ecossistema

Objetivo

Vamos fazer uma analogia, usando um modelo, para compreender o significado de ciclo de matéria e de fluxo de energia.

Procedimento

1. Pegue uma folha de cartolina e recorte um círculo de cerca de 20 cm de diâmetro. Depois, recorte uma série de aletas em volta do círculo e dobre uma das margens de algumas delas, como mostra a **figura 4.3**.
2. Faça um furo no centro e passe uma vareta através dele. Você construiu uma roda d'água.
3. Abra uma torneira e posicione-a de modo que a água caia nas dobras das aletas, como mostra a **figura 4.4**.

Ilustrações: Alberto De Stefano



< **Figura 4.3.** Representação da montagem do círculo de cartolina com aletas.



< **Figura 4.4.** Esquema representando como a cartolina deve ser colocada sob a água da torneira.

Questões

1. Qual é a diferença entre fluxo e ciclo?
2. Nessa montagem, o que seria equivalente ao fluxo de energia e ao ciclo da matéria?
3. O que você diria sobre a relação entre fluxo de energia e ciclo da matéria?

3. Cadeia e teia alimentar

O alimento produzido pelos autótrofos é utilizado por eles e pelos organismos heterótrofos.

Como já vimos, o processo mais importante de produção de matéria orgânica a partir da inorgânica é a fotossíntese, no qual a energia luminosa captada pelo autótrofo é transformada em energia química, que fica armazenada nas moléculas orgânicas.

O processo mais importante de liberação da energia contida nos alimentos orgânicos é a **respiração aeróbica**. Por meio dela, a molécula orgânica, em presença de oxigênio, é totalmente degradada em gás carbônico (CO_2) e água (H_2O).

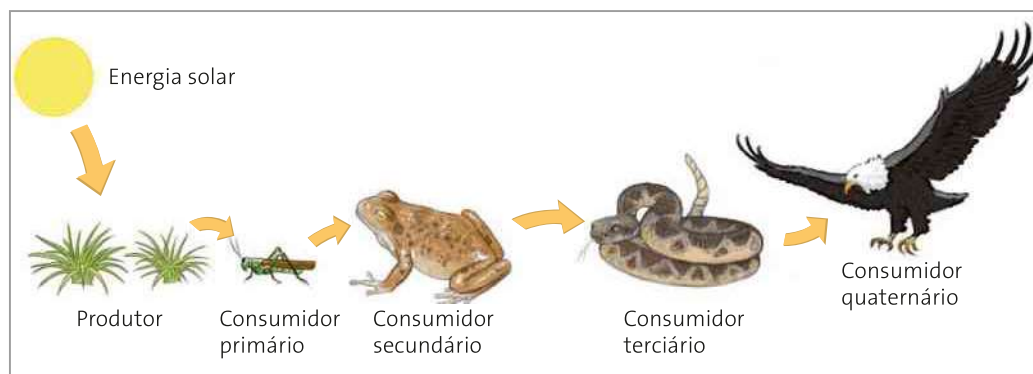
Um indivíduo autótrofo degrada, por respiração, a matéria orgânica produzida por ele mesmo. Um indivíduo heterótrofo degrada a matéria orgânica produzida direta ou indiretamente por um autótrofo. É direta quando o heterótrofo se alimenta diretamente do autótrofo, como ocorre com os herbívoros, e indireta quando o heterótrofo se alimenta de outro heterótrofo, como ocorre com os carnívoros.

Nos ecossistemas, a energia química contida na matéria orgânica que faz parte do corpo do produtor

pode ser transferida para os demais seres vivos ao longo de uma cadeia, em que um ser vivo serve de alimento para o outro.

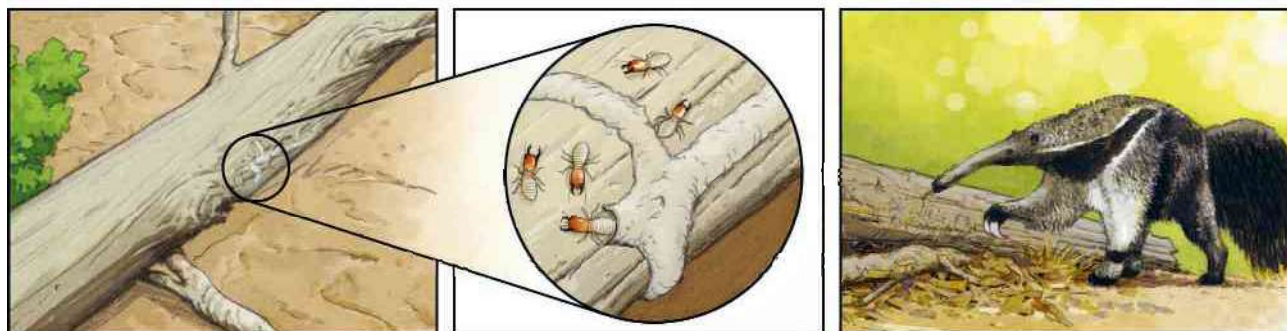
Essa sequência de organismos, em que um serve de alimento para o outro, é chamada **cadeia alimentar**. Em todas as cadeias alimentares, a matéria sofre transformações e é reciclada. A quantidade de energia, por sua vez, vai diminuindo à medida que passa dos produtores para os consumidores, e de um consumidor para outro, pois uma parte dela é utilizada para a realização dos processos vitais do organismo e outra é liberada sob a forma de calor, restando apenas uma parcela menor de energia disponível para o nível seguinte. Assim, a transferência de energia é **unidirecional**. A matéria, no entanto, pode ser reciclada, falando-se em **ciclo da matéria**.

As cadeias alimentares podem ser de dois tipos: de pasteio ou de detritos. A cadeia de pasteio inicia-se com um produtor, que pode ser um fotossintetizante, que é o mais comum (Fig. 4.5), ou quimiossintetizante, que ocorre em certas condições especiais, como as fontes termais submarinas.



< **Figura 4.5.** Esquema simplificado representando uma cadeia alimentar de pasteio. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

A cadeia de detritos (Fig. 4.6) inicia-se com a matéria orgânica finamente particulada, que é o detrito resultante da decomposição de organismos mortos. Os equivalentes a consumidores primários em uma cadeia de detritos podem ser bactérias, fungos ou animais.



> **Figura 4.6.** Esta cadeia de detritos tem os cupins como consumidores primários e o tamanduá como secundário. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Em um ecossistema, entretanto, as relações alimentares entre os organismos que o compõem não são tão simples. Existem várias cadeias alimentares que se interligam, formando uma complexa rede de transferência de matéria e de energia, que chamamos **teia alimentar** (Fig. 4.7).

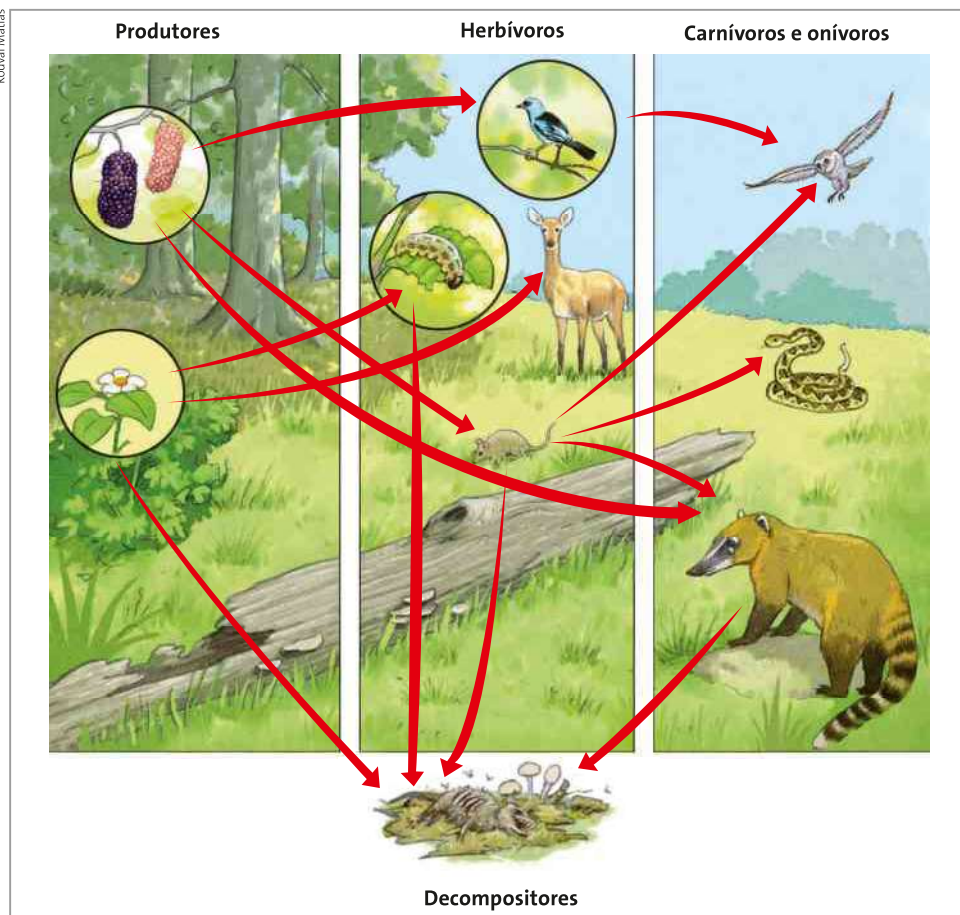


Figura 4.7. Esquema de teia alimentar. Os organismos, quando morrem, são decompostos. No esquema, algumas setas em direção aos decompositores foram omitidas para facilitar a visualização. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

4. Os níveis tróficos

De maneira geral, em cada ecossistema existem várias espécies de organismos produtores, várias de consumidores e várias de decompositores. O conjunto de todos os organismos de um ecossistema com o mesmo tipo de nutrição constitui um **nível trófico** ou **alimentar**.

Os organismos autótrofos de um ecossistema formam, por definição, o primeiro nível trófico, que é o dos produtores. Os consumidores primários formam o segundo nível trófico; os consumidores secundários formam o terceiro nível trófico; os consumidores terciários formam o quarto nível trófico e assim por diante (Fig. 4.8).

Além dos organismos que fazem parte apenas de um determinado nível trófico, existem outros com hábitos alimentares menos especializados, que podem ocupar mais de um nível trófico. É o caso dos animais **onívoros** (*omnis* = tudo), como o ser humano, por exemplo.

Os decompositores ocupam o último nível de transferência de energia entre organismos de um

ecossistema. Formam um grupo especial, nutrindo-se de elementos mortos provenientes de diferentes níveis tróficos, remineralizando tanto produtores como consumidores.

Níveis tróficos		Posição na cadeia alimentar	
Autótrofos — Produtores		1ª	
Heterótrofos	{ Consumidores	primários	2ª
		secundários	3ª
		terciários	4ª
		quaternários	5ª
	{ Decompositores		*

* A ação dos decompositores se dá sobre organismos mortos de todos os níveis tróficos.

Figura 4.8. Tabela relacionando os níveis tróficos com a posição na cadeia alimentar.

Nos ecossistemas, o número de níveis tróficos é limitado em função da disponibilidade de energia. Isso porque, ao ocorrer a passagem de um nível trófico para outro, parte da energia de um nível trófico é liberada para o meio sob a forma de calor e não é aproveitada pelo nível trófico seguinte. Dessa maneira, quanto mais distante estiver um nível trófico do nível do produtor, menor será a energia química disponível no conjunto de seus integrantes. Nos ecossistemas mais complexos, o número de níveis tróficos é maior que em ecossistemas mais simples.

Apesar de o número de níveis tróficos variar de ecossistema para ecossistema dependendo de sua complexidade, os níveis tróficos são sempre os mesmos. Assim, ao se comparar dois ecossistemas diferentes, como um campo e os oceanos, verifica-se que, apesar de serem habitados por espécies diferentes, é possível identificar em cada um deles níveis tróficos equivalentes.

Nos dois ecossistemas, os decompositores estão representados por bactérias e fungos, que podem ser de espécies diferentes em cada ambiente (Fig. 4.9).

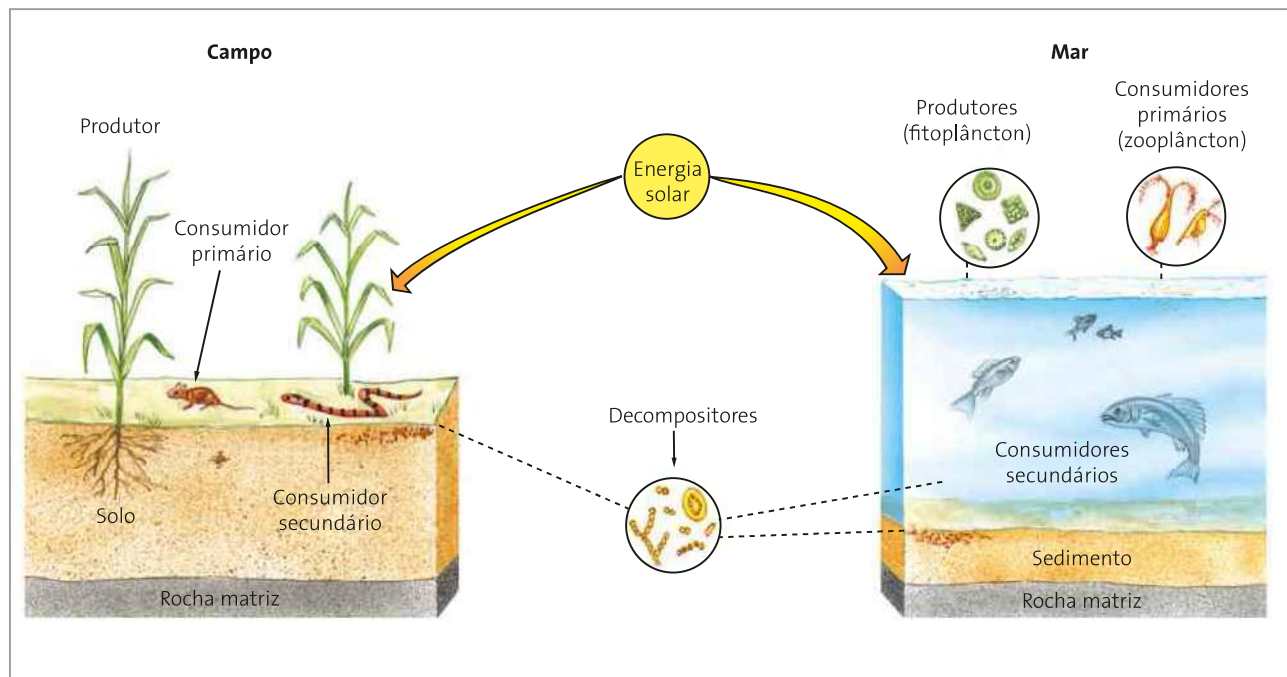


Figura 4.9. Esquema comparativo entre a estrutura geral de um ecossistema terrestre (campo) e de um ecossistema aquático (mar). (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

5. Pirâmides ecológicas

As relações entre os diferentes níveis tróficos de cada ecossistema são representadas por gráficos que lembram pirâmides. Essa forma se deve ao fato de haver redução da quantidade de matéria e energia de um nível trófico para o seguinte.

As pirâmides ecológicas podem ser de números, de biomassa ou de energia. Nessas pirâmides, cada nível trófico é representado por um retângulo ou, então, por um paralelepípedo, cuja dimensão horizontal é proporcional ao número de indivíduos na pirâmide de números, à biomassa na pirâmide de biomassa e à produtividade na pirâmide de energia. A dimensão vertical (altura) dessas figuras geométricas é sempre a mesma para os diversos níveis tróficos.

5.1. Pirâmide de números

Indica o número de indivíduos em cada nível trófico. Em um campo, por exemplo, há 5 000 plantas das quais dependem 300 gafanhotos, que garantem a alimentação de apenas uma ave.

Dependendo do ecossistema, a pirâmide de números pode ter o ápice para cima (pirâmide direta) ou para baixo (pirâmide invertida). No exemplo dado, a pirâmide tem o ápice para cima: é necessário grande número de produtores para alimentar uns poucos herbívoros, que, por sua vez, servirão de alimento para um número menor ainda de carnívoros.

A pirâmide de números pode ser totalmente invertida quando são consideradas certas redes alimentares, como as que envolvem parasitas, pois um único hospedeiro pode abrigar muitos deles.

Em outros casos, a figura formada não se parece perfeitamente com uma pirâmide, como no seguinte exemplo: em uma floresta, uma única árvore pode sustentar um grande número de herbívoros, que servem de alimento para um pequeno número de carnívoros. Compare, na [figura 4.10](#), esse caso com a pirâmide direta.

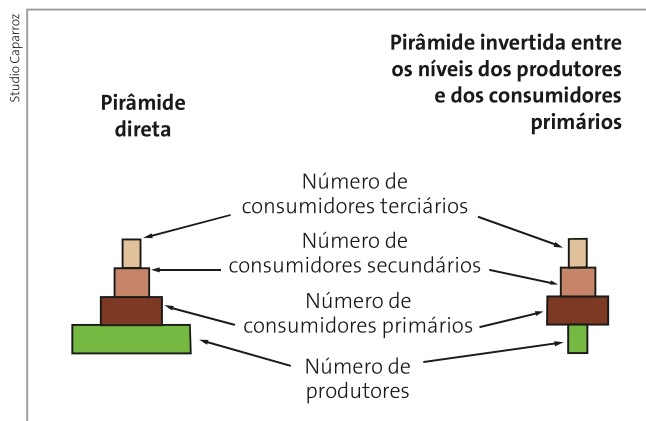


Figura 4.10. Pirâmides de número direta e invertida.

A pirâmide de números não é muito utilizada por ecologistas, pois não representa adequadamente a quantidade de matéria orgânica existente nos diversos níveis tróficos. Ela considera o número de indivíduos, ignorando o seu tamanho.

As pirâmides mais utilizadas são as de biomassa e de energia.

5.2. Pirâmide de biomassa

A biomassa (ou massa orgânica) representa a quantidade de matéria orgânica, por área ou por volume, em unidades ecológicas, como os ecossistemas, níveis tróficos, populações ou mesmo indivíduos.

A quantidade de matéria orgânica pode ser estimada de diferentes formas, mas vamos considerar como exemplo **massa seca** (material colocado em estufa a cerca de 100 °C para perder água).

Supondo um campo rico em gramíneas, pode-se determinar a biomassa desses produtores do seguinte modo: delimita-se uma área, colhe-se toda a vegetação contida nela e coloca-se o material em estufa para determinação da massa seca. Essa massa, dividida pela área da amostra (por exemplo, em m²), resulta em uma estimativa da quantidade de matéria orgânica seca por unidade de área (gramas/m² ou kg/m²). Se for conhecida a área total do campo, pode-se estimar sua biomassa total.

A forma da pirâmide de biomassa também pode variar, dependendo do ecossistema. De modo geral, a biomassa dos produtores é maior que a dos herbívoros, que é maior que a dos carnívoros ([Fig. 4.11](#)). Nesses casos, a pirâmide apresenta o ápice voltado para cima. Isso ocorre nos ecossistemas terrestres, onde, em geral, os produtores têm grande porte e ciclos de vida longos.

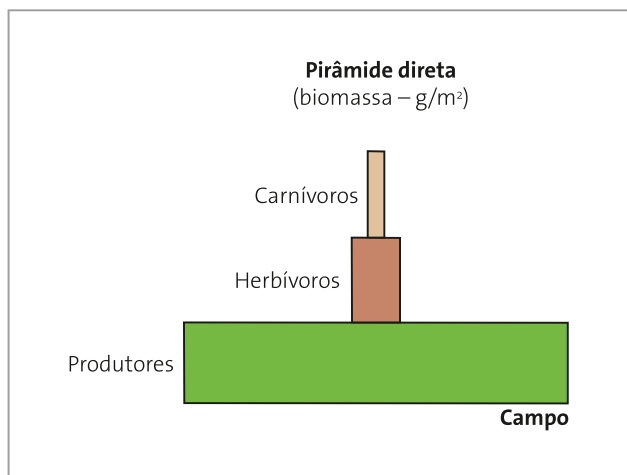


Figura 4.11. Pirâmide de biomassa.

A pirâmide de biomassa pode apresentar-se invertida, como ocorre eventualmente nos oceanos e nos lagos ([Fig. 4.12](#)). Nesses casos, os produtores são representados por algas microscópicas com ciclo de vida curto e de aproveitamento rápido pelo zooplâncton. A pirâmide é, então, invertida entre esses níveis tróficos. Uma pirâmide com essa forma pode dar a falsa impressão de que uma biomassa pequena suporta uma biomassa grande de consumidores primários. Deve-se lembrar, entretanto, que a medida de biomassa é feita para um determinado instante e que em razão da alta taxa de reprodução do fitoplâncton em relação à do zooplâncton, e devido ao rápido aproveitamento do fitoplâncton pelo zooplâncton, obtém-se uma biomassa de produtores menor que a de consumidores de primeira ordem. [Professor\(a\), veja mais informações sobre este item nas Orientações didáticas.](#)

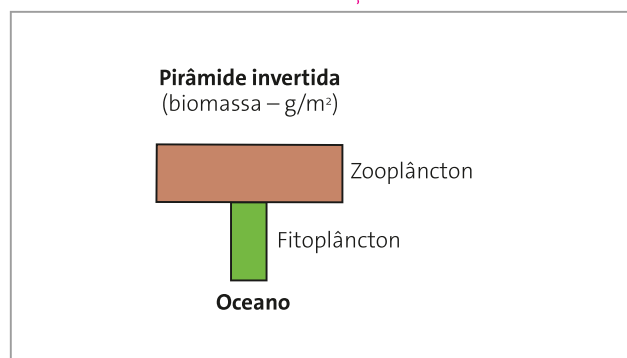


Figura 4.12. Pirâmide invertida de biomassa.

Apesar de a pirâmide de biomassa expressar melhor a distribuição de matéria em um ecossistema que a pirâmide de números, ela apresenta dois inconvenientes básicos:

- atribui a mesma importância a diferentes tipos de tecidos dos vegetais e dos animais. Como há tecidos com composição química diferente, cada um deles tem diferentes valores energéticos. Por exemplo: tecidos ricos em carboidratos têm maior conteúdo energético que tecidos ricos em proteínas;
- não leva em consideração o fator tempo. A biomassa é uma medida obtida para um dado instante, não levando em consideração o tempo que um organismo leva para acumular aquela matéria orgânica. O fitoplâncton, por exemplo, acumula em alguns dias e uma árvore demora vários anos.

Assim, se as pirâmides de biomassa invertidas fossem construídas levando-se em consideração esses fatores, elas apresentariam o ápice voltado para cima. Por isso, uma das melhores maneiras de expressar graficamente a transferência de matéria e de energia é a pirâmide de energia.

5.3. Pirâmide de energia

Essa pirâmide é construída levando-se em consideração a biomassa acumulada por unidade de área ou volume, por unidade de tempo, em cada nível trófico (Fig. 4.13).

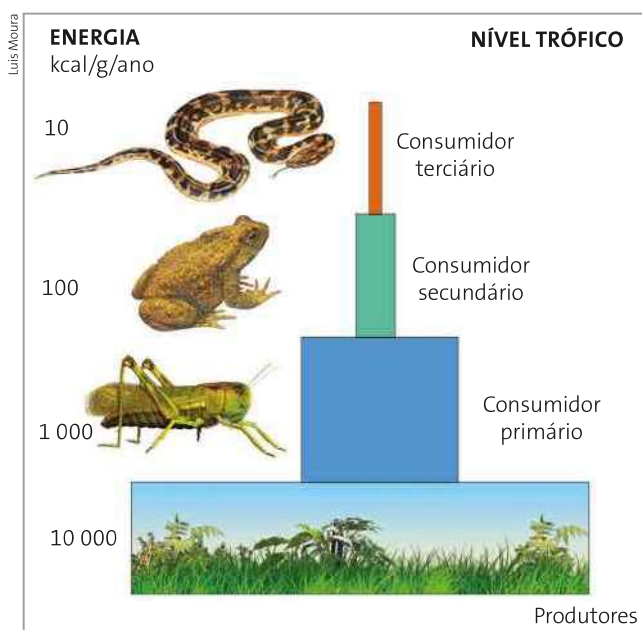


Figura 4.13. Exemplo de pirâmide de energia. Esse tipo de pirâmide nunca é invertido, qualquer que seja o ecossistema analisado. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Podemos afirmar que essa pirâmide representa o fluxo de energia, ou seja, a quantidade de energia que passa ao longo dos níveis tróficos. Essa energia pode entrar no primeiro nível trófico na forma de luz (no caso dos produtores fotossintetizantes) e nos demais na forma de energia química presente nos alimentos. Ao longo dos níveis tróficos, parte da energia é dissipada para o meio abiótico na forma de calor.

A pirâmide de energia nunca é invertida, pois mostra uma consequência natural das leis da termodinâmica, que são universais. A primeira lei afirma que a energia pode ser transformada (energia luminosa em energia química, por exemplo), porém jamais é criada ou destruída. A segunda lei afirma que em todo processo de transformação de energia há sempre liberação de energia calorífica, não aproveitável. Assim, o fluxo unidirecional de energia é um fenômeno universal.

No caso dos ecossistemas, há sempre perda de energia calorífica ao se passar de um nível trófico para outro. Por isso, as pirâmides de energia nunca são invertidas.

O primeiro nível da pirâmide de energia corresponde à quantidade de matéria orgânica produzida pelos autótrofos de um ecossistema em determinado tempo. Isso é o que se chama de **produtividade primária bruta (PPB)**. Parte da PPB é usada na respiração e, portanto, gasta pelo próprio autótrofo na sua manutenção. A matéria orgânica não utilizada na respiração é incorporada aos tecidos dos autótrofos, estando disponível para os níveis tróficos seguintes. Essa matéria orgânica acumulada em corpos vegetais em um período de tempo corresponde à **produtividade primária líquida (PPL = PPB – Respiração)**.

A produtividade primária bruta ou a líquida podem ser expressas em gramas/m²/ano, em kg/m²/ano, em kcal/m²/ano ou ainda em J/m²/ano. O joule (J) é uma medida de energia. Essa última é a unidade mais utilizada por ecologistas.

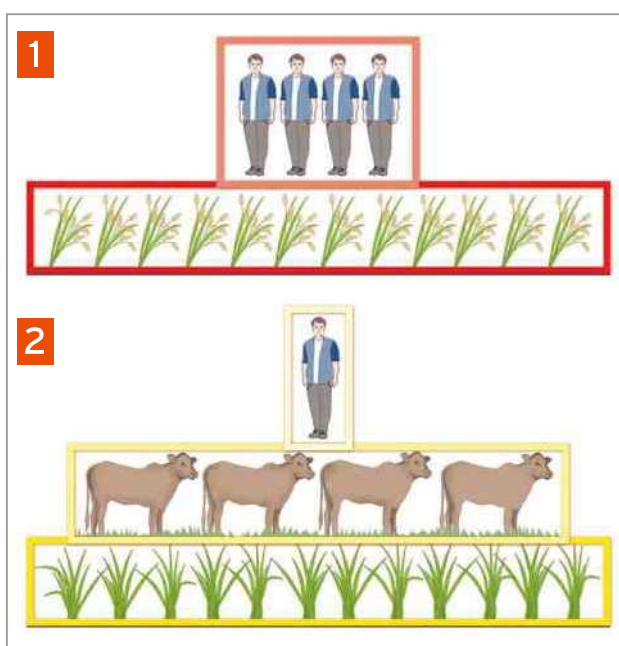
A PPL representa, portanto, a energia disponível para o segundo nível trófico (herbívoros) na forma de matéria orgânica por unidade de tempo.

Os herbívoros não consomem toda a biomassa de produtores. Além disso, parte do que eles ingerem não é aproveitada, pois é eliminada sob a forma de fezes. Do alimento digerido e assimilado, parte é excretada através da urina, parte é utilizada na respiração e parte é incorporada aos tecidos do organismo. A matéria incorporada é a que está disponível para o nível trófico seguinte: o dos consumidores secundários. Nesse nível trófico, ocorre processo semelhante ao que foi descrito para os consumidores primários.

A quantidade de matéria orgânica acumulada pelos heterótrofos de um ecossistema em uma determinada área, em um determinado intervalo de tempo, é denominada **produtividade secundária líquida (PSL)**.

Por causa dessa redução da energia disponível em cada nível trófico, quanto mais curta for a cadeia, maior será a quantidade de energia disponível para os níveis tróficos mais elevados (Fig. 4.14). Por exemplo: uma plantação de arroz que cobre uma área de 40 km² é suficiente para alimentar 24 pessoas durante um ano. Se essa mesma área fosse usada para a criação de gado, a carne produzida seria suficiente para alimentar apenas uma pessoa durante um ano.

Figura 4.14. Esquema ilustrativo de duas pirâmides (1 e 2) de energia. Devido à redução de energia ao longo dos níveis tróficos, quanto mais curta for a cadeia, mais energia estará disponível para os níveis mais elevados. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



Conceitograf

Professor(a), se possível, desenvolva com os estudantes a sugestão de atividade extra descrita nas Orientações didáticas. Com ela será possível estabelecer uma analogia ao modo como se dá o fluxo energético ao longo dos diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar.

6. Modelo do fluxo energético

Apesar de as pirâmides de energia representarem de modo satisfatório o fluxo de energia nos ecossistemas, elas têm três inconvenientes básicos, que também são comuns às outras pirâmides ecológicas. Elas não representam:

- os decompositores, que são uma parcela importante dos ecossistemas;
- a matéria orgânica armazenada, que é a matéria não utilizada e não decomposta;
- a importação de matéria orgânica de outros ecossistemas e sua exportação para eles, uma vez que os ecossistemas são sistemas abertos, realizando intercâmbio com outros ecossistemas.

Uma alternativa em que é possível representar tanto a produção de um ecossistema como a importância dos decompositores da matéria orgânica armazenada e da matéria orgânica importada ou exportada é o **modelo do fluxo energético** (Fig. 4.15).

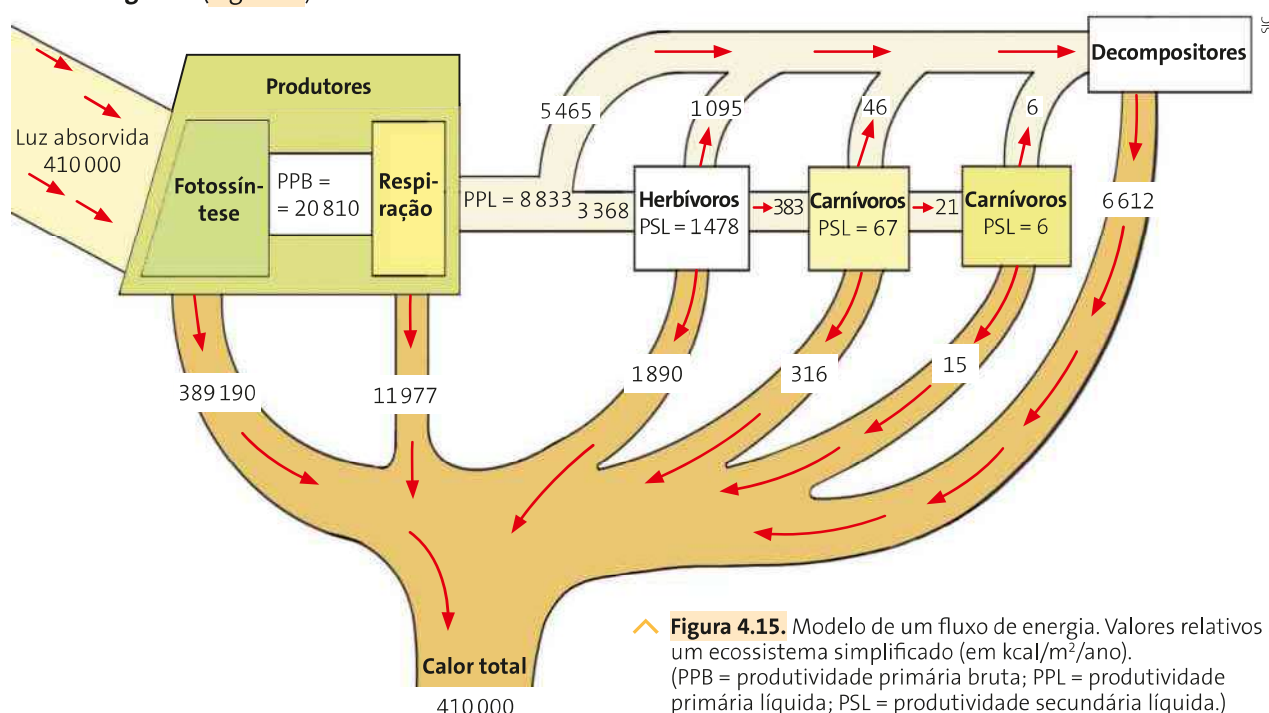


Figura 4.15. Modelo de um fluxo de energia. Valores relativos a um ecossistema simplificado (em kcal/m²/ano). (PPB = produtividade primária bruta; PPL = produtividade primária líquida; PSL = produtividade secundária líquida.)

7. Os ciclos biogeoquímicos

Ao contrário da energia, que flui unidirecionalmente, a matéria é reciclada dentro ou entre ecossistemas, por ciclos chamados biogeoquímicos. Como o próprio termo especifica, os ciclos da matéria envolvem processos biológicos, geológicos e químicos.

Os processos biológicos são os que se referem a toda e qualquer atividade realizada por um ser vivo, como nutrição, trocas gasosas, digestão do alimento e eliminação de resíduos no meio.

Os processos geológicos são os que promovem modificações da crosta terrestre, seja em sua forma, estrutura ou composição. É o caso do intemperismo, processo de desagregação e modificação de rochas por ação das águas superficiais e subterrâneas, do vento, da chuva, do gelo e dos organismos.

Os processos químicos são os que promovem a alteração na composição da matéria, como a queima de um tronco de árvore, a transformação de suco de uva em vinho e do leite em iogurte.

Além desses, também participam do ciclo da matéria os processos físicos, que são os que modificam a matéria sem alterar sua composição química. São exemplos de processos físicos a passagem do gelo para água líquida, ou desta para vapor.

À medida que a matéria se move no ciclo, ela é transformada. Nos próximos capítulos, veremos que as atividades humanas podem interferir nos ciclos biogeoquímicos.

Vamos analisar aqui os ciclos dos principais elementos químicos que entram na composição da ma-

téria orgânica: carbono, hidrogênio, oxigênio, fósforo e nitrogênio. As trocas de hidrogênio entre seres vivos e ambiente serão estudadas no ciclo da água.

7.1. Ciclo da água

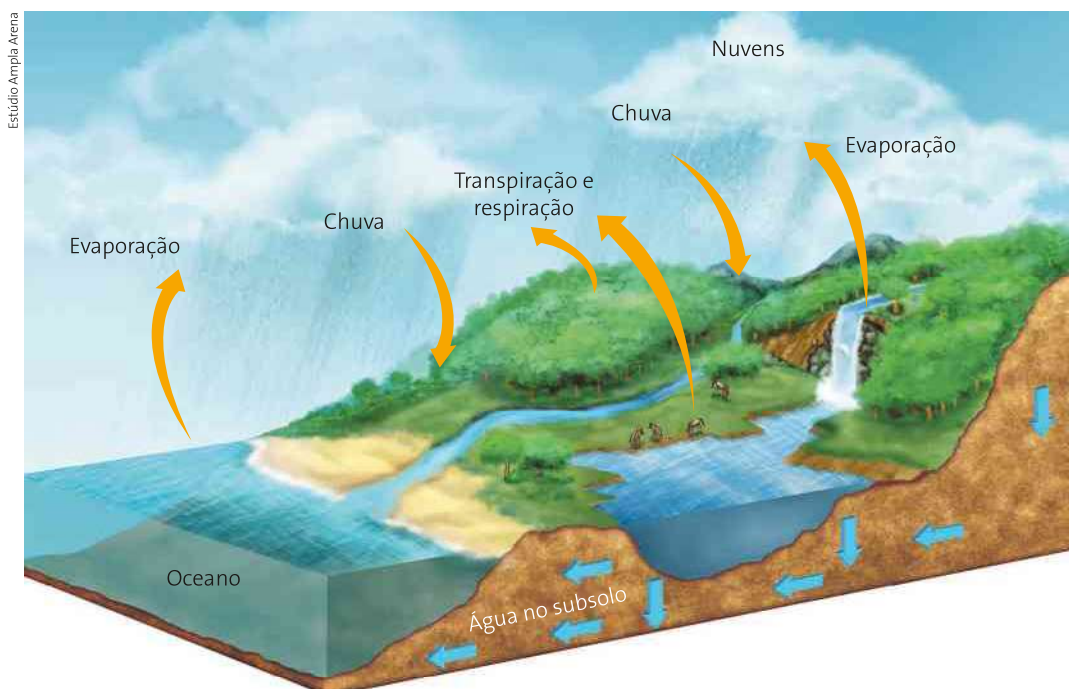
O ciclo da água na natureza está representado de modo simplificado na [figura 4.16](#).

A água está em constante mudança de estado físico e há permanente troca dessa substância entre rios, lagos, mares, solos, atmosfera e seres vivos.

A água presente sob a forma líquida na superfície da Terra sofre **evaporação** e passa para a atmosfera. Com o resfriamento nas camadas mais altas da atmosfera, os vapores de água condensam-se, formam nuvens e depois voltam aos continentes e mares sob a forma de chuva, neve ou granizo. Nos continentes, parte dessa água vai para rios e lagos ou penetra pelas camadas permeáveis do solo e se acumula em reservatórios subterrâneos.

Os seres vivos absorvem ou ingerem água, pois ela é fundamental para a sobrevivência deles. Parte da água presente no corpo dos seres vivos retorna ao ambiente pela respiração, pela excreção e principalmente pela **transpiração**.

A água participa de vários processos dentro do corpo dos seres vivos. Participa, por exemplo, da fotossíntese, e os átomos de hidrogênio são incorporados à matéria orgânica, que fica disponível para os produtores e, por meio da cadeia alimentar, para os consumidores e decompositores.



< **Figura 4.16.** Esquema simplificado do ciclo da água. Assim como a evaporação ocorre tanto no mar como em terra e na água doce, a chuva também ocorre em todos esses ambientes. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia).

7.2. Ciclo do carbono

O ciclo do carbono inicia-se com a fixação desse elemento pelos seres autótrofos, principalmente por meio da fotossíntese. Nesse processo, o carbono das moléculas de CO_2 do meio é usado para a síntese de moléculas orgânicas que ficam disponíveis para os produtores

e, ao longo da cadeia alimentar, para os consumidores e decompositores. O CO_2 retorna para o ambiente pela respiração celular e pelos diferentes processos de degradação da matéria orgânica. Além disso, retorna também pela queima de combustíveis fósseis e pelas queimadas das plantas. O ciclo do carbono está representado de forma reduzida na **figura 4.17**.

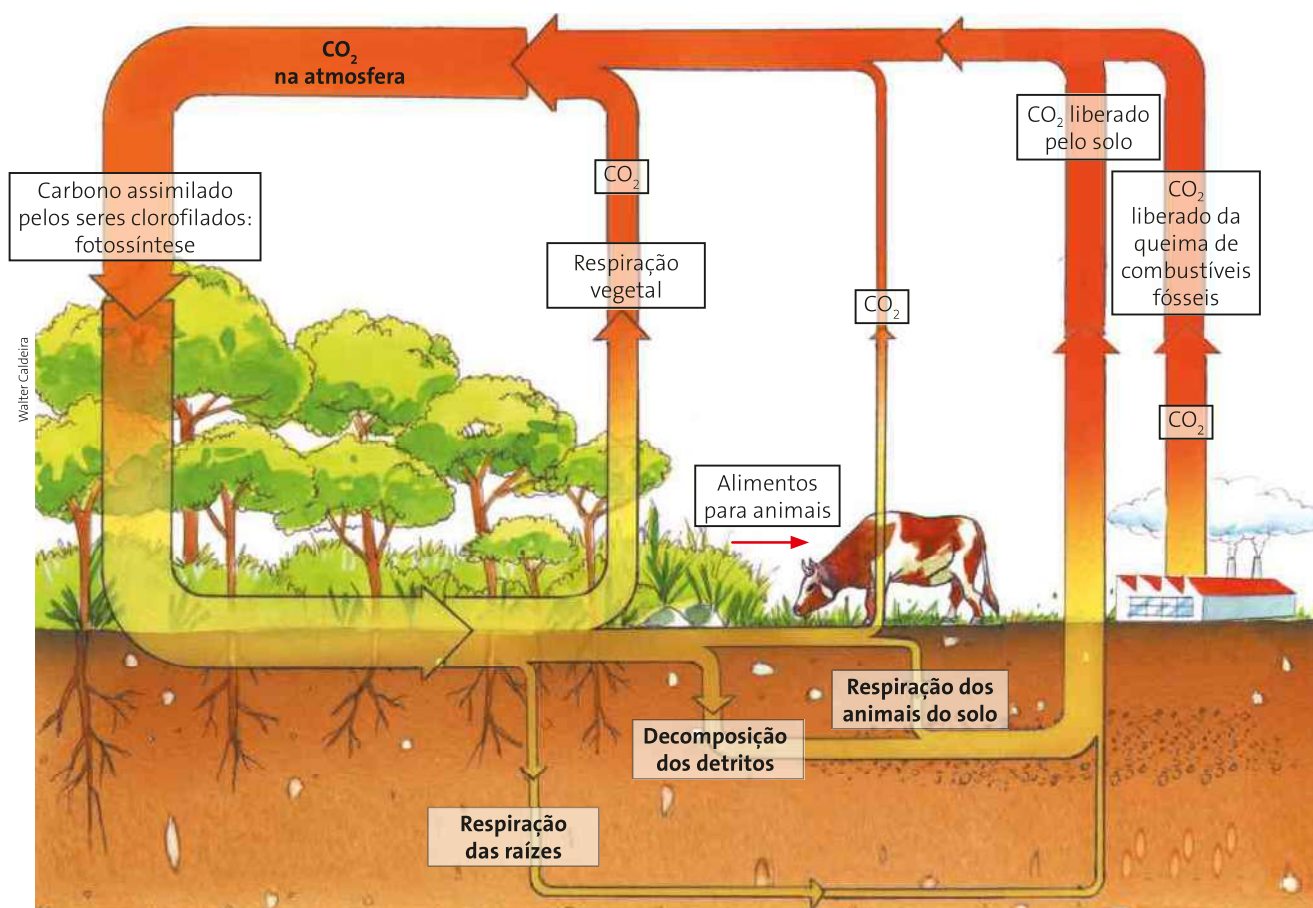


Figura 4.17. Esquema simplificado do ciclo do carbono. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Colocando em foco

O CICLO DO CARBONO E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Quando falamos em ciclo do carbono, devemos entender que há o ciclo recente, em que o carbono é fixado por fotossíntese e liberado pela respiração dos seres atuais, e há o ciclo mais longo, que envolve o uso de reservas de carbono de períodos geológicos passados, armazenado nos combustíveis fósseis. Com a queima desses combustíveis, vem sendo introduzida na atmosfera quantidade maior de carbono, que não faz parte naturalmente do ciclo recente.

O aumento do teor de CO_2 na atmosfera atual relaciona-se não apenas com a queima de combustíveis fósseis, mas também com o desmatamento, com as queimadas e com a poluição das águas. Quando árvores são derrubadas, a fixação do CO_2 pela fotossíntese dessas plantas deixa de ocorrer. A poluição das águas pode reduzir ou eliminar populações de seres fotossintetizantes, o que também reduz a absorção de CO_2 do ambiente. O fogo das queimadas (Fig. 4.18) libera o carbono da matéria orgânica muito mais rapidamente do que nos processos biológicos e em uma quantidade maior do

que é possível ser aproveitado pela fotossíntese das plantas remanescentes em curto prazo.

Em função desses fatores principais, está havendo elevação do teor de CO_2 na atmosfera, favorecendo o aumento de temperatura ambiente por efeito estufa, que vem preocupando em função das alterações ambientais que já estão ocorrendo. Assim, entender os processos dinâmicos dos ecossistemas é fundamental nas medidas de controle visando à preservação da vida.

Figura 4.18. Fotografia em vista aérea de queimada na Chapada Diamantina, em Lençóis (BA), ocorrida em novembro de 2015. >



Joel Silva/Folhapress

7.3. Ciclo do oxigênio

O átomo do elemento químico oxigênio não participa apenas da composição da água e do gás carbônico, mas também de numerosos compostos orgânicos e inorgânicos. Na atmosfera e na hidrosfera ele é encontrado também sob a forma de substância pura simples, chamada gás oxigênio, de fórmula O_2 . Esse gás é liberado pelos organismos fotossintetizantes e participa da respiração de plantas, animais e outros organismos aeróbios. Desse processo resulta a produção de gás carbônico.

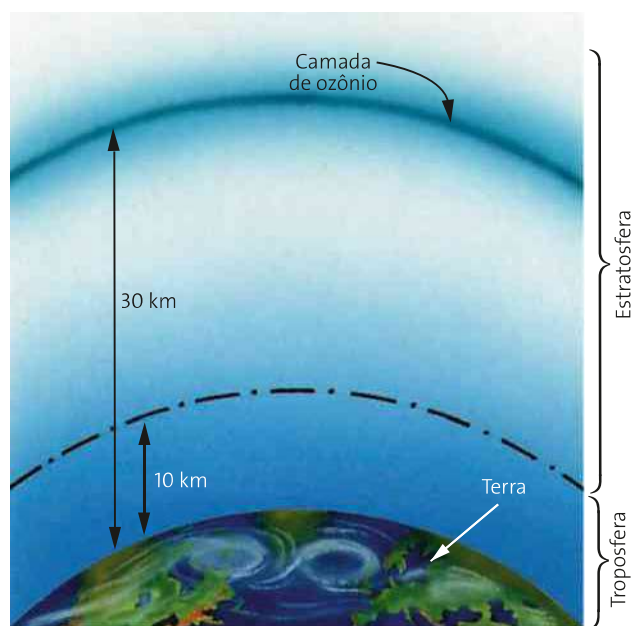
A manutenção das taxas de gás oxigênio e de gás carbônico no ambiente depende desses dois processos: fotossíntese e respiração. A fotossíntese é realizada pelos seres clorofilados na dependência da luz; a respiração é um processo realizado continuamente pelos seres aeróbios.

É interessante notar que o gás oxigênio é uma substância que não somente garante a vida na Terra como a conhecemos, mas também se origina da atividade de seres vivos. Praticamente todo o gás oxigênio livre da atmosfera (cerca de 21% da composição de gases da atmosfera corresponde ao O_2) e da hidrosfera tem origem biológica, no processo de fotossíntese. Por esse processo a água é decomposta, sendo o oxigênio liberado e o hidrogênio utilizado na síntese de matéria orgânica.

O O_2 produzido pode participar também da formação da camada de ozônio (O_3) da atmosfera, que se encontra cerca de 30 km de altitude acima do nível do mar (Fig. 4.19). Nessa altitude, uma das formas de radiação emitida pelo Sol, a ultravioleta curta, provoca a quebra da molécula de O_2 . Cada átomo liberado pode reagir com outra molécula íntegra de O_2 em presença de um agente catalisador, formando O_3 .

A presença de ozônio na alta atmosfera é extremamente importante para a vida, pois exerce papel de filtro de outro tipo de radiação emitida pelo Sol: a ultravioleta longa, capaz de aumentar a taxa de mutação dos genes e uma das principais responsáveis pelo câncer de pele.

Apesar de importante em altitudes elevadas da atmosfera, em baixas altitudes o ozônio é considerado um poluente do ar, sendo uma das causas de problemas respiratórios e irritação nos olhos. Nesses casos, a formação de ozônio é potencializada principalmente pela liberação de gases como óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos pelos escapamentos dos veículos automotores.



Luís Moura

Figura 4.19. Esquema das camadas da atmosfera até cerca de 30 km de altura da superfície da Terra. (Cores fantasia.)



Colocando em foco

PROTEÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO

A camada de ozônio (O_3) funciona como uma proteção natural contra a radiação dos raios ultravioleta emitidos pelo Sol. Sem esse filtro formado ao longo de milhares de anos, teria sido impossível o desenvolvimento das incontáveis e variadas formas de vida encontradas no planeta.

Apesar da sua relevância, a camada de ozônio começou a sofrer os efeitos da poluição crescente com a industrialização mundial. Durante a década de 1990, cientistas verificaram que ela estava sendo destruída pela ação de substâncias destruidoras de ozônio (SDOs), principalmente gases conhecidos como clorofluorcarbono (CFC). Esses gases foram largamente usados até o fim da década de 1980 e meados dos anos 1990, na composição de espuma plástica, aerossóis e na indústria de eletrônicos. Alterações nessa camada são mais evidentes em certas regiões do que em outras. Na Antártida a camada de ozônio é bem fina (Fig. 4.20).

As reduções no uso de CFCs começaram a partir de 1987 com a assinatura do Protocolo de Montreal, um acordo ambiental em que 197 países se comprometeram a assumir metas para a proteção da camada de ozônio.

No ano de 1989, o Brasil aderiu ao Protocolo de Montreal e, a partir de então, passou a tomar diversas medidas para reduzir o uso e a produção de CFC. Veja algumas das ações adotadas:

- **Componentes eletrônicos**

A limpeza de componentes eletrônicos deixou de ser feita com produtos à base de SDOs.

- **Plantas ornamentais**

As plantas passaram a ser cultivadas sem a SDO brometo de metila, reduzindo os riscos às pessoas e ao meio ambiente.

- **Medicamentos**

Produtos que utilizavam CFC como propelentes deixaram de ser produzidos.

- **Ar-condicionados**

Os fluidos frigoríficos utilizados atualmente possuem menor potencial de destruição do ozônio.

- **Estofados**

As espumas com SDOs vêm sendo substituídas por outras que não agredem a camada de ozônio.

- **Geladeiras**

A adoção de novas tecnologias tem proporcionado a eliminação das SDOs do circuito de refrigeração e da espuma de isolante térmico.

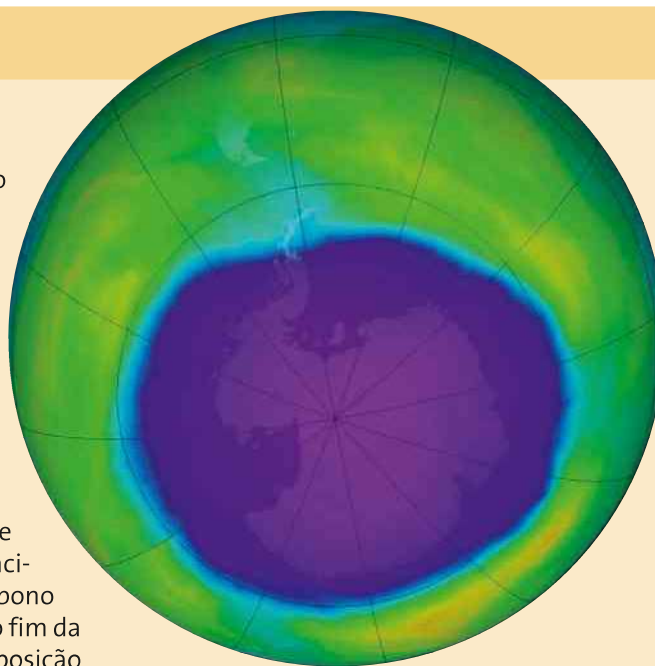
- **Aerossóis**

O CFC deixou de ser utilizado como agente propelente em aerossóis.

O resultado de todas essas mudanças foi que em 2010 o Brasil eliminou totalmente a sua produção e consumo de CFC, ganhando posição de destaque entre os países do Protocolo de Montreal. Desde 2011, o país esforça-se para reduzir também a produção e o consumo de hidroclorofluorcarboneto (HCFC), outra SDO. A meta é que até 2040 não se produza nem se consuma o HCFC no país.

Fonte das informações: Ministério do Meio Ambiente. *Ações brasileiras para a proteção da camada de ozônio*.

Brasília: MMA, 2014. Disponível em: <http://protocolodemontreal.org.br/revistas/Acoes_Brasileiras_para_Protecao_da_Camada_de_Ozonio_-_Alta.pdf>. Acesso em: mar. 2016.



NASA/Coddard Space Flight Center

▲ **Figura 4.20.** Imagem de satélite colorida artificialmente que representa a espessura da camada de ozônio no hemisfério Sul da Terra, em setembro e outubro de 2015. As linhas são meridianos convergindo no polo Sul. As menores espessuras da camada de ozônio estão representadas em roxo e correspondem a cerca de 40% da espessura normal. O termo “buraco na camada de ozônio” refere-se a essa parte mais delgada. Esse buraco se forma em função do comportamento das massas de ar na atmosfera, que concentram as SDOs em certas regiões, sendo que a maior delas fica sobre a Antártida, e se acentua nos meses correspondentes à primavera no hemisfério Sul.

7.4. Ciclo do nitrogênio

O gás nitrogênio (N_2) está presente na atmosfera na proporção aproximada de 79%. Apesar disso, não é utilizado de forma direta pela maior parte dos seres vivos.

O aproveitamento do nitrogênio pela generalidade dos seres vivos depende de sua fixação, que pode ser feita por **radiação** (por exemplo, radiação cósmica e raios, que fornecem energia para que ocorra reação entre o nitrogênio, o oxigênio e o hidrogênio da atmosfera) ou por **biofixação**, sendo esse último processo o mais importante. Por isso, será nele que deteremos nossa atenção (Fig. 4.21).

A biofixação é realizada principalmente por bactérias associadas a raízes de plantas, formando as **bacteriorrizas**, e algumas bactérias e cianobactérias, que podem viver livres no solo. Esses organismos convertem o N_2 atmosférico em íons amônio (NH_4^+). Quando produzidos pelos biofixadores associados às raízes, são transferidos diretamente para a planta, que os utiliza na síntese dos aminoácidos, unidades que formam as proteínas, e dos nucleotídeos, que formam os ácidos nucleicos (DNA e RNA).

Íons amônio produzidos pelos biofixadores de vida livre são transformados em íons nitrito (NO_2^-) e depois em íons nitrato (NO_3^-) pela ação das bactérias **nitrificantes** (ou **nitrobactérias**) dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. Essas bactérias são autótrofas, mas não realizam fotossíntese. Elas executam outro processo autotrófico, chamado quimiosíntese. Nesse processo, a substância orgânica é formada a partir de água e de gás carbônico, devido à energia liberada na reação entre íons amônio ou íons nitrito e o oxigênio.

Tanto os íons amônio quanto os íons nitrato podem ser absorvidos diretamente pelas plantas, e o nitrogênio neles contido é utilizado na síntese de aminoácidos e nucleotídeos.

Os animais obtêm o nitrogênio de que necessitam por meio da alimentação.

O nitrogênio do corpo dos seres vivos retorna ao ambiente pela excreção e pelo processo de decomposição. Esse nitrogênio entra no ciclo como íons amônio. A produção de N_2 atmosférico é feita pelas **bactérias desnitrificantes** a partir do nitrato (NO_3^-).

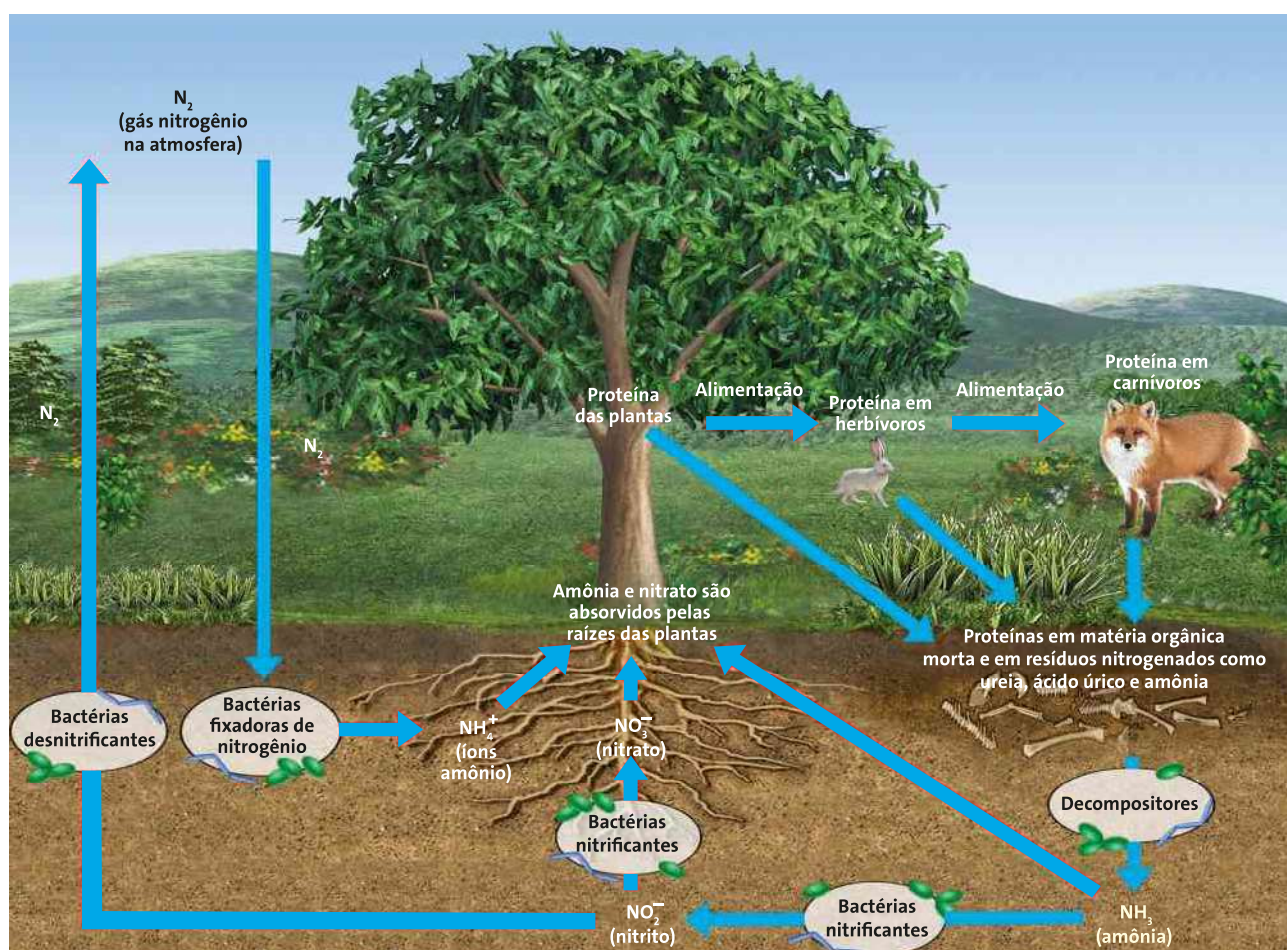


Figura 4.21. Esquema simplificado do processo de biofixação, o qual tem grande importância no ciclo do nitrogênio. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)

Adubação verde e adubação química

Visando melhorar a produção de suas lavouras, agricultores têm utilizado duas formas básicas de adubação para aumentar no solo a taxa de nitrogênio assimilável pelas plantas: a adubação verde e a química.

Na adubação verde, plantam-se leguminosas, pois elas têm em suas raízes as bactérias fixadoras de nitrogênio. Isso aumenta o teor de nitrogênio no solo, constituindo uma forma natural de adubação. O plantio de leguminosas para esse fim pode ser feito basicamente de duas maneiras:

- em períodos alternados com outras culturas de plantas não leguminosas, como o milho, o que é chamado **rotação de culturas**;
- concomitantemente, realizando plantação de leguminosas juntamente com plantas não leguminosas, o que recebe o nome de **plantação consorciada**.

Na adubação química, adicionam-se ao solo adubos sintéticos que contêm nitrogênio fixado por meios industriais e transformado em nitrato. Nos adubos químicos, além de nitratos, geralmente estão presentes outros produtos, como o fósforo.

Com a adubação verde e especialmente a química, o ser humano está interferindo de modo significativo no ciclo do nitrogênio, aumentando a taxa de aproveitamento desse elemento pelos seres vivos.

Entretanto, o uso de fertilizantes químicos ricos em nitrato precisa ser feito com critério, pois, se aplicados em excesso, esses fertilizantes são transportados pelas chuvas, atingindo rios, mares e o lençol subterrâneo, que alimenta muitos poços construídos para abastecimento de água. Alguns tipos de verdura, quando cultivados em solos com excesso de nitrato, absorvem e concentram essa substância.

A ingestão de água ou de verduras com excesso de nitrato pode causar uma doença chamada **meta-hemoglobinemia**, uma forma grave de anemia, decorrente da união do nitrogênio com a hemoglobina.



Colocando em foco

AS CONTRIBUIÇÕES DE JOHANNA DÖBEREINER

Johanna Döbereiner (1924-2000), uma pesquisadora naturalizada brasileira, revolucionou os estudos sobre bactérias fixadoras de nitrogênio e a produção de soja no país (Fig. 4.22). Isso porque um dos resultados que obteve com seu trabalho foi a viabilidade dessas bactérias como substitutas dos fertilizantes minerais. Leia mais sobre essa pesquisadora no texto a seguir

Johanna Döbereiner foi uma das maiores cientistas brasileiras. Seu ramo era a microbiologia do solo e, principalmente, o papel das bactérias fixadoras de nitrogênio nas plantas. De origem tcheca, formou-se em engenharia agrônômica pela Universidade de Munique, vindo para o Brasil após a 2ª Grande Guerra e sendo contratada em 1951 pelo Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícolas, hoje transformado no Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia da Embrapa. Johanna foi a cientista brasileira com o maior número de citações em publicações indexadas internacionais.

Seus estudos sobre as bactérias foram fundamentais para que a agricultura brasileira diminuísse o uso de fertilizantes. O impacto imediato de suas pesquisas foi a economia brutal que pôde ser feita na cultura da soja, colocando o Brasil como um dos maiores exportadores mundiais dessa leguminosa. Outro impacto imediato foi a diminuição drástica da poluição das águas por fertilizantes agrícolas. O sucesso dessa estratégia tornou o Brasil o segundo maior produtor mundial, economizando mais de US\$ 1 bilhão por ano em fertilizantes e tornando o produto nacional competitivo nos mercados internacionais. A crise do petróleo dos anos 1970, o aumento da poluição causada pela maciça adubação, principal-



Alexandre Campbell/Folhapress

Figura 4.22. A pesquisadora Johanna Döbereiner em seu laboratório na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em fotografia de 1995. >

mente nos EUA, e o uso da técnica de redução do acetileno, que serve para se detectar a atividade das bactérias fixadoras, acabaram por atrair a atenção do mundo inteiro para o trabalho da dra. Döbereiner. O mundo científico começou a tentar entender os conhecimentos adquiridos e as experiências desenvolvidas pela dra. Johanna e sua equipe, especialmente no campo da pesquisa sobre a associação entre bactérias diazotróficas (fixadoras de nitrogênio) e cereais, gramíneas e tuberosas.

[...]

Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial. v. 39, n. 3. 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jbpml/v39n3/16992.pdf>>. Acesso em: mar. 2016.

BIOTECNOLOGIA E A FIXAÇÃO DO NITROGÊNIO DO AR

Cientistas da Universidade de Nottingham, no Reino Unido, divulgaram em 2013 o desenvolvimento de uma tecnologia que permite que plantas não leguminosas consigam fixar nitrogênio direto do ar. As bactérias fixadoras são implantadas na semente, sem uso de modificação genética. Com essa técnica, as células da semente passam a ter associadas a elas bactérias fixadoras de nitrogênio. Desse modo, todas as células da planta adulta serão capazes de fixar nitrogênio, dispensando o uso dos adubos nitrogenados.

O uso de adubos nitrogenados na agricultura é muitas vezes fundamental para o desenvolvimento das plantas, entretanto, esses adubos encarecem a produção e seu uso inadequado causa poluição do solo e da água.

7.5. Ciclo do fósforo

O fósforo é um elemento químico (P) fundamental para os seres vivos, pois faz parte das moléculas de ácidos nucleicos (DNA e RNA), de moléculas que atuam nas células como armazenadoras da energia (ATP) e da composição de estruturas como membranas celulares, ossos e dentes. Ele é muito reativo e só é encontrado associado a outros elementos. Para os seres vivos, a forma mais importante é a de íon fosfato (PO_4^{3-}).

O principal reservatório de íons fosfato na natureza são rochas. Ao serem erodidas, liberam gradualmente esse íon, que é muito solúvel em água, sendo carregado pelas chuvas para rios, lagos e mares. Grande parte do fosfato fica retida nos sedimentos profundos dos oceanos e dificilmente volta a participar de seu ciclo. Outra parte é absorvida por fotossintetizantes, como as plantas, e empregada na síntese de moléculas que passam a fazer parte do corpo desses organismos. O fosfato passa, assim, de sua forma inorgânica para a orgânica. Uma vez incorporado ao corpo desses produtores primários, é transferido aos consumidores pela cadeia alimentar. Esses íons retornam ao ambiente pelo processo de decomposição da matéria orgânica presente nos organismos mortos ou pela eliminação de excrementos, caso do guano das aves. O ciclo está representado de maneira simplificada na figura 4.23.

Os adubos usados na agricultura são ricos em fosfato, considerando que os solos nem sempre dispõem de quantidades adequadas para a nutrição e o crescimento das plantas.



Figura 4.23. Esquema simplificado do ciclo do fósforo. (Elementos representados em diferentes escalas; cores fantasia.)



Tema para discussão

REGISTRE
NO CADERNO

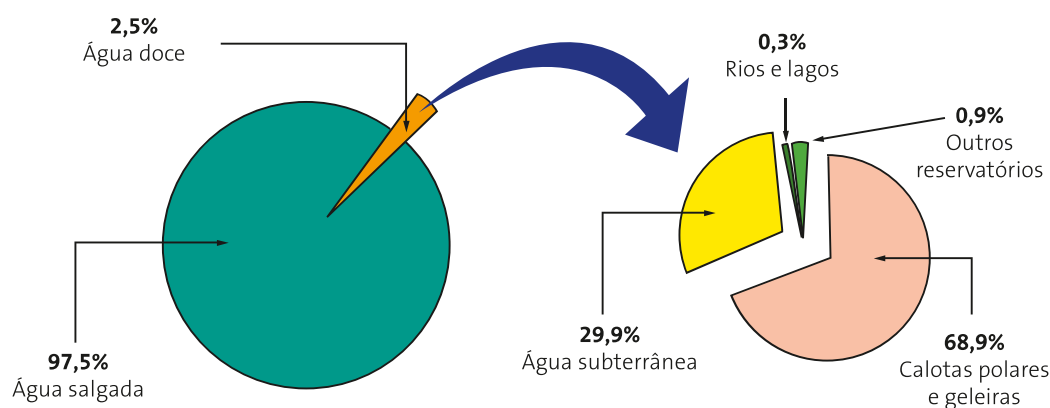


Pegada de água ou pegada hídrica

A Terra é poeticamente chamada de “Planeta Água”, o que se justifica pelo fato de a água cobrir cerca de 70% de sua superfície. A água disponível para consumo humano, que é a doce e líquida, corresponde a menos de 1% do total

existente no planeta. Mesmo que pareça uma porcentagem muito pequena, estamos falando de mais de 8 475 200 km³ de água nos rios, lagos e reservatórios subterrâneos (com 1 km³ de água, daria para encher 1 milhão de piscinas semiolímpicas).

A ÁGUA NO PLANETA TERRA



Fonte: *Águas doces do Brasil*. Escrituras/Instituto de Estudos Avançados — USP.

➤ Distribuição de água no planeta Terra e principais locais de armazenamento de água doce.

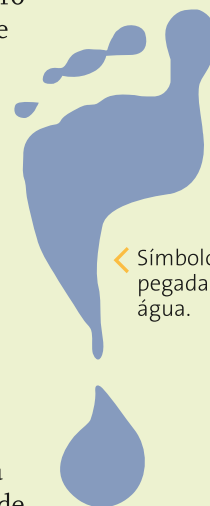
Os valores anteriormente descritos podem ser considerados constantes ao longo do tempo, pois existe o ciclo da água. A água é usada, então, como se fosse um recurso natural renovável, que não vai se esgotar, ao contrário do petróleo, que é um recurso natural não renovável. No entanto, a quantidade de água disponível para consumo humano é limitada e tem se tornado insuficiente para sustentar a crescente população mundial. Os riscos de uma futura falta de água em nível planetário são elevados e acredita-se que a crise da água será uma das grandes questões do século XXI. A ONU prevê situação crítica para 2025, quando estima que 2/3 da população mundial viverão em condições de escassez de água.

Um conceito que tem sido muito considerado nos estudos recentes sobre o uso da água é o da pegada de água (traduzido do inglês *water footprint*) ou pegada hídrica. Segundo esse conceito, deve-se considerar no cálculo do consumo de água não apenas a água que usamos diretamente para beber, cozinhar e lavar, mas também a água empregada de forma indireta: na produção de

alimentos, papel, roupas, eletrônicos etc. A pegada de água de uma pessoa, comunidade ou empresa é, portanto, definida como o volume total de água doce utilizado para produzir todos os bens e serviços consumidos por elas.

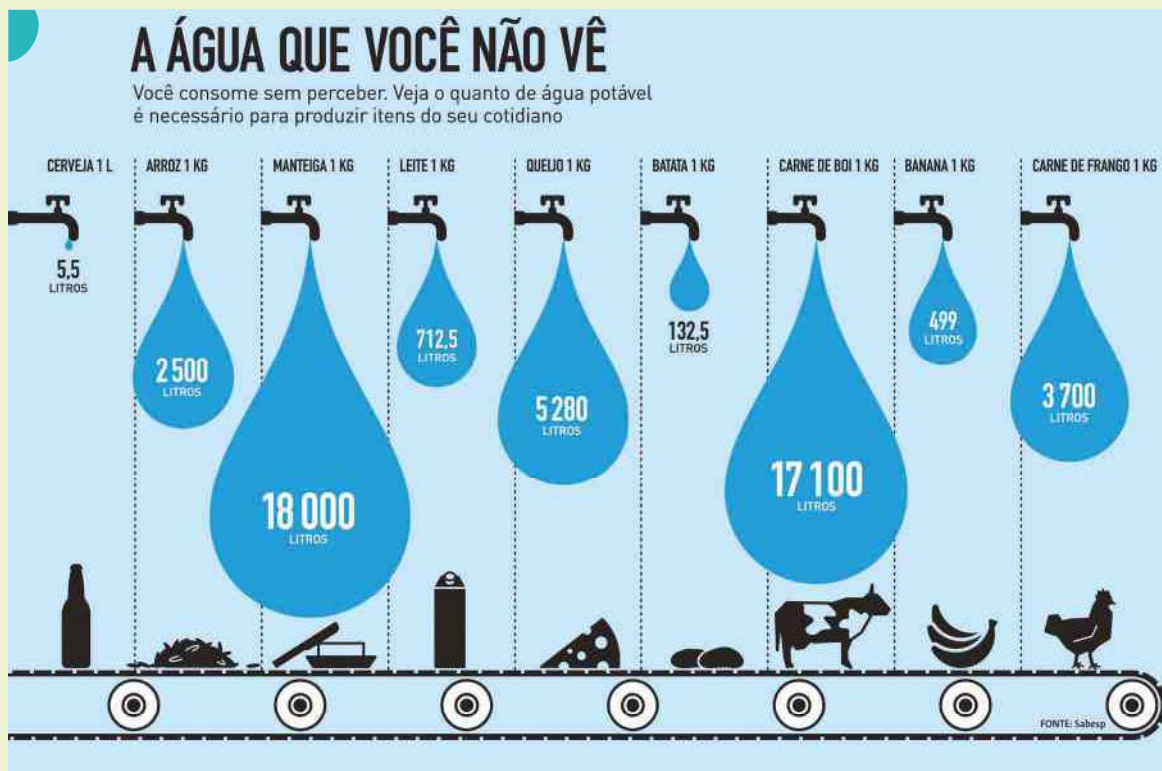
Essa forma de calcular o consumo de água foi elaborada pelo pesquisador holandês Arjen Hoekstra e procura mostrar que a chamada água virtual – aquela que não vemos e está embutida na produção de alimentos e de bens de consumo – é fundamental nas análises sobre estratégias de uso consciente da água.

Veja na figura a seguir alguns exemplos da quantidade de água empregada na produção de alguns itens do cotidiano e uma tabela sobre o uso da água em situações do dia a dia.



➤ Símbolo da pegada de água.

Conceitograf



Quantidade, em litros, de água necessária para produzir alguns itens usados na alimentação humana.

Uso	Água consumida em uma casa (em litros)	Água consumida em um apartamento (em litros)
Escovar os dentes (5 minutos)	12	80
Lavar pratos (15 minutos)	117	243
Chuveiro elétrico (banho de 15 minutos)	45	243
Descarga no vaso sanitário com caixa acoplada (uma utilização)	10	10

Fonte: Dados da Sabesp, que gerencia o tratamento e fornecimento de água na cidade de São Paulo.
Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br>>. Acesso em: jan. 2016.

Professor(a), veja nas Orientações didáticas os comentários e as respostas das questões dissertativas.

- De toda a água doce disponível no mundo, 14% encontra-se em território brasileiro. A abundância de recursos hídricos, no entanto, não justifica o uso sem responsabilidade da água. Segundo dados da ONU, o uso diário de água por pessoa deve ficar em torno de 80 litros e um uso de mais de 120 litros por dia é considerado desperdício. Com base nos dados da tabela, faça uma estimativa do seu consumo diário de água e compare-o com o de seus colegas. Caso os valores ultrapassem as recomendações da ONU, discutam algumas medidas necessárias para evitar o desperdício no uso doméstico da água.



Retomando

Como você pôde notar, matéria e energia percorrem caminhos interconectados nos ecossistemas. Retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e procure reescrevê-las com base no que você aprendeu neste capítulo. A água é um recurso renovável? Pense nos alimentos que você ingere. Você diria que eles são um recurso renovável? Justifique sua resposta.