

Ecologia

Rebecca Manesco Paixão

INFORMAÇÕES SOBRE O AUTOR

Rebecca Manesco Paixão

- Mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá-UEM
- Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Centro Universitário de Maringá-UNICESUMAR
- Licenciatura em Matemática pelo Centro Universitário de Maringá-UNICESUMAR

Sobre o Autor

Possui graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Centro Universitário de Maringá (UNICESUMAR-2014) e licenciatura em Matemática pela mesma instituição (UNICESUMAR-2017). É Mestre em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM-2017), atuando na linha de pesquisa: Gestão, Controle e Preservação Ambiental. Atualmente é doutoranda em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Tem experiência profissional com licenciamento ambiental, gerenciamento de resíduos sólidos, tratamento de água e de efluentes líquidos. Também tem experiência como professora de cursos presenciais e a distância, bem como na elaboração de materiais didáticos.

INTRODUÇÃO DO LIVRO

Seja bem-vindo(a), caro (a) acadêmico(a)! Este material foi preparado com o intuito de apresentar a você os conceitos e técnicas necessários para a compreensão da Ecologia, bem como instrumentalizá-lo para que você possa aplicar esses conhecimentos no seu cotidiano. A palavra ecologia vem do grego “*oikos*”, que significa casa, e “*logos*”, que significa estudo; logo, podemos defini-la como o estudo da casa ou do lugar em que se vive.

Este material está dividido em quatro unidades:

A primeira unidade deste material, denominada de “Introdução à Ecologia e aos Ecossistemas”, abordará a história da ecologia bem como sua importância e relevância para a humanidade. Nesta unidade, você também conhecerá a hierarquia dos níveis de organização, a começar pela célula até a biosfera. E, por fim, também destacaremos o ecossistema, sua estrutura trófica e os principais ecossistemas que podemos encontrar: terrestre e aquático (marinhos e de água doce).

A unidade II, denominada de “Energia nos Sistemas Ecológicos e os Ciclos Biogeoquímicos”, abordará a importância dos fluxos de matéria e energia nos ecossistemas, bem como discutirá sobre os principais ciclos biogeoquímicos: água, carbono, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre.

Na unidade III, intitulada de “Ecologia de Populações”, discutiremos os fatores limitantes da distribuição e abundância dos organismos, além de métodos para estimar o tamanho populacional e fatores envolvidos no crescimento populacional.

Por fim, a unidade IV, “Ecologia de Comunidades”, fornecerá informações sobre como os grupos de espécies estão distribuídos na natureza, bem como o modo que esses grupos podem ser afetados pelos fatores abióticos e pelas interações que ocorrem entre as espécies, sejam elas intraespecíficas ou interespecíficas. E, para finalizar essa unidade, veremos sobre a sucessão ecológica.

Nesse sentido, o livro apresentado em quatro unidades não busca esgotar o tema ecologia, mas fornecer informações úteis aos alunos sobre populações, comunidades e ecossistemas, de modo a fornecer embasamento teórico suficiente para que o aluno possa relacionar a prática e a teoria.

UNIDADE I

Introdução à Ecologia e aos Ecossistemas

Me. Rebecca Manesco Paixão

Introdução

A palavra ecologia vem do grego *oikos*, que significa casa, e *logos*, que significa estudo. Dessa forma, podemos descrevê-la como o estudo da casa. Foi usada pela primeira vez em 1869, sendo definida como o estudo científico das interações entre os organismos e o ambiente.

O mundo vivo pode ser definido por meio de uma hierarquia biológica, começando com as células até a biosfera. Assim, a ecologia possui três níveis de interesse: os organismos, as populações (formadas por organismos da mesma espécie) e as comunidades (número maior ou menor de populações).

Além disso, os ecólogos também focalizaram seus estudos no ecossistema, que consiste na comunidade juntamente com seu ambiente físico, de modo a descrever as rotas seguidas pela energia e pela matéria por meio dos elementos vivos (bióticos) e não-vivos (abióticos) do ecossistema.



Fonte: YARRUTA, 123RF.

Introdução à Ecologia

Ecologia: sua história e relevância para a humanidade

Olá, caro(a) aluno(a). Para começarmos nossos estudos sobre ecologia, precisamos entender a definição que esse termo possui, bem como sua história. A palavra ecologia vem do grego, da união de *oikos* (casa) e *logos* (estudo); dessa forma, podemos entendê-la como o estudo da casa, ou ainda o estudo do lugar em que se vive.

A palavra ecologia foi utilizada pela primeira vez em 1869 por Ernest Haeckel, um dos discípulos de Charles Darwin, sendo definida como “[... a ciência capaz]de compreender a relação do organismo com o seu ambiente”. Já em 1972, Charles Krebs definiu o termo como “[...] o estudo científico das interações que determinam a distribuição e abundância dos organismos” (BEGON et al., 2007, p. IX).

Perceba que a definição de ecologia dada por Charles Krebs traz como tema central onde os organismos ocorrem, quantos ocorrem em um determinado local e por quê. E, nesta mesma linha de raciocínio, atualmente, Begon et al. (2007, p. IX) definiu o termo como “[...] o estudo científico da distribuição e abundância dos organismos e das interações que determinam a distribuição e a abundância”.

Dessa forma, você pode entender a ecologia como a ciência que estuda como os organismos interagem entre si e com o meio em que vivem, considerando os fatores bióticos (seres vivos) e abióticos (físicos e químicos, como água, temperatura, umidade, nutrientes e luz solar).

A ecologia pode ser considerada como uma das ciências mais antigas, seja como ciência pura ou aplicada, pois desde a antiguidade o homem demonstrava interesse em conhecer e entender a natureza. E, como consequência do crescimento contínuo da população, bem como da industrialização, nas últimas décadas o interesse nesta ciência vem aumentando devido a fatores que despertaram a sociedade para o mundo da ecologia, reconhecendo-a como um assunto importante, de forma a trazer contribuições para as relações entre o ser humano e seu ambiente. Dentre os fatores que motivaram o interesse público e engajamento ecológico, Townsend et al. (2010) destacam: a conservação das espécies ameaçadas de extinção e da biodiversidade, o controle de doenças em humanos e em

outras espécies, bem como as consequências das alterações profundas que vêm ocorrendo no ambiente.

FIQUE POR DENTRO

O primeiro Dia da Terra foi realizado nos Estados Unidos na data de 22 de abril de 1970, como manifestação por parte da população a todos os problemas de ordem ambiental.

Fonte: a autora.

Assim, perceba que a ecologia é de interesse prático, visto que desde o início da humanidade o homem sempre desenvolveu uma relação com a natureza, e, se no princípio, essa relação era de equilíbrio, de modo que o homem retirava somente o que era necessário para sua sobrevivência, com o início da civilização e, posteriormente, com a Revolução Industrial, o equilíbrio existente foi quebrado, de forma que o homem passou a explorar irracionalmente os recursos naturais, chegando ao ponto de produzir um ambiente artificial. Nas palavras de Milton Santos (1997, p. 51), “[...] no começo era a natureza selvagem, formada por objetos naturais, que ao longo da história vão sendo substituídos por objetos fabricados, objetos técnicos, mecanizados e depois cibernéticos fazendo com que a natureza artificial tenda a funcionar como uma máquina”.

Neste contexto, após a década de 1970, a ecologia, apesar de permanecer fortemente enraizada na biologia, emergiu desta como uma disciplina nova e integrativa, ligando os processos físicos e biológicos e formando uma ponte entre as ciências naturais e sociais. Assim, atualmente a ecologia está presente na maioria das faculdades que oferecem disciplinas comuns, bem como especializações voltadas à ecologia, intensificando o estudo de como os organismos e as espécies individuais se inter-relacionam e utilizam os recursos (ODUM e BARRETT, 2007).

Caro(a) aluno(a), perceba que a ecologia é uma ciência multidisciplinar que está intimamente relacionada com diversas outras ciências, a saber: biologia, matemática, física, química, genética, meteorologia, pedologia, geologia entre outras, de modo que

todas essas disciplinas exercem influência sobre a ecologia, o que torna difícil definir uma fronteira entre elas. A Figura 1.1 a seguir ilustra as interações existentes entre a ecologia e outras ciências.

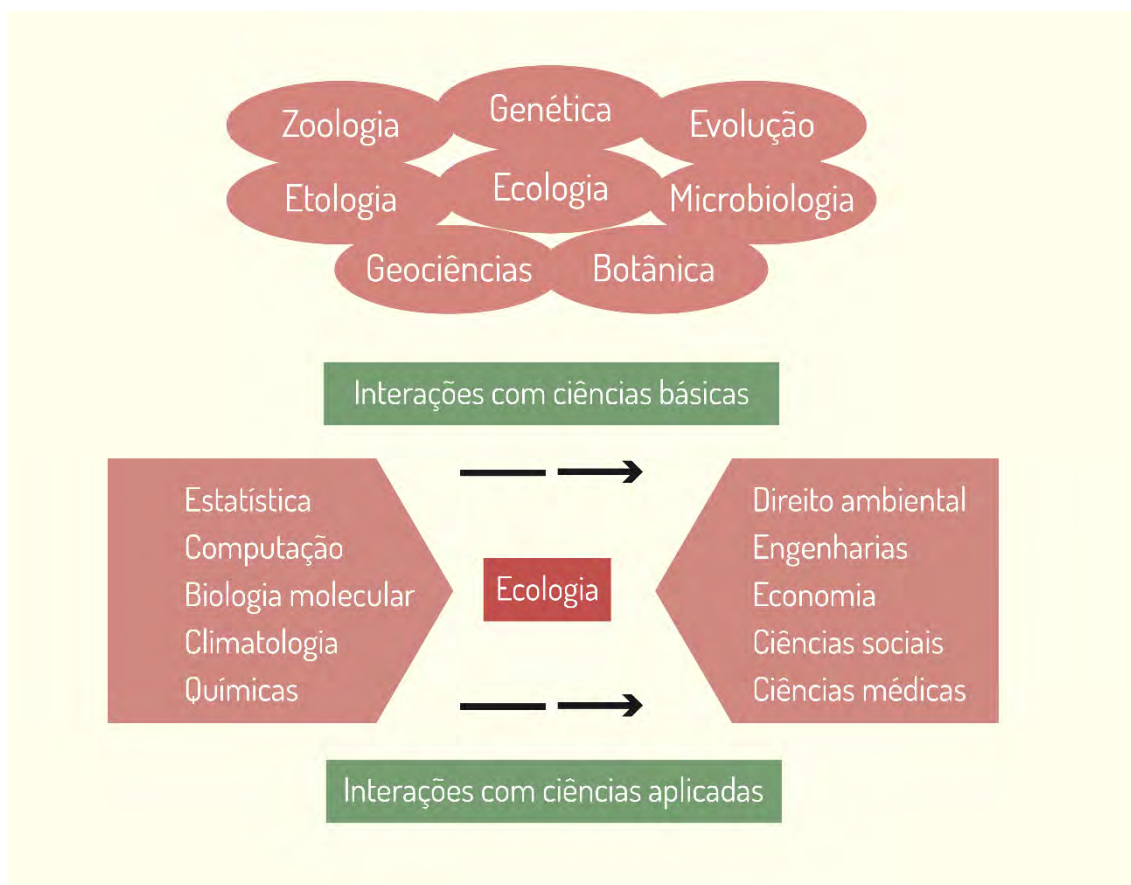


Figura 1.1: Interações entre a ecologia e outras ciências

Fonte: Pinto-Coelho (2000, p. 13).

Nesse contexto, Odum e Barrett (2007) citam que tal interface com disciplinas tradicionais é muito observada nas áreas de economia ecológica, gestão de recursos, agroecologia, biodiversidade, engenharia ecológica, ecologia da conservação, ecotoxicologia, saúde do ecossistema, ética ambiental e ecologia de restauração.

Ecologia na prática

Na prática, os ecólogos procuram explicar e prever a distribuição e abundância dos organismos, bem como suas interações. A título ilustrativo, os ecólogos buscam explicar a distribuição e a abundância de uma determinada espécie por meio do ambiente físico que ela tolera, o alimento que ela consome e os predadores que a atacam. Além disso, os ecólogos também buscam prever o que acontecerá com essa determinada espécie sob uma determinada circunstância, de forma que possam controlá-la ou explorá-la.

Nesse contexto, Townsend et al. (2010, p. 50) trazem alguns exemplos de aplicações da ecologia, como a proposição de um modelo de estudo para verificar porque abutres asiáticos estão em via de extinção. Veja o que os referidos autores citam:

“Declínios perturbadores em populações de abutres têm profundas implicações para a saúde pública na Índia e no Paquistão. Um elemento comum nas mortes foi a gota visceral, ocasionada por um efeito adverso do diclofenaco usado por veterinários para tratar o gado doméstico, uma fonte de alimento para os abutres. Dados os números relativamente pequenos de cadáveres contaminados por diclofenaco disponíveis para os abutres selvagens, um modelo matemático foi rodado para determinar se as mortes devido ao diclofenaco explicam suficientemente os colapsos populacionais, ou se outros fatores poderiam também estar atuando. De fato, a proporção de abutres morrendo por envenenamento por diclofenaco foi muito similar àquela esperada pelo modelo, se o declínio fosse inteiramente a esse tipo de envenenamento. Medidas têm sido tomadas para remediar a situação.”

Níveis de interesse da ecologia

Assim como ocorre em outros ramos das ciências, a ecologia pode ser dividida em 3 níveis de interesse principais: organismos, população e comunidade.

- **Organismos:** a ecologia estuda o modo como os organismos são afetados pelo meio ambiente, e vice-versa;
- **População:** a ecologia estuda a presença ou ausência de espécies, sua abundância e raridade, bem como tendências e flutuações em seus números;

- **Comunidade:** a ecologia estuda a composição e a organização das comunidades. Além disso, Begon et al. (2007) citam que os ecólogos também estudam as rotas seguidas pela matéria e energia, à medida que se movem através de elementos vivo e não-vivos, de uma categoria posterior, denominada de ecossistema.

Neste sentido, quanto às divisões da ecologia, tem-se:

1. **Autoecologia:** estudo das relações dos organismos com o ambiente;
2. **Demoecologia:** estudo da abundância e distribuição de espécies. Também denominada de Ecologia de Populações;
3. **Sinecologia:** estudo das relações das comunidades com o ambiente, bem como das relações das populações entre si e dentro das comunidades. Também denominada de Ecologia de Comunidades;
4. **Ecologia de Ecossistemas:** estudo da estrutura e da dinâmica dos ecossistemas, considerando a ação dos fatores ecológicos sobre os organismos, populações e comunidades presentes no ecossistema;
5. **Ecologia aplicada:** aplicação dos conhecimentos obtidos de estudos e pesquisas ecológicas para a busca de solução dos problemas ambientais existentes, como controle da poluição ambiental, recuperação de áreas degradadas, manejo de unidades de conservação entre outros.

ATIVIDADE NÍVEIS DE INTERESSE DA ECOLOGIA

Quanto às divisões da ecologia, temos uma de grande importância que está relacionada à aplicação dos conhecimentos obtidos a partir de estudos e pesquisas para o controle biológico de pragas. De qual divisão da ecologia estamos falando?

- a) Autoecologia.
- b) Demoecologia.
- c) Sinecologia.
- d) Ecologia de ecossistemas.
- e) Ecologia aplicada.

Hierarquia dos níveis de organização

Caro(a) aluno(a), perceba que cada subsistema ecológico menor é um subconjunto de um maior, e, assim, os diferentes tipos de sistemas ecológicos formam uma hierarquia de tamanho, conforme ilustra a Figura 1.2 a seguir:



Figura 1.2: Hierarquia dos níveis de organização ecológica

Fonte: adaptado de DESCOMPLICA, 2016, on-line.

FIQUE POR DENTRO

O organismo é a unidade fundamental da ecologia, visto que nenhuma das unidades menores da biologia, como célula, tecido, órgão, tem uma vida separada do meio ambiente.

Fonte: a autora.

Observe que a Figura 1.2 retrata os níveis de organização ecológica que vão desde as células até a biosfera. Dessa forma, é importante definirmos cada um desses termos, pois trataremos deles ao longo deste material, principalmente no que diz respeito a população, comunidade e ecossistema.

- **Célula:** unidade básica de todos os seres vivos, com exceção dos vírus;
- **Tecido:** conjuntos celulares funcionais;
- **Órgão:** unidade anatômica e funcional presente apenas em seres moleculares complexos. É constituído por um conjunto de tecidos;
- **Sistema de órgãos:** conjunto de órgãos integrados que desempenham determinadas funções corporais;
- **Organismo:** conjunto de sistemas de órgãos;
- **População:** conjunto de indivíduos da mesma espécie que habitam uma determinada região geográfica;
- **Comunidade:** consiste em um número maior ou menor de populações que interagem com indivíduos de outras espécies que habitam uma determinada região geográfica;
- **Ecossistema:** compreende a comunidade que interage com seu ambiente físico, formado por fatores bióticos e abióticos;
- **Biosfera:** conjunto de regiões do planeta onde existe vida, ou seja, reúne todos os ecossistemas da Terra.

Assim, em cada nível a interação com o ambiente físico (energia e matéria) é capaz de produzir sistemas funcionais característicos. O resultado da interação desses níveis de organização com a parte física do ambiente constitui um sistema (GODEFROID, 2016). O sistema é definido por Odum (2004, p. 6) como “[...] componente com interação e interdependência regular formando um todo unificado”.

É importante ressaltarmos que um sistema composto de componentes vivos (bióticos) e não vivos (abióticos) é denominado biossistema.

ATIVIDADE HIERARQUIA DOS NÍVEIS DE ORGANIZAÇÃO

Ao conjunto de populações que convivem em um ecossistema e que normalmente interagem de forma organizada dá-se o nome de:

- a) Organismo
- b) Tecido
- c) Comunidade
- d) Biosfera
- e) Órgão

Modos de abordagem da ecologia

De acordo com Peroni e Hernández (2011), o estudo da ecologia pode ser abordado sob três pontos de vista: **descritivo**, **funcional** ou **evolutivo**. O ponto de vista descritivo trata do princípio de toda ciência biológica e é baseado na descrição do mundo natural, de modo a descrever os grupos de vegetação e de animais.

O ponto de vista funcional está relacionado à dinâmica energética e numérica dos sistemas ecológicos, de modo a entender como os sistemas funcionam e operam. Essa abordagem busca identificar e analisar problemas gerais que são comuns a maioria ou a todos os diferentes ecossistemas.

Já a ecologia evolutiva estuda a dinâmica adaptativa dos sistemas ecológicos, de modo a explicar como a seleção natural tem favorecido as adaptações particulares que observamos no presente.

Assim, percebe-se que os ecólogos descritivo, funcional e evolutivo devem trabalhar juntos, descrevendo, entendendo e sugerindo hipóteses sobre os sistemas ecológicos, visto que o ambiente de um organismo contém todas as forças seletivas que auxiliaram sua evolução.

Princípio da propriedade emergente

No contexto da hierarquia dos níveis de organização, um termo importante que devemos tratar é o de **princípio da propriedade emergente**. Tal termo implica que à medida que os componentes, ou subconjuntos, se combinam, são produzidas novas propriedades que não estavam presentes no nível inferior da organização hierárquica. De acordo com Odum e Barrett (2007), uma outra forma de expressar esse mesmo conceito é a propriedade não redutível, ou seja, o todo é superior à soma das partes, não sendo redutível. Um exemplo para a compreensão desse conceito é a combinação de hidrogênio (H) e oxigênio (O) para a formação da água (H₂O).

Um outro conceito que devemos trabalhar é o das propriedades coletivas, que são a soma dos comportamentos dos componentes. Apesar de ambos serem propriedades do todo, as propriedades coletivas não envolvem características novas ou únicas resultantes do funcionamento de toda unidade.

Para exemplificar a propriedade coletiva, considere a taxa de natalidade da população, representada pela soma dos nascimentos dos indivíduos em um determinado período de tempo, expressa pelo percentual do número total de indivíduos da população. Esse mesmo exemplo poderia ser aplicado à taxa de mortalidade. Assim, novas propriedades surgem porque os componentes interagem, e não pela alteração de sua natureza básica.

Para finalizarmos este tópico, Godefroid (2016) explica que, ao considerar as propriedades emergentes e a homeostase crescente em cada nível, nem todas as partes componentes podem ser conhecidas até que se compreenda o todo.

FIQUE POR DENTRO

Homeostase é uma das características fundamentais dos ecossistemas, de forma que todos procuram um estado de equilíbrio dinâmico, por meio de mecanismos de autocontrole e autorregulação, que entram em ação quando ocorrem mudanças.

Fonte: Braga et al. (2005).

Ecossistemas

Conceito de ecossistema e gestão do ecossistema

Anteriormente, nós vimos que os fatores bióticos e abióticos, ou seja, os organismos vivos e seu ambiente não vivo, estão inter-relacionados e interagem entre si, formando o ecossistema. Nas palavras de Odum e Barrett (2007, p. 18), o “[...] ecossistema é qualquer unidade que inclui todos os organismos (a comunidade biótica) numa dada área interagindo com o ambiente físico de modo que um fluxo de energia leve a estruturas bióticas claramente definidas e à ciclagem de materiais entre componentes vivos e não vivos”.

Dessa forma, “[...] o ecossistema é um sistema estável, equilibrado e autossuficiente, apresentando em toda sua extensão características topográficas, climáticas, pedológicas, botânicas, zoológicas, hidrológicas e geoquímicas praticamente invariáveis” (BRAGA et al., 2005, p. 10).

Observe o diagrama que ilustra a relação entre a comunidade e o ecossistema, em que a comunidade é representada como uma teia alimentar de organismos autótrofos (A), heterótrofos (H), ligados por fluxos apropriados de energia, ciclos de nutrientes e depósitos (S).

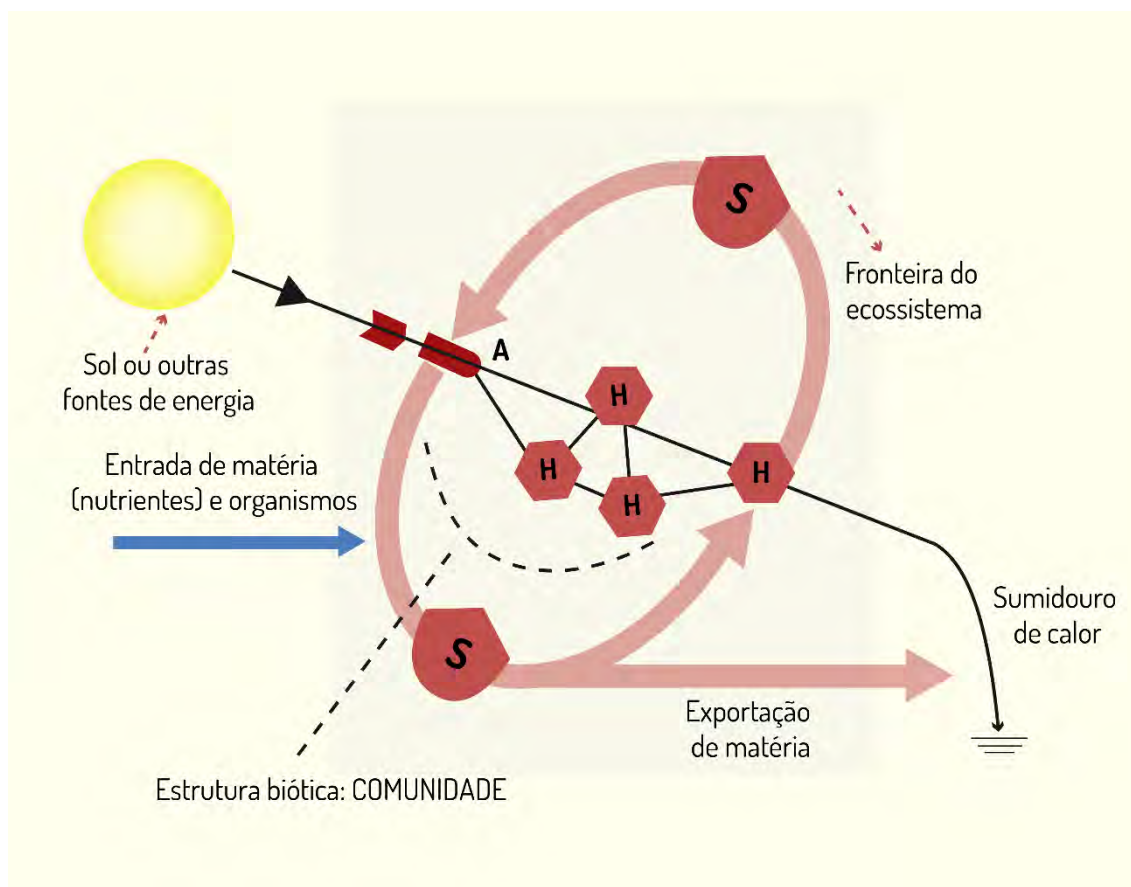


Figura 1.3: Diagrama funcional mostrando a relação entre comunidade e ecossistema. A fronteira do ecossistema está delimitada pelo quadrado tracejado e a comunidade se encontra dentro dele, incluindo somente a parte biótica

Fonte: Peroni e Hernández (2011, p. 17).

De acordo com a Figura 1.3, observe que o ecossistema possui um ambiente de entrada bem como um ambiente de saída. No ambiente de entrada, tem-se a energia, da qual o Sol é a mais importante, que sustenta diretamente a maior parte dos sistemas. Além do Sol, também existem outras fontes de energia como vento, chuva, fluxo de água ou combustíveis fósseis.

A energia também flui para fora do sistema, na forma de calor, ou ainda como outras formas processadas ou transformada como matéria orgânica ou poluentes. Ainda, elementos necessários à vida, como água, ar e nutrientes, entram e saem do ecossistema,

assim como os organismos, por meio da imigração e emigração. Veremos com mais profundidade sobre o fluxo de energia e de matéria na Unidade II.

Estrutura trófica do ecossistema

O ecossistema é constituído por fatores que delimitam e definem sua composição, formado pelos compostos químicos, compostos físicos e seres vivos existentes. Nesse sentido, a estrutura trófica de um ecossistema possui duas camadas, uma superior, composta pelo estrato autotrófico (aqueles capazes de produzir seu próprio alimento), como exemplo as plantas que produzem seu alimento por meio da fotossíntese, e uma camada inferior, composta pelo estrato heterotrófico (aqueles que necessitam “procurar” seu alimento) (ODUM e BARRET, 2007).

Os seguintes componentes que estruturam esses compostos e seres vivos que formam o ecossistema são:

- Substâncias inorgânicas: carbono (C), nitrogênio (N), dióxido de carbono (CO₂), água (H₂O) e outros componentes envolvidos nos ciclos dos materiais;
- Compostos orgânicos: carboidratos, lipídios, proteínas e outros que conectam os componentes bióticos e abióticos;
- Ambiente: água, ar, solo, incluindo o clima e a interferência de outros fatores físicos;
- Produtores: constituídos pelos organismos **autotróficos**, capazes de produzir seu próprio alimento por meio de substâncias inorgânicas simples;
- Fagótrofos: constituídos por organismos **heterotróficos**, como seres que se alimentam de outros organismos;
- Saprótrofos: constituídos pelos organismos **decompositores**, principalmente fungos e bactérias. São organismos que se alimentam de matéria orgânica morta e suas atividades decompositoras liberam nutrientes inorgânicos que são utilizados pelos produtores.

FIQUE POR DENTRO

O termo decomposição é definido como a “[...] desintegração gradual de matéria orgânica morta (corpos mortos, partes removidas de corpos e fezes), que é realizada por agentes físicos e biológicos. Ela culmina com moléculas complexas ricas em energia sendo degradadas por seus consumidores (decompositores e detritívoros) em dióxido de carbono, água e nutrientes inorgânicos”.

Fonte: Townsend et al. (2010, p. 414).

Dessa forma, perceba que os ecossistemas podem ser divididos em 2 conjuntos amplos de componentes, os bióticos (vivos) e os abióticos (não vivos) que interagem entre si de maneira a propiciar um fluxo de energia e material capaz de gerar estruturas biológicas definidas e a ciclagem de material entre elas (GODEFROID, 2016).

Classificação dos Ecossistemas

Sabemos que existe uma grande quantidade de habitats na superfície terrestre, os quais variam de acordo com o clima, distribuição de nutrientes, topografia, espécies de seres vivos etc. Essa diversidade de seres vivos ocorre devido à capacidade de adaptação e desenvolvimento de mecanismos necessários para tal.

De uma forma geral, esses ecossistemas podem ser classificados em **aquáticos** ou **terrestres**, de modo que as principais diferenças, além do substrato que os compõe, são (BRAGA, 2005):

- Enquanto nos ecossistemas terrestres, muita das vezes, a água é um fator limitante, nos ecossistemas aquáticos a luz é que se torna esse fator;
- A variação de temperatura é maior no meio terrestre do que no meio aquático, e isso ocorre devido ao calor específico da água;
- No ecossistema terrestre a circulação do ar provoca uma rápida distribuição e reciclagem de gases, enquanto que nos ecossistemas aquáticos o oxigênio pode

ser um fator limitante;

- O meio aquático requer esqueletos menos rígidos dos seus habitantes quando comparado com o meio terrestre. Isso porque o empuxo do ar é inferior ao da água;
- Apesar dos ecossistemas terrestres apresentarem biomassa vegetal maior que dos ecossistemas aquáticos, as cadeias alimentares são maiores nestes últimos.

Nesse sentido, percebe-se que os ecossistemas podem ser classificados segundo suas características estruturais, bem como de acordo com suas características funcionais. No entanto, não existe uma regra para classificação, mas certas abordagens podem servir para propósitos bastante úteis (ODUM e BARRET, 2007).

A Tabela 1.1 a seguir traz os principais ecossistemas encontrados na biosfera: terrestres e aquáticos (marinhos e de água doce).

Tabela 1.1: Principais tipos de ecossistemas presentes na biosfera

Principais tipos de ecossistemas da biosfera	
Ecossistemas marinhos	Oceano aberto (pelágico) Águas da plataforma continental (águas costeiras) Regiões de ressurgência (áreas férteis com pesca produtiva) Mar profundo (fontes hidrotermais) Estuários (enseadas costeiras, braços de mar, foz de rios)
Ecossistemas de água doce	Lênticos (águas paradas): lagos e lagoas Lóticos (águas correntes): rios e riachos Áreas úmidas: Florestas inundadas e brejos

Ecossistemas terrestres	Tundras: ártica e alpina Florestas de coníferas boreais Florestas decíduais temperadas Campos temperados Campos tropicais e savanas Chaparraais: regiões de seca no verão e chuva no inverno Desertos: herbáceos e arbustivos Florestas tropicais semidecíduas: estações úmidas e secas pronunciadas Florestas pluviais tropicais perenes
--------------------------------	---

Fonte: Odum e Barret (2007, p. 76).

Ecossistemas aquáticos

De maneira geral, os ecossistemas aquáticos podem ser divididos em dois tipos: os de água doce e os de água salgada. Essa classificação diz respeito à concentração de sais dissolvidos. Nesse sentido, em águas doces essa concentração é de até 0,5 g/L, enquanto que nas águas marinhas essa concentração média é em torno de 35 g/L (BRAGA et al., 2005).

Os organismos que habitam os ecossistemas aquáticos, em função de seu modo de vida, podem ser divididos em três categorias (BRAGA et al., 2005; AMABIS e MARTHO, 2006):

- Plânctons: organismos flutuantes, sem meios de locomoção próprio, que acompanham as correntes aquáticas. Seus constituintes dividem-se em: fitoplâncton (plâncton fotossintetizante) e zooplâncton (plâncton não-fotossintetizante). Como exemplos, respectivamente, citamos as algas e os protozoários;

- Néctons: organismos que se deslocam ativamente na água, a exemplo dos peixes, baleias, golfinhos, alguns moluscos (lula) e crustáceos (camarão);
- Bentos: organismos que vivem no fundo do corpo d'água, podendo ser sésseis (fixos) ou errantes (móveis). Como exemplos, respectivamente, citamos celenterados e vermes, crustáceos (lagostas), equinodermos (ouriços-do-mar) e moluscos (polvo).

Marinhos

Os ecossistemas marinhos possuem como base os sistemas marinhos existentes, responsáveis por ocupar 75% da superfície terrestre. Uma das características mais importantes desses ecossistemas é sua estabilidade e homogeneidade no que se refere à composição química e temperatura. Possuem uma salinidade estimada de 35 g/L, sendo o cloreto de sódio (NaCl) o principal sal encontrado, além de sais de magnésio e potássio. Quanto à temperatura, esta varia de 2° C a 32° C em suas áreas superficiais, -2° C nas áreas mais profundas e com temperaturas que chegam a 350° C nas fontes hidrotermais (AMABIS e MARTHO, 2006; GODEFROID, 2016).

Nas regiões litorais, ou seja, próximas aos continentes que se iniciam nas rochas continentais ou nas praias e se estendem até uma profundidade de 200 metros, a vida é numerosa, uma vez que há uma maior disponibilidade de luz e nutrientes. De forma geral, a fauna marinha é composta por cnidários, equinodermos e cefalópodes (GODEFROID, 2016).

Diferente dos habitats terrestres e de água doce, o mar é contínuo e não possui separação, ou seja, todos os oceanos estão ligados, o que faz a temperatura, profundidade e a diferença de salinidade serem as principais barreiras para o movimento dos organismos existentes.

Com relação à profundidade, nos ecossistemas marinhos é possível reconhecer três regiões distintas, resultado da diminuição da entrada de luz. São elas: região eufótica (iluminada até cerca de 80 metros; permite o desenvolvimento de algas), região disfótica (vai tornando-se cada vez menos iluminada), e região afótica (não recebe luz solar, não

existindo vida vegetal, de modo que a fauna é composta apenas por animais carnívoros) (GODEFROID, 2016).

Por fim, a concentração e tempo de residência de nutrientes dissolvidos é relativamente baixa nos ecossistemas marinhos. Suas concentrações variam de acordo com as estações do ano e com a zona vertical na qual se encontram, citadas anteriormente.



Figura 1.4: Exemplo de ecossistema marinho

Fonte: ALEXANDR OZEROV, 123RF.

Ecossistemas de água doce

Os ecossistemas de água doce tratam-se dos menores ecossistemas aquáticos existentes e geralmente apresentam uma menor profundidade quando comparados com os ecossistemas marinhos, com uma média de 350 metros (GODEFROID, 2016).

Esses ecossistemas são classificados, de acordo com o movimento das águas, em 2 tipos:

- Ecossistemas lênticos: representados por águas doces paradas, sem correnteza, com a presença de animais com fortes cores de pele e desenvolvimento de sensação ao tato;
- Ecossistemas lóticos: representados por águas correntes, com animais adaptados a vencerem as correntezas existentes.

Assim, os ecossistemas de águas paradas ocorrem em lagos, lagoas e charcos. Já os ecossistemas de água em movimento ocorrem em rios, riachos e corredeiras.

Os habitats de água doce ocupam uma pequena porção da biosfera quando comparados aos ecossistemas marinho e terrestre e possuem uma menor variância de temperatura e uma grande quantidade de matéria orgânica, o que limita a penetração de luz e reduz a zona fotossintética nesses ambientes (ODUM, 2001; GODEFROID, 2016).

A flora presente nos ecossistemas de água doce basicamente é representada por angiospermas e algas verdes, já sua fauna é constituída por tartarugas, anfíbios, peixes, aranhas, insetos etc. (TUNDISI e TUNDISI, 2008). Ademais, os ecossistemas lênticos apresentam uma maior biodiversidade do que os ecossistemas lóticos, isso porque em águas paradas os produtores são representados por organismos fotossintetizantes, incluindo os fitoplânctons.



Figura 1.5: Exemplo de ecossistema de água doce

Fonte: MARIA LUISA LOPEZ ESTIVILL, 123RF.

Ecossistema terrestre

Nos ecossistemas terrestres são levadas em consideração as condições naturais ou nativas de vegetação, que integram em si a fauna, flora e o clima local. De forma geral, dois grupos de fatores juntamente com a interação da população determinam a natureza das

comunidades e dos ecossistemas terrestres. São eles: o clima (umidade, luz, temperatura) e o substrato (fisiografia, solo etc.) (ODUM, 2001).

São nos ecossistemas terrestres que encontramos os organismos mais complexos e especializados existentes, incluindo os animais de sangue quente.

A Terra possui uma distribuição muito ampla de habitats, o que faz com que cada área continental tenha sua própria fauna e flora. Porém, podemos encontrar organismos com o mesmo nicho ecológico em comunidades semelhantes localizadas em diferentes regiões biogeográficas, a exemplo da floresta tropical pluvial que ocorre na faixa equatorial, tanto no continente americano, como na África, no sudoeste da Ásia e na Oceania. Veremos sobre exemplos de ecossistemas terrestres no próximo tópico.

Quanto ao subsistema solo, podemos classificar os organismos existentes nos ecossistemas terrestres em:

- Microbiota: representa algas do solo, bactérias, fungos e protozoários;
- Mesobiota: representa por nematodos, larvas, pequenos vermes poliquetas e ácaros do solo;
- Macrobiota: representada por inseto maiores, minhocas, raízes de plantas e organismos que podemos separar com a mão.

Os climas regionais dos ecossistemas terrestres interagem com a biota e possuem traços muitas das vezes estabelecidos pela forma de vida que a vegetação local reflete, assim fica determinada a natureza estrutural para a fauna dos biomas (ODUM, 2001).

FIQUE POR DENTRO

“Bioma é o conjunto de ecossistemas terrestres com vegetação característica e fisionomia típica, em que predomina certo tipo de clima.”

Fonte: Amabis e Martho (2006, p. 66).



Figura 1.6: Exemplo de ecossistema terrestre

Fonte: OLEG ZNAMENSKIY, 123RF.

Exemplos e diversidades de ecossistemas

Vimos que existem inúmeros ecossistemas no planeta Terra, de modo que cada um apresenta características específicas voltadas às características da área em que cada ecossistema está inserido. Assim, podemos citar uma diversidade de ecossistemas, como:

- Ecossistemas Naturais: bosques, prados, florestas, desertos e oceanos.
- Ecossistemas Artificiais: açudes, aquários, plantações.

A Tabela 1.2 a seguir apresenta alguns exemplos de ecossistemas naturais existentes e algumas de suas características.

Tabela 1.2: Exemplos de ecossistemas naturais e suas características

Ecossistemas Naturais	Características

Floresta Tropical	Também conhecida como floresta pluvial tropical, é considerado o bioma mais produtivo do planeta, com uma alta incidência de radiação solar e altas taxas de pluviosidade, localizado na faixa equatorial. Possui riqueza de comunidades dominadas por várias espécies diferentes. Também possui uma diversidade em sua flora com folhas, frutos, flores e sementes que atraem insetos e animais, e permite que eles se alimentem. Possui um solo com grande atividade biológica e rápida decomposição. Também possui fauna rica e variada, constituída de macacos, esquilos, serpentes, lagartos, sapos, veados, onças etc. Existem florestas tropicais no norte da América do Sul (Bacia Amazônica), na América Central, na África, na Austrália e na Ásia.
Floresta temperada decídua	Típica de certas regiões da Europa e da América do Norte, com clima temperado e quatro estações do ano bem definidas. Quanto à flora, predominam árvores que perdem as folhas no fim do outono e as readquirem na primavera. Com relação à fauna, encontram-se espécies de mamíferos como javalis, veados, raposas e doninhas, além dos pequenos mamíferos arborícolas como esquilos.
Pradaria	Também denominada de campo, apresenta vegetação constituída em sua maior parte por gramíneas. É encontrada em regiões com períodos marcados de seca, em algumas áreas da América do Norte e da América do Sul. A fauna é constituída de roedores (como hamsters) e carnívoros (como lobos). Campos de cultivos de grão têm substituído os campos naturais e fornecem alimento para os seres humanos.

Desertos	São ecossistemas com condições especiais que permitem a vida apenas de espécies muito resistentes. Desertos quentes, muito áridos, assim como os desertos frios, apresentam nenhuma ou pouca vegetação e solo arenoso. O cacto é um exemplo típico da vegetação dos desertos. Além disso, apresentam pouca diversidade de espécies, cuja fauna é composta predominantemente por animais roedores, como marmotas, répteis, como serpentes e também insetos. Os maiores desertos encontram-se na África (deserto do Saara) e na Ásia (deserto de Gobi).
Savanas	Caracterizado por possuir pequenas árvores e vegetação composta por campos, este tipo de bioma é encontrado na África, na Ásia, na Austrália e nas Américas. São áreas com baixas precipitações pluviométricas, o que limita o crescimento de florestas. Quanto à fauna, é composta de diversos herbívoros de grande porte, como zebras, antílopes e elefantes.
Taiga	Conhecida também como floresta setentrional, ou floresta de coníferas, é encontrada no Canadá e norte da Eurásia. É um ambiente frio e recente que abriga poucas espécies, com uma flora resistente a baixas temperaturas. Possui uma baixa produtividade primária e desigualdade no terreno, abrigando grandes mamíferos como alces, renas, lobos, ursos e raposas.
Tundra	Está localizada além do Círculo Polar Ártico e nas Ilhas subterrâneas do Hemisfério Sul. São regiões similares a montanhas altas. Possui como característica a existência de água congelada no solo. A água líquida só ocorre durante

	um curto período de tempo no ano. No verão, as espécies migratórias enriquecem a fauna de aves e mamíferos. A vegetação é tipicamente composta por líquens, musgos, ciperáceas e árvores anãs. Com relação à fauna, os mamíferos típicos são a rena, o caribu e o boi-almiscarado.
Oceanos	Cobrem a maior porção superficial terrestre. Possuem uma alta biodiversidade e profundidade elevada que, conforme aumenta, torna-se mais escura, fria e com maior pressão. As algas unicelulares representam os principais organismos fotossintetizantes presentes nas áreas mais superficiais conhecidas como zona eutrófica.
Rios	Os rios são caracterizados pela movimentação horizontal das correntes e pela forma de intercâmbio com a bacia hidrográfica. A fauna dos rios é composta por peixes e invertebrados bentônicos. Podem possuir um fluxo de água laminar ou turbulento, que transporta uma carga de material particulado e dissolvido. A base da composição química da água e dos ciclos biogeoquímicos leva em conta as matérias orgânicas e inorgânicas originárias da bacia hidrográfica e das redes de drenagem. Possuem uma diversidade biológica relativamente baixa devido à sua alta turbidez.
Lagos	Os lagos representam ecossistemas lênticos de águas doces, que podem ser formados em diferentes tipos de depressão. Podem apresentar diferentes regiões com características próprias. A região mais rasa, próxima à margem, é chamada de zona litorânea. A região aberta na qual as algas são os produtores primários é chamada de zona limnética. Regiões mais profundas habitadas por animais heterótrofos são

denominadas de zona profunda. Já a região do fundo habitada por organismos bentônicos é chamada de zona bentônica.

Fonte: o autor, adaptado de Amabis e Martho (2006, p. 67-69) e de Godefroid (2016, p. 67-86).

A Figura 1.7 a seguir ilustra a diversidade de biomas que podemos encontrar, de acordo com sua distribuição geográfica, a qual é fortemente influenciada pelos padrões de temperatura e chuva.

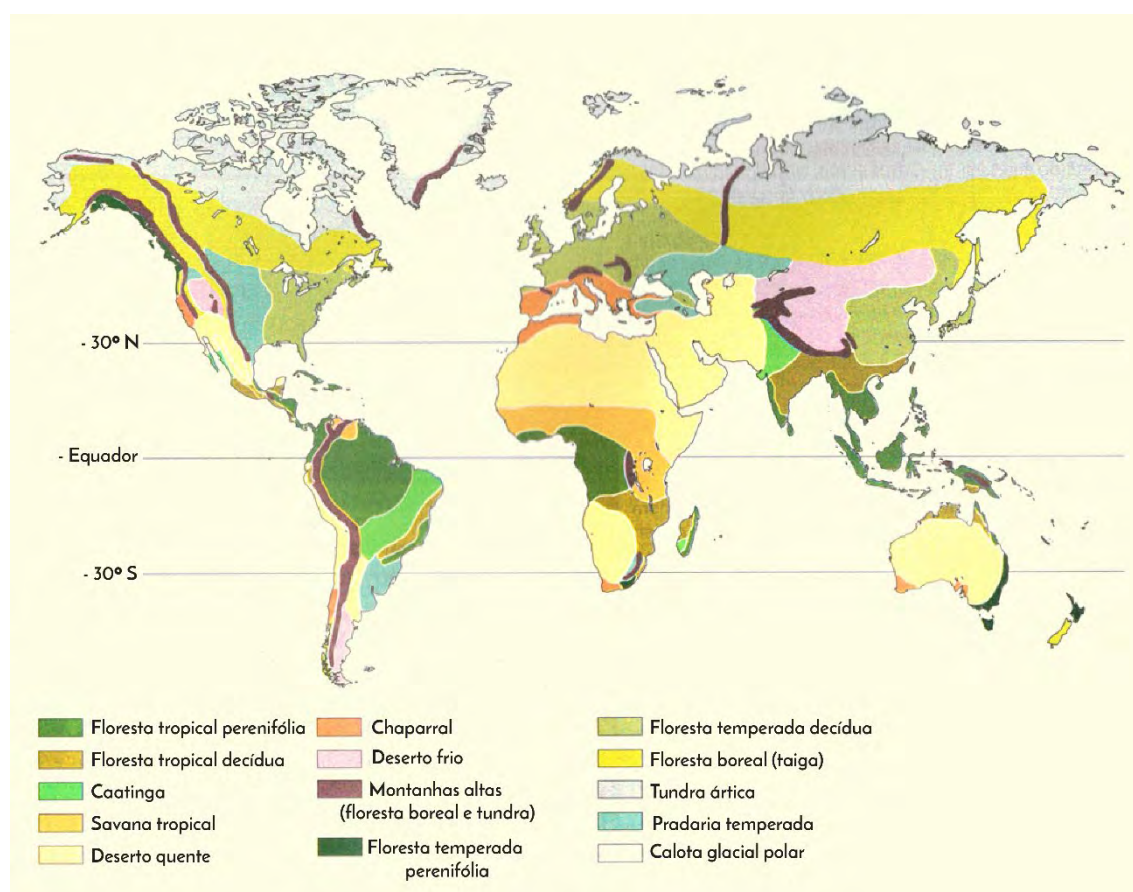


Figura 1.7: Os biomas têm distribuições geográficas distintas

Fonte: Sadava et al. (2009, p. 749).

ATIVIDADE EXEMPLOS E DIVERSIDADES DE ECOSSISTEMAS

Zebras pastavam gramíneas quando foram atacadas por leões. De qual bioma estamos falando?

- a) Deserto.
- b) Taiga
- c) Floresta temperada.
- d) Savana.
- e) Tundra.

Ecótonos e gradientes

As condições ambientais de um determinado ecossistema, assim como os organismos adaptados a essas condições, mudam de forma gradual com a mudança dos gradientes. Em pontos onde ocorre uma mudança abrupta, observa-se os conhecidos ecótonos (ODUM e BARRET, 2007).

Por definição, ecótono ou área de tensão é uma região de transição produzida por dois ecossistemas (que podem ser completamente distintos), por invasão mútua, considerada uma área com uma grande variedade de espécies e nichos ecológicos, com espécies exclusivas deste tipo de ambiente. Normalmente, apresenta largura média de 10 a 100 metros. Como exemplos de ecótonos, Calijuri e Cunha (2013) citam as zonas pantanosas situadas entre um sistema aquático e o sistema terrestre circundante, as formações arbustivas que marcam o limite entre a floresta e os campos e uma região estuarina.

A variedade de espécies no planeta Terra é afetada principalmente por fatores abióticos, entre os quais fatores geográficos, que são os mais relacionados, como gradientes de latitude, altitude e profundidade. Tais gradientes possuem mudança de clima, como temperatura e umidade que influenciam na riqueza de espécies com a mudança desses gradientes.

Gradientes latitudinais apresentam um aumento na quantidade de espécies dos polos para os trópicos, tanto em ambientes terrestres como em ambientes aquáticos. Uma das explicações para esse fato é a diferença climática existente, uma vez que nos trópicos a temperatura e os regimes hídricos proporcionam uma maior produção de biomassa, além de existir uma maior interação entre espécies, pois a maior intensidade de predação nos trópicos diminui a competição e aumenta a sobreposição de nichos (PERONI e HERNÁNDEZ, 2011). A Figura 1.8 a seguir apresenta um exemplo do gradiente latitudinal da riqueza de espécies de borboletas *Papilionidae*.

Quanto aos fatores bióticos que podem influenciar a quantidade de espécies em um determinado local, alguns processos ecológicos podem aumentar a riqueza de espécies, os quais podem estar relacionados com a maior especialização, aumento da quantidade de recursos, exploração mais completa de recursos e maior sobreposição de nichos (PERONI e HERNÁNDEZ, 2011).

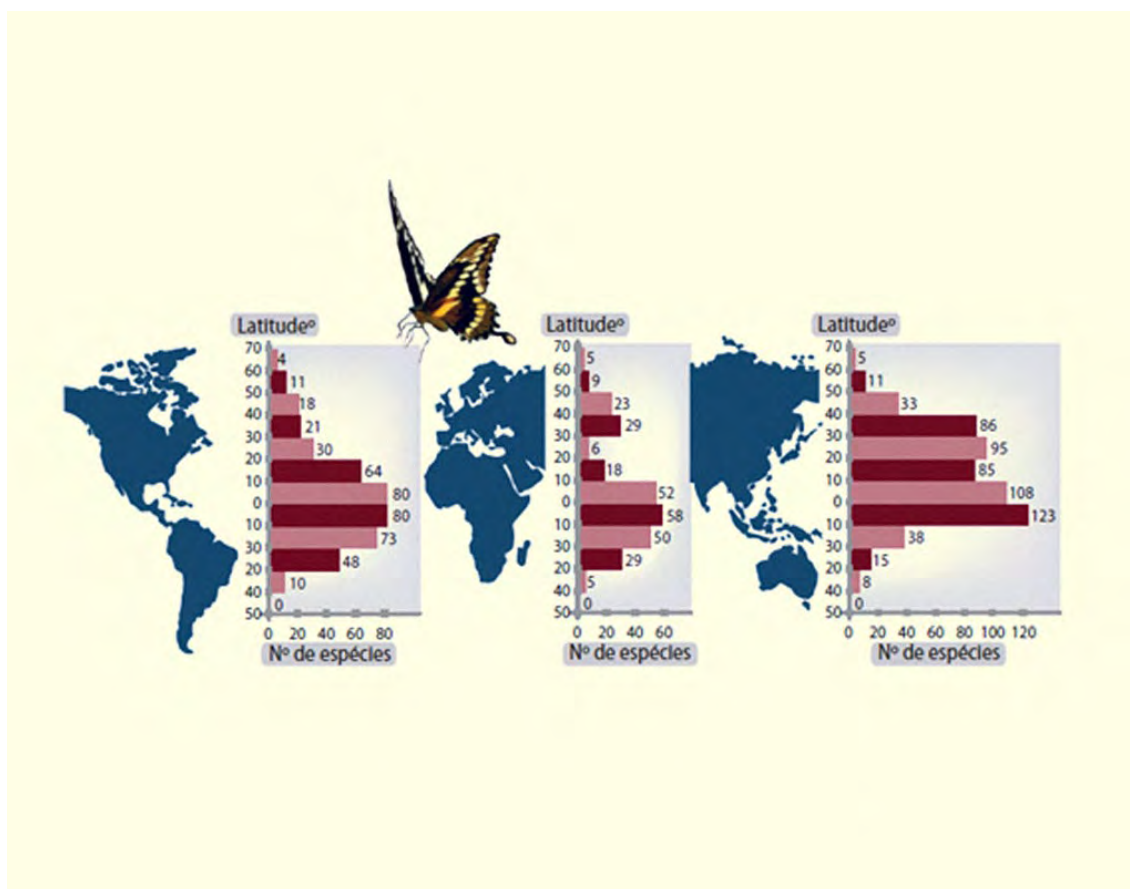


Figura 1.8: Riqueza de espécies de borboletas *Papilionidae* ao longo do gradiente latitudinal

Fonte: Peroni e Hernández (2011, p. 80).

Para gradientes altitudinais os números de espécies diminuem com o aumento da altitude, o que pode ser explicado por fatores climáticos, como temperatura e pressão, assim como por disponibilidade de recursos, uma vez que áreas elevadas são menores e mais isoladas (PERONI e HERNÁNDEZ, 2011).

Semelhante aos gradientes altitudinais, em ambientes aquáticos os gradientes de profundidade possuem uma menor riqueza de espécies em áreas mais profundas quando comparados com a superfície. Em áreas profundas, o ambiente é frio escuro e possui pouco oxigênio (PERONI e HERNÁNDEZ, 2011).

Cibernética do Ecossistema

Os ecossistemas são considerados cibernéticos (*kybernetes* = “piloto” ou governador”) pois apresentam fluxo de matéria, energia, comunicação física e química, unindo todos os componentes que fazem parte de sua estrutura, mantendo-os regulados como um todo (GODEFROID, 2016).

A estabilidade que um ecossistema atinge pode variar de acordo com as funções de controle na natureza, que por sua vez dependem do rigor do ambiente externo e da eficiência dos controles internos. É importante ter conhecimento dos dois tipos de estabilidade: a primeira na qual o ecossistema consegue manter-se firme diante um estresse e é conhecida como estabilidade de resistência. A segunda em que o ecossistema pode apresentar uma alta capacidade de recuperação após um estresse, conhecida como estabilidade de resiliência (ODUM e BARRET, 2007).

Difícilmente ambas estabilidades ocorrem ao mesmo tempo, a exemplo de uma floresta de sequóia sempre-verde da Califórnia que é bastante resistente ao fogo, mas, quando queima, pode recuperar-se lentamente ou ainda nunca se recuperar. Geralmente, espera-se que os ecossistemas em ambientes físicos propícios apresentem estabilidade de resistência maior do que a estabilidade de resiliência, e que ecossistemas de ambientes físicos incertos apresentem esta maior do que aquela (ODUM e BARRETT, 2007; GODEFROID, 2016).

Assim sendo, podemos dizer que o conceito de cibernética dos ecossistemas refere-se ao fluxo de informações que ocorre dentro dos mesmos e que, de acordo com o ecossistema, mantém seu equilíbrio dinâmico característico.

ATIVIDADE CIBERNÉTICA DO ECOSISTEMA

Sobre a cibernética do ecossistema, assinale a alternativa incorreta:

- a) Ambas estabilidades: resistência e resiliência ocorrem ao mesmo tempo sempre.
- b) A estabilidade de resistência diz respeito à capacidade de permanecer firme diante do estresse.
- c) A estabilidade de resiliência diz respeito à capacidade de recuperar-se após um estresse.
- d) Os ecossistemas são ricos em redes de informação, como fluxos de comunicação física e química que ligam as partes e regulam o sistema como um todo.
- e) Os ecossistemas em ambientes físicos propícios apresentam estabilidade de resistência maior do que a estabilidade de resiliência

Microcosmos, Mesocosmos e Macrocosmos

A palavra “cosmo” no idioma português tem significado de universo, que não comporta necessidade de composição. Sendo assim, microcosmos diz respeito a pequenos mundos contidos que simulam em miniatura a natureza dos ecossistemas, podendo estarem inseridos em pequenos recipientes como uma garrafa, ou em aquários. Existem dois tipos básicos de microcosmos de laboratório: os microecossistemas derivados naturalmente por semeadura múltipla de meios de cultura e os sistemas construídos onde as espécies são adicionadas até que se obtenha o resultado desejado (ODUM e BARRET, 2007).

Os mesocosmos, como grandes tanques experimentais ou recintos externos, são considerados sistemas mais realistas, uma vez que são maiores e apresentam fatores ambientais como luz, temperatura e animais maiores com histórias mais complexas. São intermediários entre os sistemas de cultura em laboratório e os ecossistemas naturais (ODUM e BARRET, 2007).

A pesquisa em micro e mesoecossistemas é útil no teste de hipóteses ecológicas geradas pela observação da natureza. Odum e Barret (2007) exemplificam os mesocosmos

terrestres construídos no *Miami University Ecology Research Center*, que foi projetado para avaliar o efeito da fragmentação do habitat (mancha) sobre a dinâmica populacional da arganaz-do-prado (*Microtus pennsylvanicus*) em manchas de paisagem experimental.

Por fim, os macrocosmos referenciam o mundo natural, com uma inclusão de sistemas grandes e naturais como bacias hidrográficas ou paisagens naturais, sendo usados como base de referência ou medidas de controle (ODUM e BARRET, 2007).

Produção e decomposição global

Como visto anteriormente, os ecossistemas possuem em sua estrutura os organismos produtores, capazes de realizar fotossíntese e produzir cerca de 100 bilhões de toneladas de biomassa todo ano. Também existem os organismos decompositores, bem como a atividade respiratória dos seres vivos, que, como resultado, garantem que uma quantidade equivalente é retornada na forma de CO_2 e H_2O . Contudo, esse balanço de massa não é exato.

Segundo Odum e Barret (2007), com o passar do tempo geológico, uma fração pequena da biomassa que era produzida não era decomposta de forma completa, e acabava enterrada e fossilizada, não passando pelo processo de decomposição ou respiração. Essa pequena, porém significativa, fração, fez diferença no balanço de produção e decomposição da biomassa, favorecendo o acúmulo de oxigênio da atmosfera e a redução de CO_2 , o que tornou possível a evolução e sobrevivência de espécies superiores. Além disso, a formação de combustíveis fósseis, devido a essa biomassa não decomposta, ajudou no processo de revolução industrial e evolução da espécie humana.

Nos últimos 60 milhões de anos, o deslocamento dos equilíbrios bióticos, relacionados às atividades vulcânicas, intemperismos das rochas, sedimentação e entrada de energia solar, ocasionou um desequilíbrio na razão O_2/CO_2 na atmosfera. As atividades agroindustriais têm elevado de forma significativa a quantidade de CO_2 , gerando alterações do clima, um dos grandes problemas ambientais que enfrentamos hoje (ODUM e BARRET, 2007).

A relação entre a velocidade total da produção e a velocidade da decomposição tem importância na biosfera, independente dos organismos ou aspectos abióticos

responsáveis. Podemos constatar que a atividade humana hoje colabora de forma expressiva para a decomposição e geração de CO₂ para a atmosfera, ou seja, toma mais do que devolve, colocando em risco o equilíbrio natural e vital, uma vez que o atraso da decomposição, considerado uma característica importante do ecossistema, está sendo colocado em risco pelos seres humanos (ODUM, 2001).

Entre as atividades humanas que aceleram a decomposição citamos a queima de matéria orgânica armazenada em combustíveis fósseis, o desflorestamento e a queima de madeira. Todas essas atividades emitem no ar o CO₂ armazenado no carvão, no petróleo, nas árvores e no húmus profundo das florestas (ODUM e BARRET, 2007).

Pegada Ecológica

A pegada ecológica é equivalente à área do ecossistema que não faz parte de uma cidade como florestas, terras de cultivos e corpos d'água, necessária para sustentar as gerações atuais (ODUM; BARRET, 2007). Pode servir como indicador de sustentabilidade ambiental e ajudar na gestão dos recursos pela economia.

No site da WWF (on-line), encontramos a seguinte definição para pegada ecológica: “[...] mede os impactos da ação humana sobre a natureza, analisando a quantidade de área bioproductiva necessária para suprir a demanda das pessoas por recursos naturais e para a absorção do carbono”.

Nesse contexto, pode-se considerar a pegada ecológica como uma metodologia de contabilidade ambiental, por meio da qual podemos avaliar o consumo da população humana sobre os recursos naturais existentes, bem como comparar os diferentes padrões de consumo existentes entre as populações.

Assim, a área da pegada ecológica vai depender da demanda de uma determinada comunidade e da capacidade do ambiente de suprir essa demanda. Tratando-se de uma população tecnologicamente avançada, de forma geral, a demanda será maior do que uma população subdesenvolvida.

O cálculo da pegada ecológica será: a soma dos impactos ambientais, como a área de energia fóssil reservada para absorção de CO₂ liberado; área do terreno agrícola necessária para alimentar a população; áreas necessárias para atividades pastoris; tamanho da área florestal necessária para fornecer recursos derivados da madeira; e a área necessária para urbanização, como construção de edifícios.

REFLITA

Qual é a sua pegada? É possível medir a quantidade de recursos naturais renováveis necessários para manter nosso estilo de vida. Acesse a calculadora disponibilizada pela WWF:

<http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/pegada_ecologica/sua_pegada/>.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Fundamentos de Ecologia

Editora: Thomson

Autor: Eugene P. Odum e Gary W. Barrett

ISBN: 9788522105410

Comentário: O livro mantém a abordagem holística clássica da ciência ecológica, com ênfase na aplicação dos princípios ecológicos dos dilemas humanos, como crescimento da população, gerenciamento de recursos e contaminação ambiental. Utiliza diversos exemplos reais, que possibilitam ao aluno aprender como os princípios ecológicos podem ser aplicados no gerenciamento de recursos, biologia da conservação, toxicologia ecológica, saúde do ecossistema, ecologia da paisagem e ecologia da restauração.

INDICAÇÕES DE FILME

Nome do filme: Home: nosso planeta, nossa casa

Gênero: Documentário

Ano: 2009

Elenco principal: O diretor Yann Arthus-Bertrand, um operador de câmera, um engenheiro de câmera e um piloto voaram em um pequeno helicóptero através de várias regiões em cerca de 50 países.

Comentário: O documentário é produzido pelo jornalista, fotógrafo e ambientalista francês Yann Arthus-Bertrand. É composto de imagens aéreas de diversos lugares da Terra, de forma a mostrar a diversidade do planeta Terra e como o homem está ameaçando o equilíbrio ecológico.

UNIDADE II

Energia nos Sistemas Ecológicos e os Ciclos Biogeoquímicos

Me. Rebecca Manesco Paixão

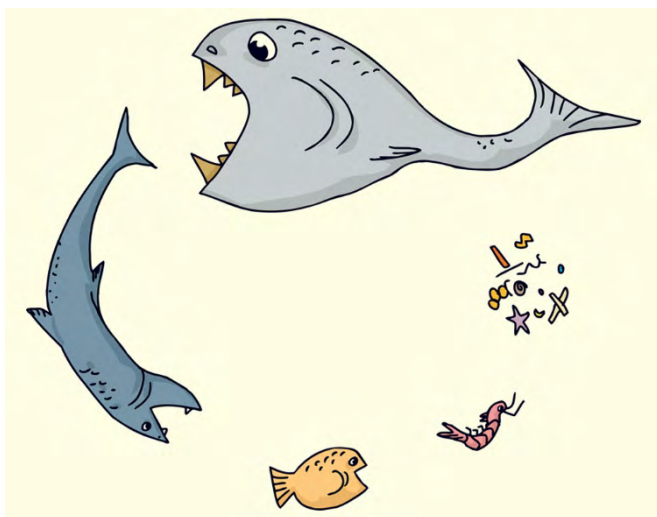
Introdução

Vimos que um ecossistema é composto por dois componentes básicos: o componente biótico (representado pelos seres vivos) e o componente abiótico (representado pelas condições químicas e físicas do meio).

Os representantes do componente biótico são divididos em dois grupos: os organismos autótrofos e heterótrofos. Os autótrofos realizam o processo de fotossíntese, captando a energia luminosa e utilizando-a para suprir suas necessidades energéticas. Já os heterótrofos são incapazes de produzir seu próprio alimento e assim utilizam o alimento sintetizado pelos autótrofos para sobreviverem.

Quanto aos componentes abióticos do ecossistema, destaca-se a radiação solar, de onde provém toda a energia necessária para a sobrevivência dos seres vivos. Essa energia é transferida de um organismo para outro por meio de um processo unilateral denominado fluxo de energia.

Não somente os organismos mas as populações e comunidades que estes formam requerem matéria para a sua construção e energia para a realização de suas atividades. Neste sentido, a importância dos fluxos da matéria e de energia baseia-se no fato de que os processos da comunidade biológica estão intimamente ligados ao meio abiótico.



Fonte: ERIC BASIR, 123RF.

Energia nos ecossistemas: cadeias, teias alimentares e níveis tróficos

Cadeias e teias alimentares

Na Unidade I vimos que, de acordo com suas necessidades, os seres vivos são classificados em autótrofos (capazes de aproveitar substâncias inorgânicas para produzirem seu próprio alimento) ou heterótrofos (incapazes de produzir seu próprio alimento, necessitando obter moléculas orgânicas sintetizadas por outros seres vivos).

Como exemplos de seres autótrofos citamos as plantas, as algas e as bactérias fotossintetizantes (cuja fonte de energia é a luz solar) e quimiossintetizantes (cuja fonte de energia é a oxidação dos compostos inorgânicos). Esses são os únicos seres capazes de produzir compostos orgânicos a partir de compostos inorgânicos e, dessa forma, representam a fonte de alimento básica dos seres heterótrofos, incluindo animais, protozoários e fungos.

Os seres que se alimentam exclusivamente dos autótrofos são denominados de herbívoros, a exemplo das girafas. Já os seres que se alimentam de outros animais são denominados de carnívoros, como os felinos. Também existem aqueles que se alimentam tanto de organismos autótrofos quanto heterótrofos, e a esse grupo dá-se o nome de onívoros, a exemplo do homem.

Quando um ser heterótrofo alimenta-se de um autótrofo, parte da energia contida nas substâncias orgânicas é transferida e incorporada ao corpo desse ser e assim por diante, como veremos no próximo tópico. Dessa forma, nomeia-se de cadeia alimentar a série linear de organismos pela qual flui a energia captada originalmente pelos seres autótrofos (AMABIS e MARTHO, 2006).

Existem dois tipos de cadeias alimentares: aquelas que se iniciam com os produtores e passam pelos herbívoros e carnívoros, denominada de cadeia de pastoreio (ODUM, 2001), a exemplo da cadeia: fitoplâncton → zooplâncton → peixes; e aquelas que começam com plantas e animais mortos, seguindo pelos microrganismos e organismos detritívoros, denominada de cadeia detritívora (CALIJURI e CUNHA, 2013), a exemplo da cadeia: macrófitas → detritos → detritívoros (insetos).

Como trabalharemos com mais profundidade sobre a cadeia de pastoreio, considere o seguinte exemplo que ilustra a cadeia detritívora: a minhoca atua como consumidora primária ao alimentar-se de detritos vegetais; a galinha, ao se alimentar da minhoca, atua como consumidora secundária; já o ser humano, ao se alimentar da carne da galinha, atua como consumidor terciário.

Produtores, consumidores e decompositores

Ao considerarmos a cadeia de pastoreio, os primeiros componentes são os organismos autótrofos, como as plantas. Eles são denominados de produtores visto que são os únicos seres capazes de captar a energia de fontes inorgânicas, utilizando-a para a síntese de matéria orgânica (AMABIS e MARTHO, 2006). Os outros seres, que se alimentam dos organismos autótrofos, são denominados de consumidores, visto que se utilizam da energia originalmente captada pelos produtores.

Denomina-se nível trófico cada nível alimentar de uma cadeia alimentar, segundo a ordem do fluxo de energia. E assim, os seres que se alimentam diretamente dos produtores, como os herbívoros, são denominados de consumidores primários. Já os organismos que se alimentam destes seres são denominados de consumidores secundários, e assim por diante.

Por fim, quando produtores e consumidores morrem, eles servem de alimento para fungos e bactérias. Estes organismos são denominados de decompositores e são seres capazes de decompor a matéria orgânica das partes mortas, resíduos e excreções de outros seres, para obter nutrientes e energia. A existência desses seres é muito importante pois, por meio deles, átomos que fizeram parte de moléculas orgânicas de um ser que morreu voltam ao ambiente, ou seja, são seres responsáveis pela ciclagem de nutrientes (AMABIS e MARTHO, 2006; CALIJURI e CUNHA, 2013).

A Tabela 2.1 a seguir resume o que foi discutido com relação aos níveis tróficos e a fonte de energia dos seres.

Tabela 2.1: Os principais níveis tróficos

Nível trófico	Fonte de energia	Exemplos
Fotossintetizantes (produtores primários)	Energia solar	Plantas, bactérias e protistas fotossintetizantes
Herbívoros (consumidores primários)	Tecidos de produtores primários	Cupins, gafanhotos, anchovas, veados e gansos
Carnívoros primários (consumidores secundários)	Herbívoros	Aranhas, mariquitas, lobos e copépodos.
Carnívoros secundários (consumidores terciários)	Carnívoros primários	Atuns, falcões e orcas
Onívoros	Vários níveis tróficos	Homens, gambás, caranguejos e tordos
Detritívoros (decompositores)	Cadáveres e excretas de outros seres vivos	Fungos, muitas bactérias, urubus e minhocas

Fonte: Sadava et al. (2009, p. 818).

Observe a Figura 2.1 a seguir que ilustra uma cadeia alimentar terrestre, contemplando os níveis tróficos: produtor, consumidor primário, consumidor secundário, consumidor terciário e decompositores.

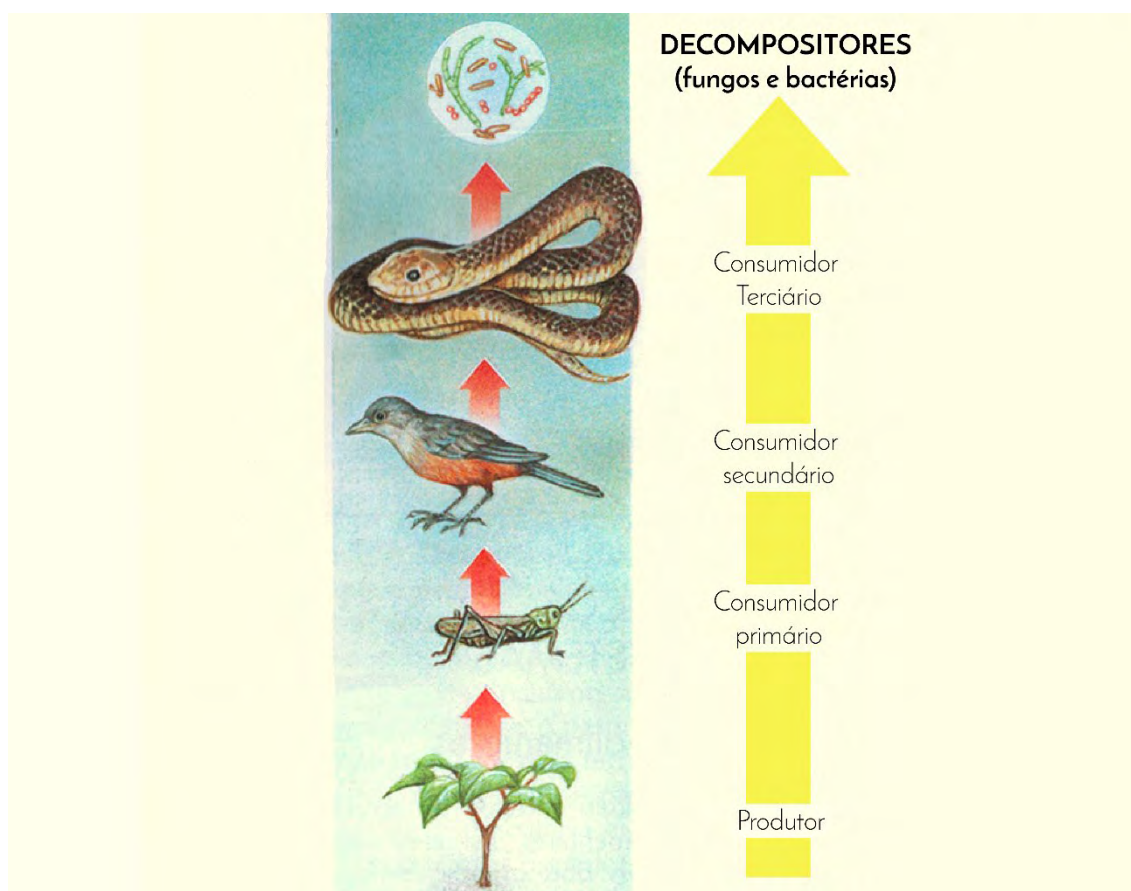


Figura 2.1: Representação esquemática de uma cadeia alimentar terrestre

Fonte: Amabis e Martho (2006, p. 26).

Sabemos que as cadeias alimentares não ocorrem isoladamente nos ecossistemas, de modo que um mesmo organismo pode participar de diversas cadeias alimentares e até mesmo de níveis tróficos diferentes, a exemplo das espécies onívoras que podem consumir tanto vegetais como animais, ou ainda de certos predadores que atacam diversos tipos de presas. Esse tipo de relação é vantajosa visto que o organismo passa a ter várias opções de alimentos, o que leva o ecossistema a uma maior estabilidade. Esse conjunto de relações alimentares entre os diversos organismos de um ecossistema nomeia-se teias alimentares, conforme ilustra a Figura 1.2 a seguir.

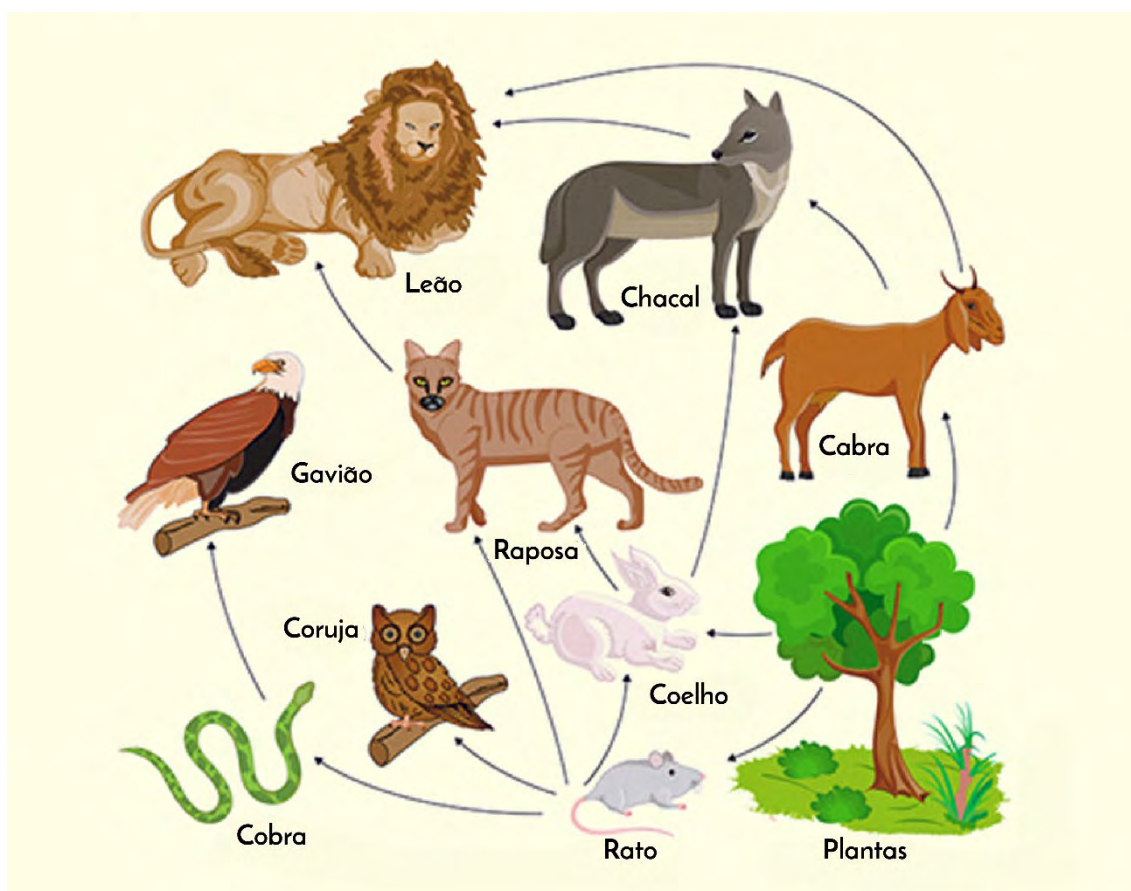


Figura 2.2: Representação esquemática de uma teia alimentar de um ecossistema terrestre

Fonte: UNIVERSIA ENEM, on-line.

De acordo com Pimm (1982), existem algumas regras que regem a estrutura de redes tróficas, a saber:

- As cadeias alimentares geralmente são curtas, com quatro níveis tróficos;
- O tamanho dos predadores não influencia o número de níveis tróficos;
- Os animais onívoros são raros e, em geral, há uma única espécie onívora para cada carnívora situada no extremo da cadeia;

- Em um habitat, as redes tróficas raramente estão compartimentadas em cadeias alimentares independentes, de modo que as cadeias alimentares são ligadas entre si pelas espécies onívoras;
- A variabilidade do meio influi na complexidade das redes tróficas. Assim, em um meio constantemente perturbado, há menos espécies e as redes tróficas são mais simples;
- O número de espécies de predadores é superior ao de espécies presas.

ATIVIDADE CADEIA E TEIAS ALIMENTARES

Considerando a cadeia alimentar fitoplâncton → krill → pinguim → foca, em qual nível trófico o pinguim situa-se?

- a) Produtor.
- b) Consumidor primário.
- c) Consumidor secundário.
- d) Consumidor terciário.
- e) Decompositor.

Fluxo de energia nos níveis tróficos e as leis da termodinâmica

Caro(a) aluno(a), vimos que o Sol é o principal responsável pela manutenção da vida na Terra por dois motivos. Primeiramente porque as radiações solares são capazes de aquecer o solo, a massa de água e o ar, de modo a criar um ambiente favorável à vida. Em segundo, porque a luz solar captada pelos seres fotossintetizantes é transferida ao longo das cadeias alimentares, o que permite a existência de quase todos os ecossistemas da Terra (AMABIS e MARTHO, 2006).

A luz solar é uma fonte de energia externa, necessária para a manutenção dos ecossistemas. Neste sentido, a transformação da energia luminosa em energia química é

a única forma de energia utilizável pelas células dos componentes de um ecossistema, incluindo os produtores, consumidores ou decompositores.

FIQUE POR DENTRO

Apenas 5% da energia solar que chega à Terra é capturada pela fotossíntese. O restante pode irradiar de volta para a atmosfera como calor ou ser absorvido pela evaporação da água das plantas ou de outras superfícies.

Fonte: Sadava et al. (2009).

Sabemos que os vegetais fotossintetizantes absorvem a energia solar, utilizando-a na produção de substâncias orgânicas que ficam armazenadas como energia potencial química. Por sua vez, os animais herbívoros, que se alimentam dos vegetais, absorvem a energia neles contida por meio do processo respiratório. Esse herbívoro é devorado por um animal carnívoro, o qual, também pelo processo respiratório, absorve a energia anteriormente adquirida pela presa e assim por diante, de forma que a energia vai deslocando-se no interior do ecossistema, sendo perdida nas fezes, nos processos respiratórios ou na forma de calor.

Tal processo é ilustrado na Figura 2.3 a seguir, em que a transferência de energia nas cadeias alimentares ocorre unidirecionalmente, tendo início com a captação da energia luminosa e terminando com a ação dos decompositores.

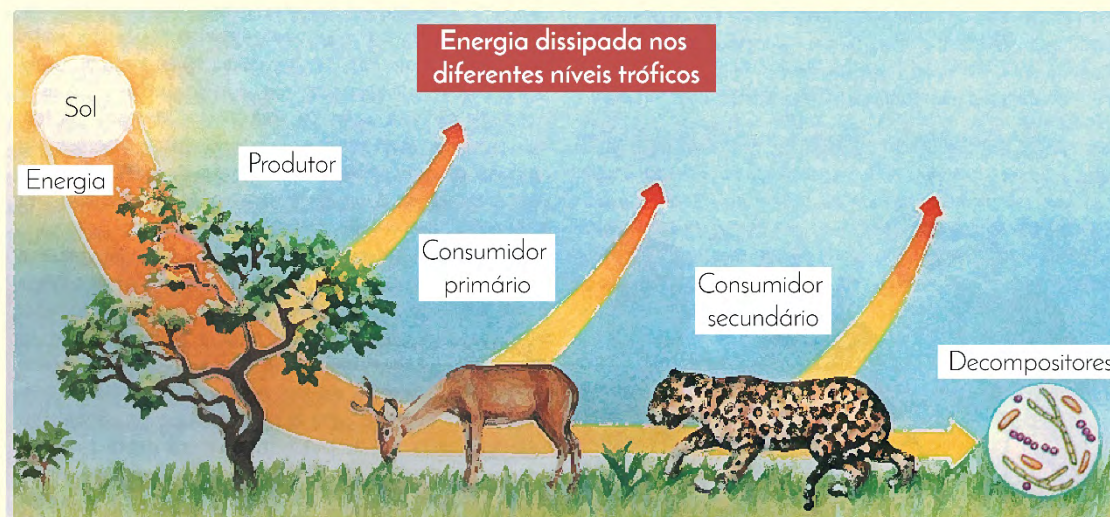


Figura 2.3: Representação esquemática da transferência unidirecional de energia que ocorre nas cadeias alimentares

Fonte: Amabis e Martho (2006, p. 28).

FIQUE POR DENTRO

A fotossíntese é o único processo de entrada de energia em um ecossistema. Sua reação geral é descrita da seguinte forma: $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{energia solar} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$.

Fonte: A autora.

Perceba que tanto produtores como consumidores e decompositores precisam de energia para realizarem suas funções vitais como: crescimento, locomoção e reprodução. Dessa forma, eles utilizam a energia química dos compostos orgânicos armazenados, como a

glicose no processo de respiração aeróbia. Esta, de forma simplificada, pode ser considerada como o oposto do processo de fotossíntese, em que compostos orgânicos são convertidos em gás carbônico e em água, na presença de oxigênio, liberando energia (CALIJURI e CUNHA, 2013).

De acordo com os referidos autores, a energia adquirida por um organismo pode seguir diversos caminhos. A maior parte é destinada à manutenção das funções vitais, denominada de energia respirada, a qual normalmente é perdida na forma de calor. Já a energia digerida e assimilada pelo organismo é denominada de energia assimilada, a qual será utilizada para o crescimento e reprodução.

Por meio da Figura 2.3, observe que a energia, bem como a matéria presente nos produtores, é transferida para os consumidores primários e destes para os consumidores secundários, e assim por diante. Logo, a quantidade de energia presente em cada nível trófico vai diminuindo com sua transferência ao nível seguinte, isso porque os seres vivos consomem parte da energia para manutenção de sua própria vida. No entanto, “[...] enquanto a quantidade de energia declina a cada transferência, aumenta a qualidade ou a concentração da energia que é transferida” (ODUM e BARRETT, 2007, p. 108).

Perceba que a Figura 2.3 ilustra também a dissipação da energia. E, de acordo com Townsend et al. (2010), uma vez transformada em calor, a energia não pode mais ser utilizada pelos organismos vivos para realizar trabalho ou para a síntese da biomassa. Assim, o calor perdido para a atmosfera não pode ser reciclado, de modo que a vida na Terra só é possível dada a existência da energia solar que é disponibilizada todos os dias.

O processo de transferência de energia segue as leis da termodinâmica e à medida que a energia vai sendo transferida ela vai se tornando menos utilizável. A primeira lei da termodinâmica, também denominada de lei da conservação de energia, estabelece que a energia não pode ser criada ou destruída, mas apenas transformada de uma forma para outra. Exemplificando: a luz pode ser transformada em calor, trabalho ou energia, mas nenhuma dessas formas pode ser destruída.

Já a segunda lei da termodinâmica, também conhecida como lei da entropia, explica que o processo de transformação da energia dá-se a partir de uma forma mais concentrada

para outra mais dispersa (desorganizada). Exemplificando: o calor de um objeto quente tende a se dispersar nos arredores mais frios.

Dessa forma, em outras palavras, em um ecossistema, de acordo com a primeira lei da termodinâmica, a soma total de energia é constante, cessadas as entradas e saídas. Por sua vez, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, a energia utilizável vai sendo reduzida após cada transformação, tornando-se inaproveitável quando atinge a forma de calor e tendendo a um estado de equilíbrio com máxima entropia, ou seja, desorganizado. Assim, perceba que os organismos e os ecossistemas são sistemas termodinâmicos abertos, em estado de não-equilíbrio, capazes de trocar energia e matéria com o ambiente, visando reduzir a entropia interna e aumentar a entropia externa.

De acordo com Ricklefs (2010), ao considerarmos as populações de comunidades como sistemas transformadores de energia, estaremos aplicando a primeira e a segunda lei da termodinâmica. A transformação de energia mais fundamental é a conversão da energia da luz em energia química pela fotossíntese. Outras transformações de energia acontecem à medida que os herbívoros convergem a energia em compostos de carbono nas plantas e outros autótrofos em energia que eles podem usar para seu próprio metabolismo, atividade, crescimento e reprodução. Da mesma forma, os carnívoros utilizam a energia dos compostos de carbono contidos em suas presas.

REFLITA

Quanto menos níveis tróficos uma cadeia alimentar apresenta, menor é a dissipação energética ao longo dela, uma vez que as maiores perdas energéticas ocorrem durante a transferência de matéria orgânica de um nível trófico para outro. Assim, embora nem sempre adequado ao paladar humano, utilizar diretamente os vegetais como alimento seria uma forma de evitar a perda energética que ocorre na transferência para o nível dos herbívoros.

Fonte: Amabis e Martho (2006).

Eficiência de transferência de energia

No contexto da eficiência de transferência de energia, a Figura 2.4 a seguir ilustra um modelo de fluxo de energia através dos ecossistemas, demonstrando que a energia ingerida pelos organismos em cada nível trófico é reduzida pela respiração e excreção, resultando em menos energia disponível para o consumo no próximo nível trófico.

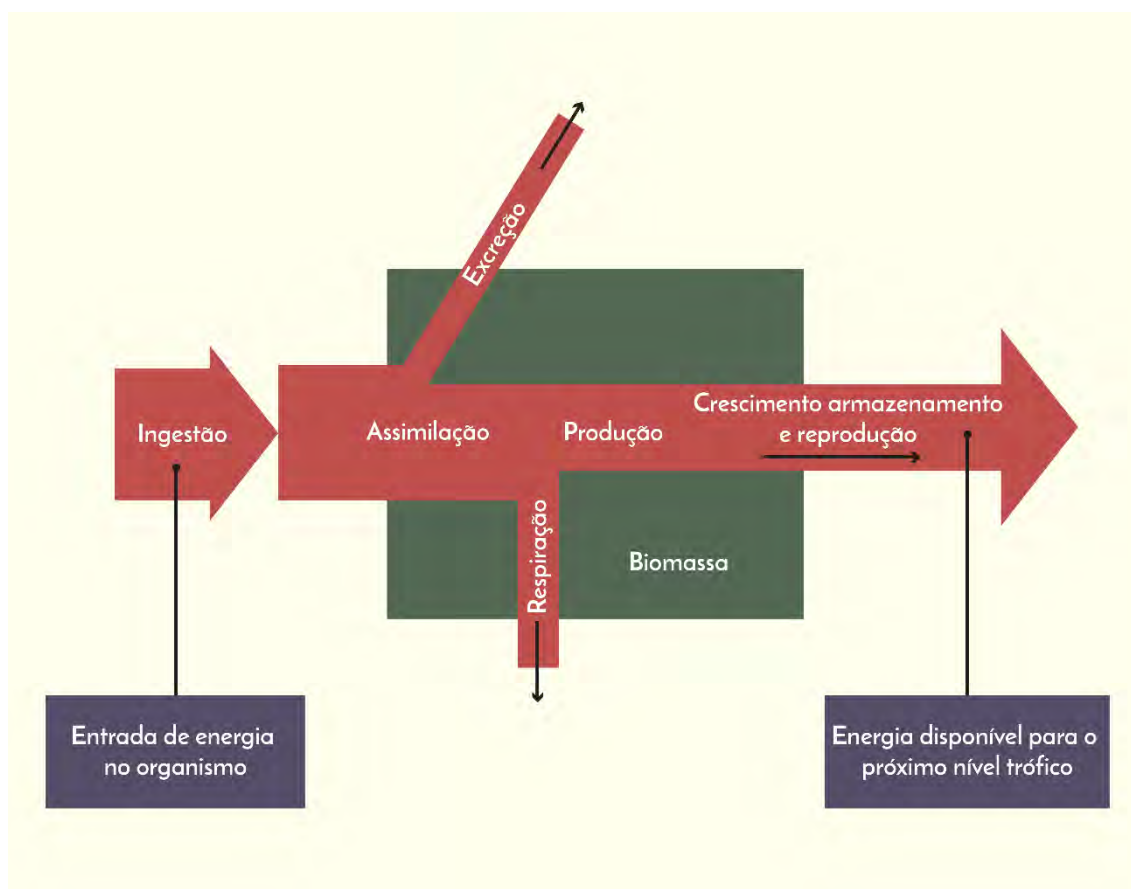


Figura 2.4: Modelo “universal” de fluxo de energia através dos ecossistemas

Fonte: Ricklefs (2010, p. 414).

Dessa forma, a energia potencial é perdida na forma de calor a cada transferência de alimento, estando aproximadamente na ordem de 80 a 90%, de acordo com Odum e Barrett (2007). Para compreender o porquê de as eficiências ecológicas serem tão baixas,

quando transferidas, é necessário compreendermos como os consumidores fazem uso da energia do alimento que consomem.

Segundo Ricklefs (2010), um organismo, ao ingerir um determinado alimento, utiliza a energia nele contida para a realização de suas atividades. Muitos componentes dos alimentos não são facilmente digeríveis, a exemplo de penas, ossos de animais, bem como materiais estruturais como celulose e lignina. Assim, essas substâncias podem ser defecadas ou regurgitadas e a energia que contêm é denominada de energia egestada (EE). O que o organismo digere e absorve constitui-se em energia assimilada (EA). Dessa forma, a energia assimilada é resultado da energia ingestada (EI) menos a energia egestada, ou seja, $EA = EI - EE$. A parte dessa energia assimilada utilizada para atender às necessidades metabólicas é denominada de energia respirada. Ainda, os animais excretam uma outra parte da energia assimilada na forma de rejeitos orgânicos nitrogenados, produzidos quando a dieta contém excesso de nitrogênio. A parte de energia assimilada excretada é denominada de energia excretada. A energia assimilada retida pelo organismo torna-se disponível para crescimento e reprodução. Já a nova biomassa produzida pelo crescimento e reprodução torna-se disponível para alimentar os organismos do próximo nível trófico. Assim, $\text{produção} = \text{energia assimilada} - \text{respiração} - \text{excreção}$ (RICKLEFS, 2010).

A Tabela 2.2 a seguir fornece aproximações da proporção de energia assimilada a cada nível trófico que é desviada para a produção ou respiração.

Tabela 2.2: Resumo da produção, respiração, eficiências de utilização e eficiências de assimilação expressas como porcentagem por nível trófico

Nível trófico	Produção (%)	Respiração (%)	Eficiência de utilização (%)	Eficiência de assimilação (%)
Produtores	60-70	30-40	<1	60-70

Consumidores primários	40-50	50-60	20-25	70-80
Consumidores secundários	5-10	90--5	30-40	90-95

Fonte: O autor, adaptado de Odum e Barrett (2007, p. 110).

Segundo Ricklefs (2010), o fluxo de energia por meio de um ecossistema bem como a eficiência de sua transferência são capazes de descrever alguns aspectos da estrutura de um determinado ecossistema, como: o número de níveis tróficos, a importância relativa de detritívoros e herbívoros, os valores de equilíbrio de biomassa e detritos acumulados e as taxas de troca de matéria orgânica.

Conceito de produtividade

Caro(a) aluno(a), compreender a produção e o consumo da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes é muito importante no contexto do metabolismo dos ecossistemas. De acordo com Godefroid (2016), o estudo da produção biológica fornece a extensão e o sentido do fluxo de energia no ecossistema, de modo a refletir a disponibilidade de energia em um determinado nível trófico.

Assim, no processo de produção, é importante distinguirmos alguns termos: produção primária, produção primária bruta (PPB), produção primária líquida (PPL), produção líquida da comunidade e produção secundária (BEGON et al., 2007; ODUM e BARRETT, 2007; TOWNSEND et al., 2010; GODEFROID, 2016):

- **Produtividade primária:** é a taxa em que a biomassa é produzida por unidade de área pelos produtores primários, a exemplo das plantas. Pode ser expressa em unidade de energia (joules por metro quadrado por dia) ou de matéria orgânica seca (quilogramas por hectare por ano);

- Produtividade primária bruta (PPB): é a taxa total de fotossíntese, incluindo a matéria orgânica usada na respiração durante o período de medição. Parte dessa produção é utilizada na respiração das plantas e parte é perdida pela comunidade por meio da respiração autotrófica;
- Produtividade primária líquida (PPL): taxa real de produção de biomassa nova que está disponível para consumo de organismos heterotróficos. Representa a subtração da respiração autotrófica (R) da produção primária bruta (PPB), ou seja, pode ser calculada da seguinte forma: $PPL = PPB - R$;
- Produtividade líquida da comunidade: taxa de armazenamento da matéria orgânica não utilizada pelos organismos heterotróficos durante o período de medição;
- Produtividade secundária: taxa de produção (assimilação) de biomassa pelos organismos heterotróficos. De acordo com Dajoz (2008), o estudo da produtividade secundária requer algumas medições, incluindo: fluxo de energia (A) que atravessa determinado nível trófico, como a população; valor energético do alimento ingerido (I); quantidade de excreção (NA); produtividade (P); e respiração (R). O fluxo de energia é calculado por meio da seguinte fórmula: $A = I - NA$ ou $A = P + R$.

Neste contexto, a Figura 2.5 a seguir ilustra como a produção primária bruta pode ser particionada em respiração e produção primária líquida.

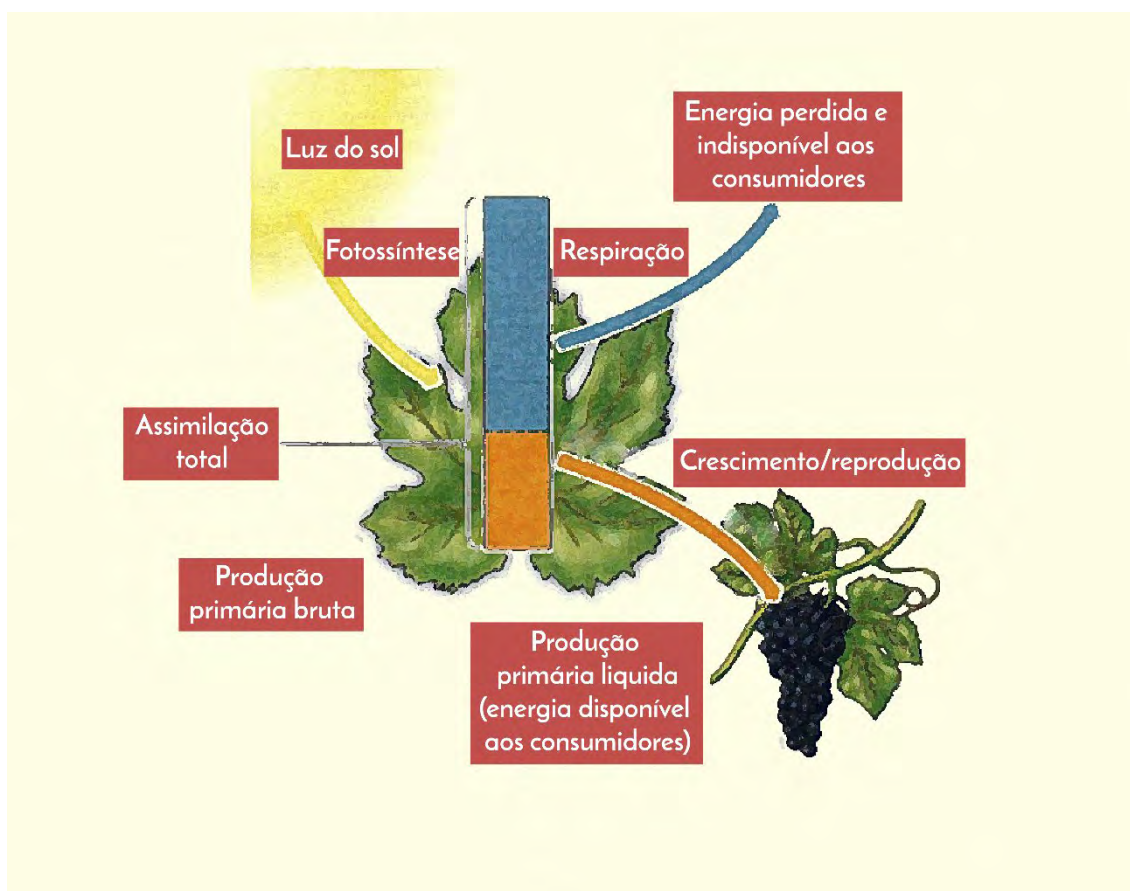


Figura 2.5: A produção primária bruta pode ser particionada em respiração e produção primária líquida

Fonte: Ricklefs (2010, p. 415).

Por meio da Figura 2.5 é perceptível que a produção primária bruta representa a energia total assimilada pela fotossíntese, de modo que as plantas utilizam parte dessa energia para se manterem, bem como manterem suas atividades metabólicas por meio da respiração. Como consequência, a biomassa das plantas contém muito menos energia do que a energia total assimilada. A energia acumulada na biomassa das plantas, disponível aos consumidores, é denominada de produção primária líquida.

Alguns fatores podem influenciar a produção primária nos ecossistemas, de modo que a combinação favorável de intensidade solar, temperaturas altas, chuvas abundantes e

muitos nutrientes resulta em alta produtividade, ao contrário do que se observa nos ecossistemas temperados e polares (RICKLEFS, 2010).

Nos ecossistemas, a avaliação da produtividade leva em conta a natureza e a grandeza dos prejuízos energéticos resultantes de perturbações (clima, colheita, poluição etc.) e dos subsídios de energia, que contribuem com o processo produtivo ao reduzirem a perda de calor respiratório utilizado na manutenção da estrutura biológica (ODUM, 1988; GODEFROID, 2016).

Assim, segundo Odum e Barrett (2007), as altas taxas de produção nos ecossistemas, sejam elas naturais ou produzidas pelo homem, ocorrem quando os fatores físicos são favoráveis, principalmente quando os subsídios de energia de fora do sistema aumentam o crescimento ou as taxas de reprodução dentro do sistema, a exemplo dos fertilizantes.

Godefroid (2016) cita que a produção bruta nos sistemas produzidos pelo homem não é maior do que a dos sistemas naturais. A produção pode ser aumentada em áreas com baixa incidência de água e de nutrientes, se essas substâncias forem disponibilizadas. Porém, o aumento na produção primária líquida e na produção primária da comunidade é obtido por meio de subsídios de energia que aumentam a safra ao diminuírem os consumos autotróficos e heterotróficos.

No entanto, determinados fatores nem sempre atuam da mesma forma, ou seja, sob certas condições do ambiente ou em um baixo nível de intensidade, determinado fator pode atuar como subsídio de energia, mas esse mesmo fator também pode levar a prejuízos energéticos, bem como reduzir a produção, se as condições do ambiente forem diferentes ou se existir um nível maior de entrada (ODUM, 1988).

REFLITA

Os seres humanos, juntamente com seus animais domésticos, consomem mais de 6% da produção líquida da biosfera, além de grandes quantidades da produção bruta na forma de fibras. Assim, o homem é o grande interessado no aumento da produtividade no planeta, a qual pode ser obtida por meio da irrigação, ampliação da área agrícola, reciclagem dos elementos nutritivos do fundo dos mares e melhoria no rendimento das culturas.

Fonte: Braga et al. (2005).

Caro(a) aluno(a), as atividades humanas são capazes de modificar a forma como a energia flui e é distribuída. Assim, segundo Sadava et al. (2009), algumas atividades como a conversão de florestas em pastagens e o desenvolvimento urbano podem diminuir a produtividade primária líquida global, enquanto que outras atividades, como a agricultura intensiva, podem aumentá-la.

Pirâmides ecológicas

De acordo com Ricklefs (2010), um jovem ecólogo aquático chamado Raymond Lindeman trouxe o conceito de ecossistema como sendo um sistema transformador de energia. Lindeman também visualizou uma pirâmide de energia dentro do ecossistema (Figura 2.6), com menos energia atingindo cada nível trófico anterior, isso porque a energia era perdida por causa do trabalho realizado pelos organismos bem como pela ineficiência das transformações das energias biológicas.

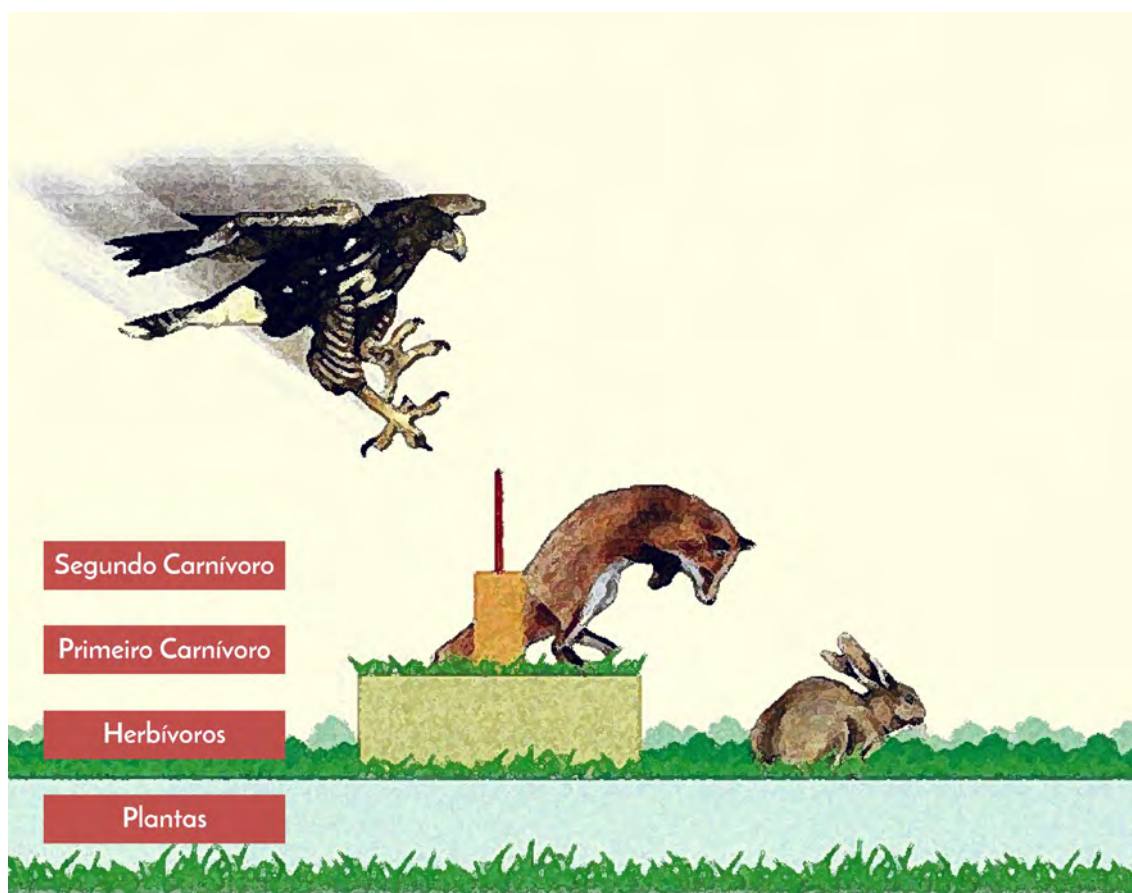


Figura 2.6: Lindeman visualizou uma pirâmide de energia dentro do ecossistema. A largura de cada barra representa a quantidade de energia naquele nível trófico do ecossistema

Fonte: Ricklefs (2010, p. 414).

Vimos que as teias alimentares podem ser ilustradas por esquemas que simplificam a representação dessas interações. Esses esquemas podem ser de três tipos: pirâmides ecológicas de números, biomassa ou energia. O primeiro nível é formado pelos organismos produtores, constituindo a base da pirâmide, e os níveis sucessivos formam camadas até o ápice, como demonstrado na Figura 2.7 a seguir:

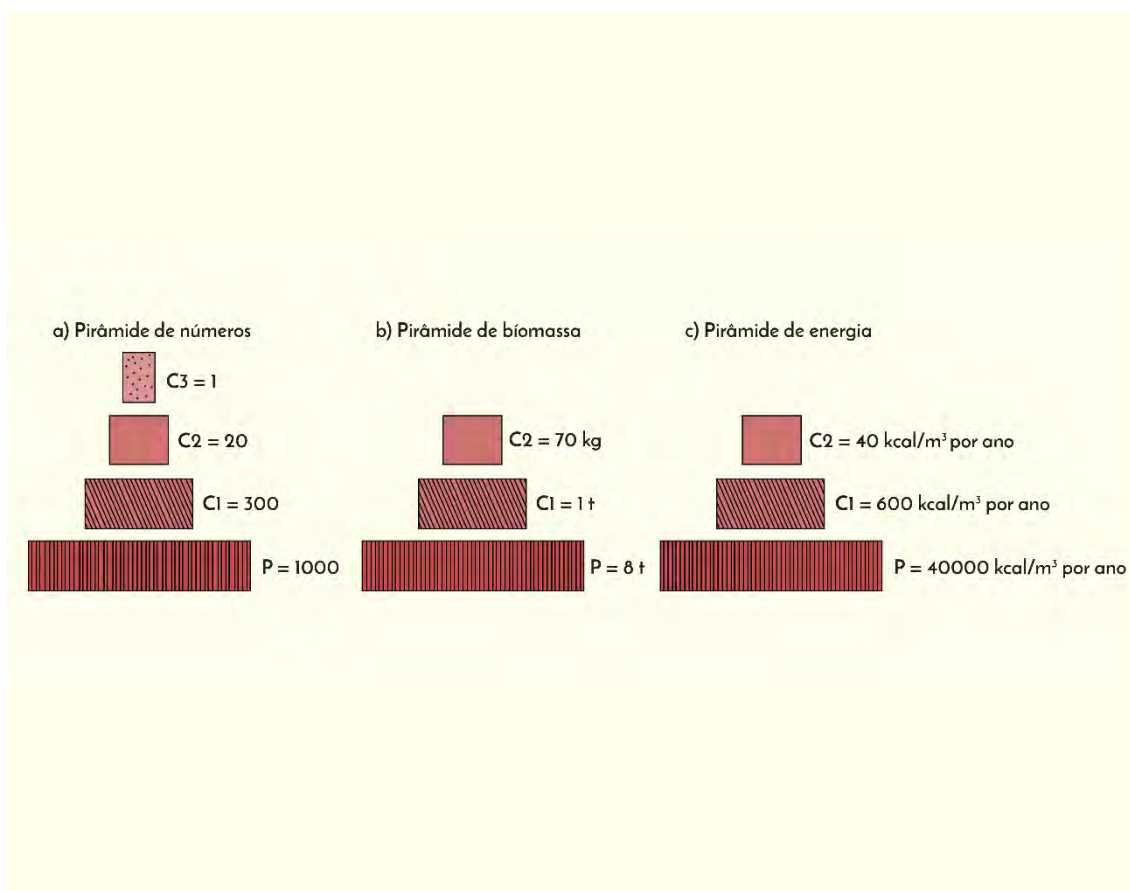


Figura 2.7: Pirâmides ecológicas: a) pirâmide de números; b) pirâmide de biomassa; c) pirâmide de energia.

Fonte: Godefroid (2016, p. 146).

Assim, percebe-se que as pirâmides ecológicas representam graficamente o fluxo de energia e matéria entre os níveis tróficos. Por meio da pirâmide de número é possível representar o número de indivíduos por unidade de área nos diferentes níveis tróficos existentes, porém ela não é considerada muito instrutiva uma vez que fatores como geometria, cadeia alimentar e tamanho não são revelados. A pirâmide de biomassa representa a quantidade de biomassa ou valor calórico em cada nível trófico, porém fornece um quadro grosseiro pois não considera uma taxa de renovação e acúmulo ao longo do tempo. Já a pirâmide de energia simboliza a quantidade de energia existente nas inter-relações tróficas de uma comunidade, demonstrando a representação dos ritmos de passagem da massa de alimento

na cadeia alimentar. A pirâmide de energia é considerada o melhor cenário representativo entre as 3 pirâmides existentes.

ATIVIDADE PIRÂMIDES ECOLÓGICAS

Considerando a pirâmide ecológica a seguir, assinale a alternativa correta que indica o tipo de pirâmide e o aumento que ela representa.



- a) De energia - aumento do teor de calorías, pela maior velocidade de ciclagem.
- b) De biomassa - aumento do peso seco em função do tamanho dos organismos.
- c) De números - aumento da quantidade de organismos, sem considerar a biomassa.
- d) De energia - aumento das populações de consumidores primários e secundários.
- e) De números - aumento da quantidade de organismos, considerando a biomassa.

Fluxo de matéria

A matéria, ao contrário da energia, tem fluxo cíclico, podendo ser reaproveitada repetidamente em cada nível trófico por causa das mudanças que sofre na forma de suas moléculas. Assim, segundo Ricklefs (2010), a matéria cicla por meio de um ecossistema após ter sido assimilada pelas plantas em formas inorgânicas e ser convertida em biomassa. Parte da matéria é passada para a cadeia alimentar, mas toda ela retorna a formas inorgânicas pelo processo de decomposição.

Dos 103 elementos químicos existentes, sabe-se que 30 a 40 são essenciais à vida, passam pelos organismos vivos e retornam ao ambiente natural. Esses elementos são classificados em 2 grandes grupos: os macronutrientes como carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O₂), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S); e os micronutrientes como alumínio (Al), boro (B), cromo (Cr), zinco (Zn) e cobalto (Co) (PINTO-COELHO, 2000; BRAGA, 2005).

Neste sentido, de acordo com Calijuri e Cunha (2013), o ciclo da matéria é composto por quatro etapas essenciais. São elas:

- Da forma mineral para a forma orgânica: por meio do processo de fotossíntese realizado pelos seres autótrofos, a matéria inorgânica é incorporada na biomassa desses organismos na forma de matéria orgânica;
- Dos seres autótrofos para os seres heterótrofos: parte da matéria é consumida e assimilada na biomassa do consumidor;
- Dos seres autótrofos ou heterótrofos para os decompositores: a matéria orgânica morta sofre transformações, gerando compostos químicos menos complexos;
- Da forma orgânica para a forma mineral: os compostos orgânicos são metabolizados em compostos inorgânicos simples, ficando novamente disponíveis no ambiente para serem reutilizados pelos seres autótrofos.

Caro(a) aluno(a), perceba que os nutrientes são ganhos e perdidos pelas comunidades de diversas formas. A Figura 2.8 a seguir ilustra os componentes dos estoques de nutrientes. Observe que as comunidades aquáticas e terrestres estão ligadas por fluxo de corrente, que é a saída principal do sistema terrestre e entrada principal do sistema aquático.

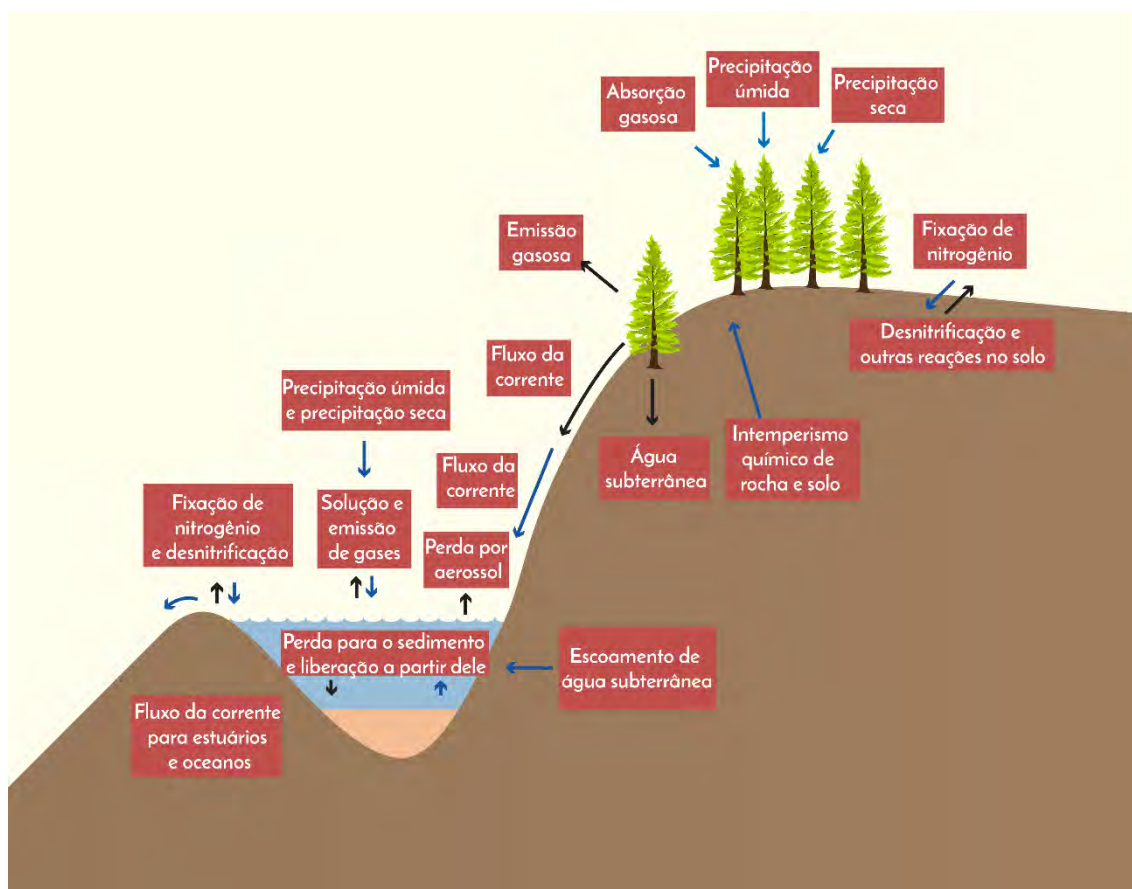


Figura 2.8: Componentes dos estoques de nutrientes de um sistema terrestre e de um aquático. As entradas são mostradas em azul e as saídas em preto

Fonte: Townsend et al. (2010, p. 423).

Por meio da Figura 2.8, observe que o intemperismo da rocha matriz e do solo, por meio de processos físicos e químicos, representa a fonte de nutrientes, como cálcio, ferro, magnésio, fósforo e potássio, que podem ser absorvidos pelas raízes das plantas. O dióxido de carbono e o nitrogênio gasoso atmosférico são as principais fontes do conteúdo desses elementos em comunidades terrestres, de modo que outros nutrientes provenientes da atmosfera tornam-se disponíveis, como precipitação seca ou, na chuva, neve e neblina. Os nutrientes são perdidos novamente pela liberação para a atmosfera ou na água que alimenta riachos e rios. Os sistemas aquáticos obtêm nutrientes do fluxo de correntes, da descarga de água subterrânea e da atmosfera por difusão por meio de suas superfícies (BEGON et al., 2007; TOWNSEND et al., 2010).

Dessa forma, caro(a) aluno(a), compreender como os nutrientes ciclam entre os componentes do ecossistema é muito importante para entendermos como se dá a regulação da estrutura e do funcionamento do ecossistema. Os ciclos de grande importância ecológica são da água, carbono, oxigênio, nitrogênio, fósforo e enxofre. Esses ciclos recebem o nome de ciclos biogeoquímicos, uma vez que “[...] envolvem os seres vivos (bio) na transformação da matéria, cujas fontes envolvem o meio terrestre (geo) e os elementos químicos (químico)” (CALIJURI e CUNHA, 2013, p. 140). Assim, a biogeoquímica é uma ciência que estuda a circulação da matéria entre os componentes bióticos e abióticos da biosfera.

Os ciclos biogeoquímicos podem ser classificados em três tipos, dependendo da natureza do reservatório abiótico (PINTO-COELHO, 2000):

- Ciclos Gasosos: possuem um compartimento abiótico na atmosfera com autorregulação eficaz devido à dinâmica do meio. Exemplos: ciclo do oxigênio e ciclo do nitrogênio;
- Ciclos Sedimentares: possuem o compartimento abiótico nas rochas e na crosta terrestre, com tempo elevado e recirculação. Exemplo: ciclo do fósforo;
- Ciclos Mistos: possuem ambos os compartimentos (sedimentares e atmosféricos). Exemplos: ciclo hidrológico ou da água, ciclo do carbono e ciclo do enxofre.

Os ciclos gasosos tendem a ser mais autorreguláveis do que os ciclos sedimentares. Isso porque, nestes últimos, a imobilidade da grande maioria dos elementos na crosta terrestre faz com que o ciclo fique mais suscetível às alterações por intempéries, bem como pela ação do homem.

Veremos com mais profundidade cada um desses ciclos biogeoquímicos a seguir.

Ciclos biogeoquímicos

Ciclo da água

A água é uma substância constituída por dois átomos de hidrogênio (H) e um átomo de oxigênio (O). É considerada o principal componente dos organismos dos seres vivos, ocupando de 70% a 90% de seu peso. A depender da região do planeta, a quantidade de água presente pode variar, obrigando os seres vivos a desenvolverem características específicas e se adaptarem ao meio, o que faz da água o grande regulador do meio ambiente, a qual suas características (pH, movimentação, turbidez, cor, temperatura, calor específico) condicionam os seres presentes em cada região (BRAGA, 2005).

O ciclo deste elemento vital à vida dos seres vivos é movido principalmente pelos processos físicos de evaporação, precipitação e transpiração, podendo ser dividido em dois: pequeno ciclo e grande ciclo, conforme ilustra a Figura 2.9 a seguir.

O pequeno ciclo não é considerado um ciclo biogeoquímico pois dele não participam os seres vivos. A energia solar garante a evaporação da água presente no planeta e a principal fonte vem dos oceanos, porém, neste ambiente, a evaporação excede a precipitação. O contrário ocorre nos continentes, o que nos leva a concluir que grande parte das chuvas nos continentes são provenientes de águas marinhas. Na terra a água encontra-se armazenada na forma de lagos, lagoas, aquíferos subterrâneos, gelo e em canais de rios retornando aos oceanos (BRAGA, 2005; CALIJURI e CUNHA, 2013).

Já o grande ciclo da água tem participação dos seres vivos. Começando pelos produtores, as plantas absorvem a água das precipitações pluviais infiltradas no solo. Essa água segue para dentro da planta e retorna para atmosfera pelo processo de transpiração. Parte dessa água precipitada também é interceptada pelas folhas das plantas e evapora, voltando para a atmosfera. Áreas onde não são encontradas cobertura vegetal do solo para interceptação da energia cinética das gotas de chuva têm sérios problemas de erosão e perda excessiva de sedimentos e nutrientes (AMABIS e MARTHO, 2006; CALIJURI e CUNHA, 2013).

A água, como um solvente universal, participa de diversos processos do metabolismo animal. Os animais ao ingerirem as águas dos rios e lagos, assim como nos alimentos, também a liberam de volta para a atmosfera por meio da transpiração e pela excreção de

suas fezes. Além disso, parte dessa água ingerida fica incorporada nos tecidos até que eles morram e essa água seja devolvida para o meio ambiente por meio do processo de decomposição.

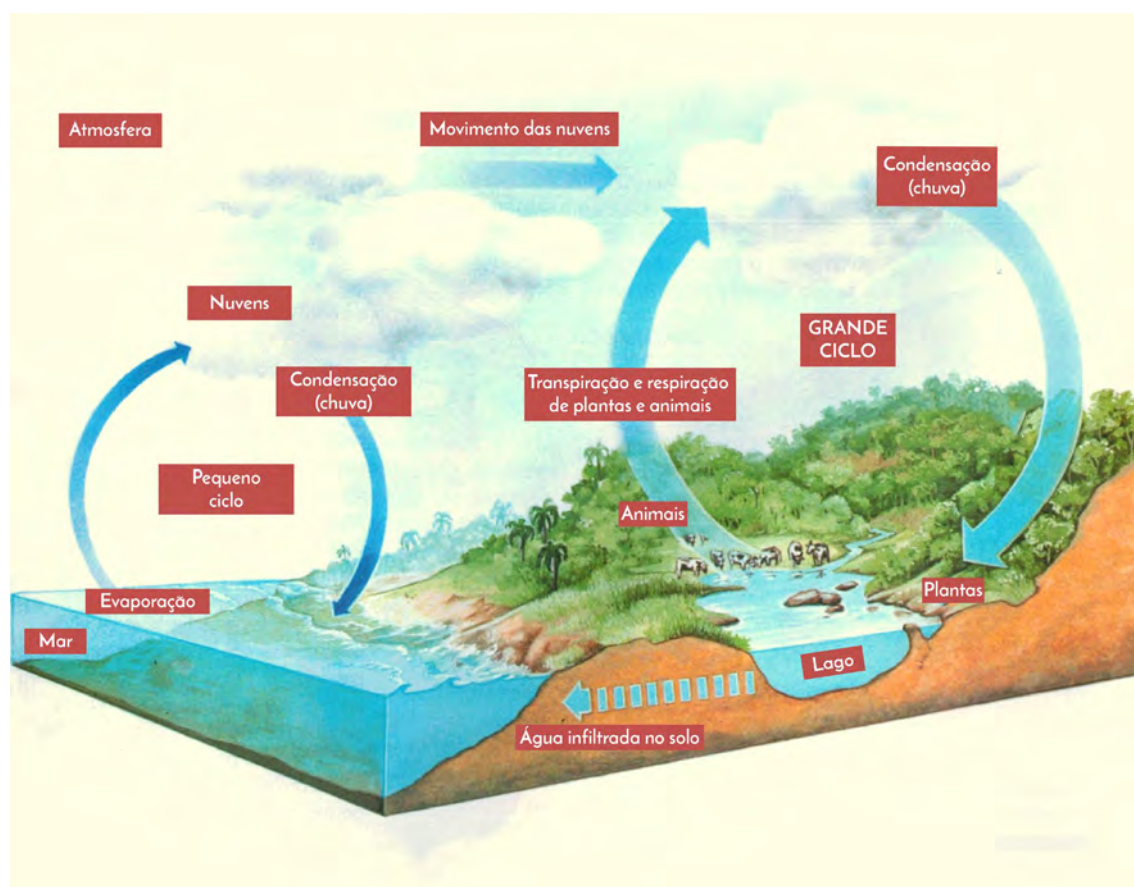


Figura 2.9: Representação esquemática do ciclo da água

Fonte: Amabis e Martho (2006, p. 30).

Caro(a) aluno(a), atente-se para o fato de que o homem vem interferindo de forma significativa no ciclo hidrológico, por meio do desmatamento e da pavimentação do solo, o que impede a infiltração de água e o reabastecimento dos aquíferos, gerando sérios problemas de enchentes e danos físicos nas cidades. Segundo Calijuri e Cunha (2013), as atividades antrópicas alteram os ciclos biogeoquímicos, tornando-os imperfeitos ou acíclicos, uma vez que os recursos são retirados mais rapidamente do meio ambiente, ultrapassando a velocidade de reposição e alterando a sua qualidade.

ATIVIDADE CICLO DA ÁGUA

Sobre o ciclo da água, assinale a alternativa que apresenta seus dois fenômenos básicos:

- a) Precipitação e percolação.
- b) Evaporação e precipitação.
- c) Evaporação e infiltração.
- d) Evaporação e transpiração.
- e) Precipitação e infiltração.

Ciclo do carbono

O ciclo de carbono é tão importante quanto o ciclo hidrológico, uma vez que o carbono é considerado um elemento básico da vida. Apesar de seu ciclo ser considerado pequeno, o seu maior reservatório é a atmosfera, podendo modificar o tempo meteorológico e o clima, principalmente após perturbações geradas pelo homem (ODUM e BARRET, 2007).

Via de regra, o carbono estabelece seu ciclo na passagem de seus átomos que constituem o dióxido de carbono (CO_2) para as moléculas que constituem substâncias orgânicas dos seres vivos (lipídios, proteínas etc.) e vice-versa. Os organismos autotróficos, por exemplo, utilizam o CO_2 como fonte de carbono para realizarem a fotossíntese e produzirem glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). Esses mesmos organismos produtores, bem como os consumidores e decompositores, devolvem parte desses carbonos para a atmosfera pelo processo de respiração, e outra parte fica retida em sua biomassa (AMABIS e MARTHO, 2006; CALIJURI e CUNHA, 2013).

Dessa segunda parte, a que fica retida na biomassa dos produtores, podem existir dois caminhos. O primeiro é ser transferido aos animais que se alimentam dos organismos produtores, os consumidores herbívoros. E o segundo caminho é voltar à atmosfera com a morte dos organismos produtores e a decomposição de sua matéria pelos decompositores (AMABIS e MARTHO, 2006).

De acordo com Calijuri e Cunha (2013), no ambiente aquático o CO₂ atmosférico tem a capacidade de se difundir na água e formar o ácido carbônico (H₂CO₃). Na sequência, ocorre a dissociação em íons H⁺, formando o bicarbonato (HCO₃⁻) e carbonato (CO₃²⁻). A equação a seguir demonstra essa reação, que pode ser reversível, ocorrendo no sentido do componente mais concentrado para o menos concentrado:



A reação anterior indica que quanto maior a concentração de CO₂ na atmosfera, mais ele será absorvido pelos oceanos e maior será a concentração de carbono dissolvido na água.

As principais formas de interferência do homem no ciclo do carbono são verificadas pela queima de matéria orgânica, como exemplo os combustíveis fósseis, pela queima de florestas, atividades industriais e por veículos movidos por motores com explosão (PINTO-COELHO, 2000). Tais interferências contribuem para o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera e alteram o clima.

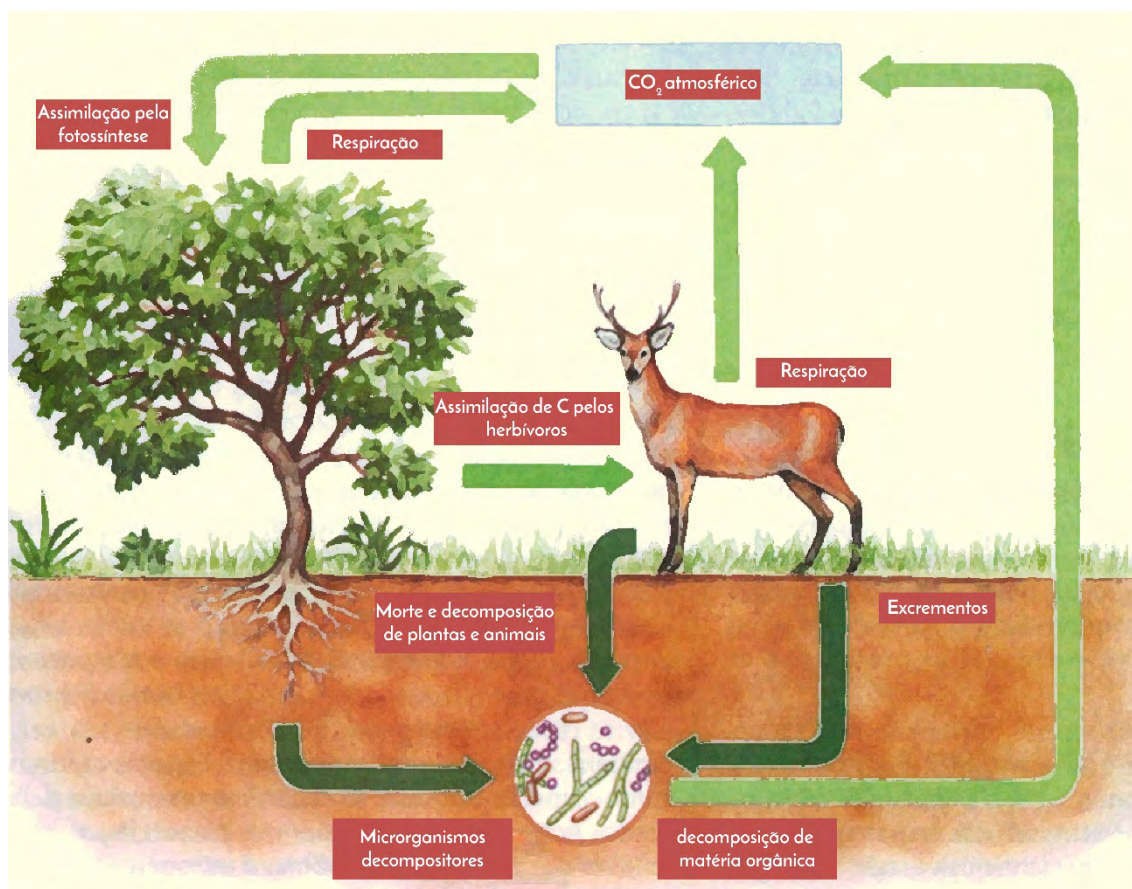


Figura 2.10: Representação esquemática do ciclo do carbono

Fonte: Amabis e Martho (2006, p. 31).

Ciclo do nitrogênio

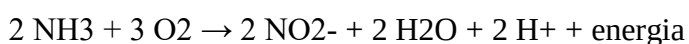
No ciclo do nitrogênio predomina-se a fase atmosférica, em que o gás nitrogênio (N_2) compreende aproximadamente 79% do volume dos gases presentes. Na atmosfera ele encontra-se na forma de N_2 gasoso, porém, na grande maioria dos seres vivos, inclusive os seres humanos, essa forma molecular é tóxica, tornando-se inutilizável (AMABIS e MARTHO, 2006).

Processos como a desnitrificação e a fixação demonstram a importância dos microrganismos no ciclo do nitrogênio, uma vez que estes processos são realizados por eles. Algumas bactérias possuem propriedades capazes de captar o nitrogênio gasoso da atmosfera e convertê-lo para uma forma que pode ser usada por alguns seres vivos. Esses

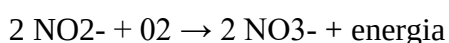
microrganismos estão presentes no solo e nas raízes de plantas leguminosas, denominados como bactérias *Rhizobium*. Elas transformam o N_2 gasoso em amônia (NH_3) para ser usado pelas plantas e reduzir o uso de fertilizantes (CALIJURI e CUNHA, 2013; TOWNSEND et al., 2010).

O material orgânico encontrado no solo possui nitrogênio em seus aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, que, ao serem decompostos, sofrem o processo de amonificação, onde o gás amônia (NH_3) é liberado e facilmente dissolve-se nas águas superficiais, formando o íon amônio (NH_4^+). Embora algumas plantas consigam aproveitar a amônia, o nitrato (NO_3^-) é o composto nitrogenado mais facilmente assimilado por elas (AMABIS e MARTHO, 2006; CALIJURI e CUNHA, 2013).

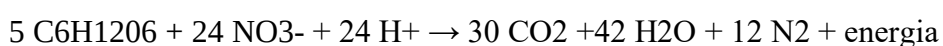
O processo de transformação de NH_3 para NO_3^- é conhecido como nitrificação e ocorre devido a dois grupos de bactérias quimiossintetizantes. O primeiro grupo é do gênero *Nitrossomonas*, responsável pela oxidação da amônia, transformando-a em nitrito (NO_2^-). A energia liberada por essa reação é utilizada pela bactéria em seu organismo e é demonstrada a seguir:



Como o nitrito é tóxico para a utilização das plantas, um segundo gênero de bactérias, *Nitrobacter*, transforma o nitrito em nitrato pela reação que segue e também libera energia para utilização das bactérias:



Por fim, como fechamento do ciclo, o nitrato é transformado em nitrogênio gasoso e devolvido para a atmosfera, por meio do processo chamado de desnitrificação. Essa reação, demonstrada a seguir, ocorre em solos poucos aerados (respiração anaeróbia), e as bactérias responsáveis por essa conversão são desnitrificantes do gênero *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Achromobacter*:



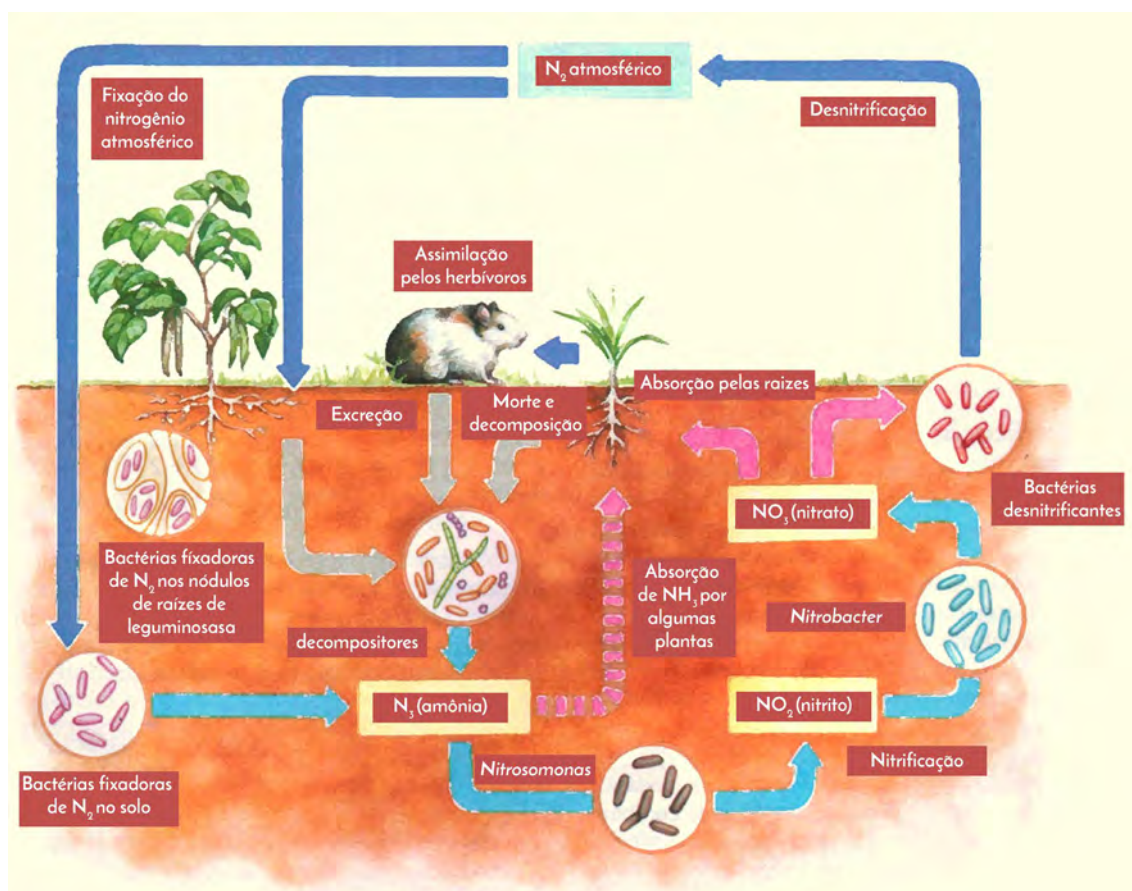


Figura 2.11: Representação esquemática do ciclo do nitrogênio

Fonte: Amabis e Martho (2006, p. 34).

ATIVIDADE CICLO DO NITROGÊNIO

Sabe-se que as plantas podem obter do solo e da água o nitrogênio utilizado pelos organismos, sob a forma de nitrato. Assinale a alternativa que diz respeito à forma como o nitrato é produzido:

- a) Animais em decomposição.
- b) Organismos decompositores.
- c) Plantas em putrefação.
- d) Decomposição das rochas pela ação das intempéries.
- e) Bactérias nitrificantes.

Ciclo do oxigênio

O ciclo do oxigênio também está presente de forma predominante na atmosfera. Trata-se de um ciclo complexo onde átomos de oxigênio (O) são utilizados pelos seres vivos e liberados na forma de dióxido de carbono (CO₂), gás oxigênio (O₂) e água (H₂O).

O processo fotossintético dos organismos autótrofos utiliza o CO₂ atmosférico e seus átomos de oxigênio passam a fazer parte da matéria orgânica das plantas, sendo liberados na forma de gás oxigênio para a atmosfera. Por sua vez os seres vivos respiram esse oxigênio gasoso e, juntamente com o processo de decomposição, devolvem os átomos de oxigênio para a atmosfera na forma de CO₂ e moléculas de água (AMABIS e MARTHO, 2006).

Essas três principais fontes inorgânicas de átomos de oxigênio para os seres vivos (CO₂, O₂ e H₂O), permanecem incessantemente trocando átomos entre si por processos metabólicos.

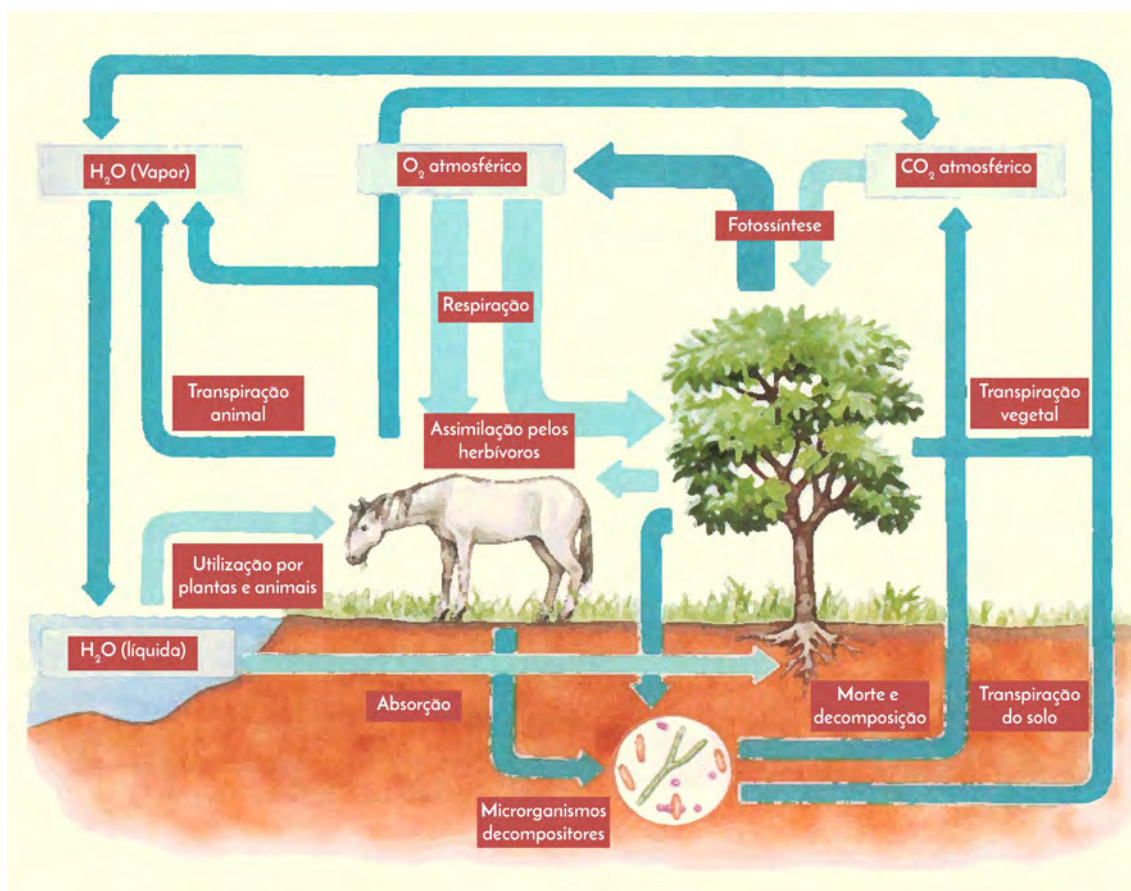


Figura 2.12: Representação esquemática do ciclo do oxigênio

Fonte: Amabis e Martho (2006, p. 35).

Ciclo do fósforo

Os principais reservatórios de fósforo estão presentes nos ambientes aquáticos, rochas e solos, com uma tendência geral do mineral fósforo ser transportado da terra para os oceanos, o que o faz ser classificado como um ciclo sedimentar (TOWNSEND et al., 2010).

O ciclo do fósforo é considerado mais simples que o de carbono e de nitrogênio, uma vez que são poucos os compostos gasosos de fósforo e menor o número de formas químicas existentes, sendo a mais importante para os seres vivos o íon fosfato (PO_4^{3-}) (ODUM e BARRET, 2007; AMABIS e MARTHO, 2006).

O processo de eutrofização, que ocorre nos corpos d'água, é caracterizado pela proliferação desequilibrada de algas que muitas vezes manifesta-se devido a altas concentrações de fósforo. As ciclagens de fósforo nos ecossistemas são afetadas pelas seguintes taxas metabólicas (PINTO-COELHO, 2000):

- a) Absorção de fósforos pelos vegetais.
- b) Consumo de vegetais pelos herbívoros.
- c) Excreção de fósforo pelos heterótrofos mais abundantes.
- d) Remineralização de fósforo pelos microrganismos decompositores.

Nos seres vivos o fósforo está presente principalmente nas moléculas de RNA e DNA, dentes e ossos. Na produtividade primária ele é considerado um fator limitante, pois é encontrado em pequenas quantidades para utilização das plantas, que o absorvem na forma de fosfato dissolvido na água do solo. O fósforo retorna ao solo e à água após a decomposição da matéria orgânica. Assim, podemos dizer que este ciclo do fósforo é curto, chamado de ciclo de tempo ecológico, e está relacionado com produtores, consumidores e decompositores da cadeia alimentar (AMABIS e MARTHO, 2006; CALIJURI e CUNHA, 2013).

Porém, existe um ciclo muito mais longo do fósforo, conhecido como ciclo de tempo geológico. Após a decomposição da matéria orgânica, o fósforo que retorna ao solo é levado pela chuva até os rios e oceanos e se incorpora nas rochas. Com o passar de muitos anos, devido aos fatores de intemperismo e formação do solo, é liberado na forma de fosfato, iniciando novamente seu ciclo (AMABIS e MARTHO, 2006; CALIJURI e CUNHA, 2013).

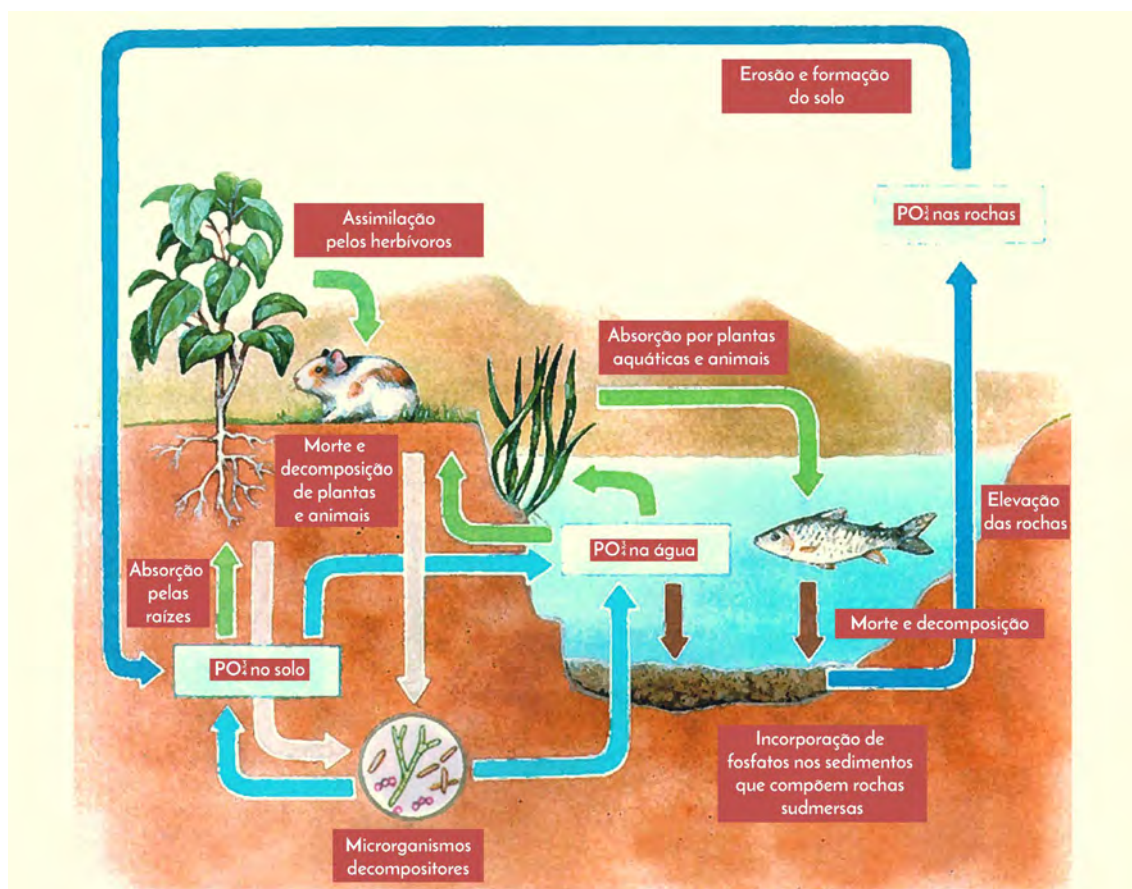


Figura 2.13: Representação esquemática do ciclo do fósforo

Fonte: Amabis e Martho (2006, p. 36).

Ciclo do enxofre

Os principais reservatórios de enxofre são o subsolo, rochas e minerais, e seu ciclo é uma das peças-chave nos padrões gerais de produção e decomposição. Algumas vezes é possível que o ciclo de um elemento influencie a ciclagem de outro. A exemplo disso podemos citar a formação de sulfetos de ferro nos sedimentos, convertendo o fósforo de seu modo insolúvel para solúvel, como descrito na equação a seguir (ODUM e BARRET, 2007; PINTO-COELHO, 2000):



São três os processos biogeoquímicos que liberam enxofre para a atmosfera: atividades vulcânicas (menor importância); formação de aerossóis de borrifos do mar; e respiração anaeróbia das bactérias redutoras de sulfato. Essas bactérias liberam compostos reduzidos de enxofre como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), porém, assim como o nitrato e o fosfato, é o sulfato (SO_4) a principal forma disponível e utilizada pelos seres autótrofos, e ele, assim como o dióxido de enxofre (SO_2), é formado na atmosfera por uma reação que oxida o enxofre do H_2S , e retorna para a terra na forma de gotículas de ácido sulfúrico (H_2SO_4), conhecido também como chuva ácida (ODUM e BARRET, 2007; TOWNSEND et al., 2010).

O sulfato utilizado pelos produtores é reduzido à sua forma orgânica e, após serem excretados pelos animais ou sofrerem decomposição de suas partes mortais assim como das partes mortais dos vegetais, é oxidado para sulfito (SO_3^{2-}) e para sulfato (SO_4^{2-}) novamente, como demonstrado nas equações que seguem (CALIJURI e CUNHA, 2013):

$SO_4^{2-} \rightarrow S \text{ orgânico}$

$S \text{ orgânico} \rightarrow SO_3^{2-} \rightarrow SO_4^{2-}$

Caro(a) aluno(a), perceba que a ação antrópica também interfere no ciclo do enxofre, por meio de grandes quantidades de dióxido de enxofre que são liberados nos processos de queima de carvão e de óleo de combustível. O dióxido de enxofre é prejudicial à saúde dos seres vivos e, além disso, pode provocar, como citado anteriormente, a chamada “chuva ácida”, bem como o smog industrial.

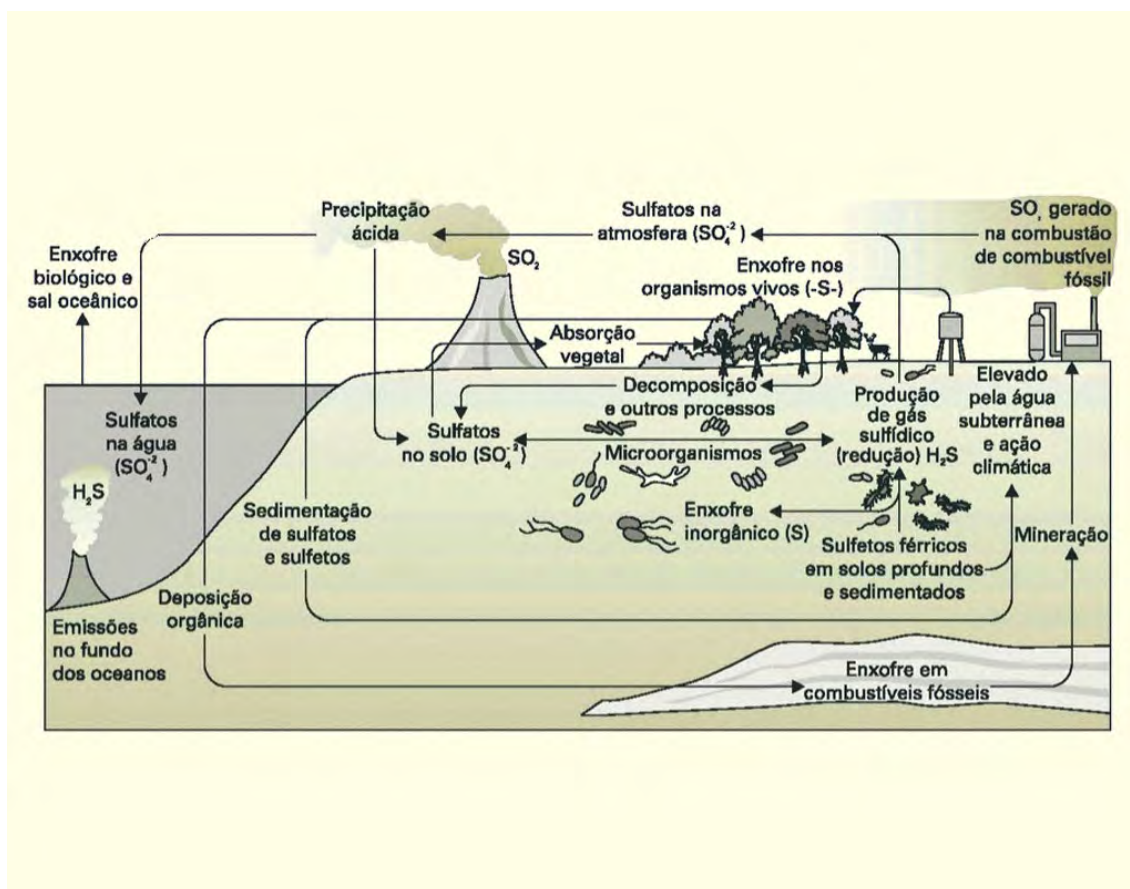


Figura 2.14: Representação esquemática do ciclo do enxofre

Fonte: Braga et al. (2005, p. 33).

Outros ciclos biogeoquímicos

Caro(a) aluno(a), além dos elementos comuns envolvidos nos ciclos biogeoquímicos que estudamos, alguns elementos raros também são ecologicamente importantes. Sadava et al. (2009) destacam alguns deles:

- Ferro (Fe): nutriente necessário para a fotossíntese. Este elemento está disponível na terra, de onde é transportado para as águas costeiras pelos rios e para o oceano aberto pela poeira atmosférica;
- Iodo (I): o oceano é o principal reservatório de iodo. É fornecido para a terra principalmente pelas algas marinhas que o liberam para o ar. O iodo é um componente essencial do hormônio tiroxina;
- Cobalto (Co): componente essencial da vitamina B12 e necessário para a síntese de proteínas;
- Selênio (Se): componente de enzimas importantes, como a antioxidante glutatona peroxidase, que protege os tecidos dos danos da oxidação.

Perceba que iodo, cobalto e selênio são importantes aos seres vivos, pois regulam a produção e o funcionamento de agentes metabólicos, incluindo hormônios, vitaminas e enzimas que contêm zinco e cobre (SADAVA et al., 2009).

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Fundamentos em Ecologia

Editora: Artmed

Autor: Colin R. Townsend, Michael Begon e John L. Harper

ISBN: 9788536321684

Comentário: O livro reúne os fundamentos de ecologia, sendo dividido em quatro partes: a primeira trata da introdução sobre a ecologia; a segunda parte trata das condições e recursos; a terceira parte trata dos indivíduos, populações, comunidades e ecossistemas; e, por fim, a quarta parte trata de temas aplicados em ecologia, como a sustentabilidade, degradação de habitats e conservação.

Nome do livro: Ecologia de sistemas

Editora: Intersaberes

Autor: Rodrigo Santiago Godefroid

ISBN: 9788559722208

Comentário: O livro apresenta a evolução do conceito de ecossistemas e por que eles são importantes para a manutenção da vida na Terra, bem como discute como é o funcionamento dos ecossistemas, quais são seus principais componentes e o que nós podemos fazer para manter sua estabilidade e diversidade.

UNIDADE III

Ecologia de Populações

Me. Rebecca Manesco Paixão

Introdução

O termo população refere-se a qualquer grupo de indivíduos da mesma espécie que ocupam um determinado espaço e que funcionam como parte da comunidade biótica. Cada população evolui e se adapta ao meio de formas diferentes. Assim, as populações surgem, crescem e se estabilizam, havendo ainda aquelas que declinam e se extinguem.

No estudo das populações, veremos que elas estão em contínua mudança com o passar do tempo, devido a propriedades como natalidade, mortalidade e movimentos de indivíduos (emigração e imigração), bem como distribuição etária, dispersão e formas de crescimento.

Além dessas propriedades, também veremos que existem alguns fatores que podem alterar o número de indivíduos em uma população, como o suprimento de alimento, a taxa de predação, a disponibilidade de lugar para ninho etc.



Fonte: MANFRED THÜRIG, 123RF.

Propriedades da população

Já estudamos que a população diz respeito ao grupo de indivíduos da mesma espécie, que ocupam um determinado espaço. Atente-se que, em qualquer momento do tempo, um ser vivo ocupa apenas um local do espaço e tem um determinado tamanho e idade. Já os membros da população distribuem-se no espaço e diferem em tamanho e idade (SADAVA et al., 2009).

De acordo com Odum e Barrett (2007), uma população tem propriedades únicas do grupo, como densidade, natalidade (taxa de nascimento), mortalidade (taxa de morte), distribuição etária, potencial biótico, dispersão e formas de crescimento r e k selecionadas. Além disso, as populações possuem características genéticas que estão relacionadas a suas ecologias. Em outras palavras: capacidade de adaptação, sucesso reprodutivo e persistência.

Densidade

A densidade populacional refere-se ao tamanho de uma população em relação a unidade do espaço que ocupa. A densidade pode ser expressa como o número de indivíduos por área ou também expressa como a biomassa da população por área ou volume. Exemplos: 50 leões por hectare, um milhão de algas por metro cúbico de água etc.

Caro(a) aluno(a), atente-se que o número de indivíduos de uma população pode variar de acordo com alguns fatores ecológicos, entre eles: suprimentos alimentares, taxas de predação e disponibilidade de sítios de aninhamento.

Odum e Barret (2007) diferenciam a densidade em densidade bruta (número ou biomassa, por unidade do espaço total) e densidade ecológica (número ou biomassa, por unidade do espaço do habitat, ou seja, área ou volume disponível que pode ser colonizado pela população).

Já no contexto da densidade populacional humana, denominada de densidade demográfica, esta é calculada com base em levantamentos periódicos (censos demográficos). À título ilustrativo, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

(IBGE) realiza censos, e a estimativa para o ano de 2017 no Brasil foi de 207.660.929 de pessoas distribuídas pelos 8,5 milhões de quilômetros quadrados de superfície do território nacional. Dessa forma, a densidade demográfica no Brasil em 2017 foi de aproximadamente 24,43 hab.km². No entanto, ressalta-se que a densidade demográfica apresenta aspectos gerais da população brasileira, visto que existem áreas mais densamente povoadas, como as cidades grandes, e outras menos habitadas, como a floresta amazônica.

Métodos para estimar a densidade populacional

Caro(a) aluno(a), para determinar o tamanho de uma população deve-se contar todos os indivíduos, e isso só é possível para espécies pouco numerosas, de grande tamanho corporal e isoladas. No entanto, para a maioria das espécies existentes isso é quase impossível, de modo que os ecólogos determinaram alguns métodos para estimar o tamanho da população.

O índice de Lincoln é um método utilizado para estimar a densidade da população total (número de organismos de uma espécie) em uma determinada área. O método baseia-se na captura e marcação de parte da população total e no uso dessa fração para a estimativa da densidade da população total.

Utiliza-se a equação abaixo para a estimativa da população total:

$$\begin{aligned} & \frac{\text{Estimativa da população } (x)}{\text{Número de animais capturados e marcados na amostra S1 no tempo } t1} \\ &= \frac{\text{Número de animais capturados na amostra S1 no tempo } t2}{\text{Número de animais marcados encontrados na amostra S2 no tempo } t2} \end{aligned}$$

Segundo Odum e Barrett (2007), a validade desse método depende de algumas suposições. São elas:

- Que a técnica de marcação não tenha efeito negativo na mortalidade dos indivíduos marcados;
- Que os indivíduos marcados sejam liberados no local onde foram capturados, e que possam se misturar com a população;

- Que a técnica de marcação não afete a probabilidade de serem recapturados;
- Que as marcas não possam ser perdidas e nem passem despercebidas;
- Que não haja imigração ou emigração dos indivíduos marcados ou não marcados nos intervalos entre t_1 e t_2 ;
- Que não haja natalidade ou mortalidade significativa no intervalo entre t_1 e t_2 .

Além desse método, pode-se citar outros como (ODUM e BARRETT, 2007):

1. **Número mínimo de indivíduos:** método de marcação e recaptura utilizado para estimativa da densidade populacional em um período de tempo prolongado;
2. **Contagens totais:** método de contagem de todos os organismos da população. É possível realizar com organismos grandes, como bisões e baleias, ou com organismos que se agregam em grandes colônias de reprodução;
3. **Amostragem em quadrat ou transecção:** método contagem de organismos de uma espécie em lote ou transecções de um tamanho e números apropriados para estimativa de densidade na área amostrada;
4. **Amostragem por remoção:** método que lança no eixo y de um gráfico o número de organismos removidos de uma área em amostras sucessivas, e no eixo x é lançado o número total previamente removido. Se a probabilidade de captura permanecer constante, os pontos recairão em uma reta que poderá ser estendida para um ponto no eixo x;
5. **Método baseado em distância:** método aplicável a organismos sésseis como as árvores. É baseado em pontos aleatórios, em que a distância do indivíduo mais próximo é a medida em cada um dos quatro quadrantes em cada ponto ao longo da série de pontos aleatórios. A densidade por unidade de área pode ser estimada pela distância média;
6. **Porcentagem de valor de importância:** método que representa a soma da densidade relativa, dominância relativa e frequência relativa das espécies de uma comunidade, em que a densidade relativa é igual à densidade de uma espécie dividida pela densidade total de todas as espécies x 100. A dominância relativa é igual à área basal de uma espécie dividida pela área basal total de todas as espécies x 100. A frequência relativa é a frequência de uma espécie em um lote dividida pela frequência total de todas as espécies x 100.

FIQUE POR DENTRO

Não existe um tipo único de marcação de espécies. As aves são marcadas com anéis coloridos nas pernas; as borboletas através de manchas coloridas nas asas; as abelhas por identificação numerada no corpo; os mamíferos através de etiquetas ou tingimentos no pêlo; as plantas através de etiquetas amarradas nos galhos etc. (SADAVA et al., 2009).

Natalidade

A natalidade representa a capacidade de uma população crescer por meio da reprodução. O termo cobre a produção de novos indivíduos de qualquer organismo por unidade de tempo, tenha esse indivíduo nascido, sido chocado, germinado ou surgido por divisão.

A natalidade máxima diz respeito à produção máxima teórica de novos indivíduos sob condições ideais (sem fatores limitantes) e é uma constante em uma dada população. Já a natalidade ecológica refere-se ao crescimento populacional sob uma condição ambiental de campo específica ou real, e que pode variar com a composição do tamanho e da idade da população e com as condições físicas e ambientais (ODUM e BARRETT, 2007).

A taxa de natalidade absoluta é expressa como a taxa determinada pela divisão do número de novos indivíduos produzidos pela unidade específica de tempo. Já a taxa de natalidade específica é expressa dividindo-se o número de novos indivíduos por unidade de tempo por uma unidade de população.

Exemplificando a taxa de natalidade absoluta e específica, considere que uma população de 20 protozoários aumente por divisão para 60 protozoários em uma hora. A natalidade bruta é 40 por hora, enquanto que a natalidade específica é 2 por hora por indivíduo (dos 20 originais).

Para a espécie humana, a taxa de natalidade é expressa como o número de crianças nascidas no período de um ano para cada 1.000 habitantes da população (AMABIS e MARTHO, 2006).

Caro(a) aluno(a), no contexto da natalidade é importante diferenciar dois termos: fertilidade e fecundidade. A fertilidade refere-se ao potencial fisiológico de reprodução

de uma dada população e a fecundidade representa o número de nascimentos por fêmea. No caso da população humana, esta apresenta fecundidade igual a 1 nascimento/11 meses.fêmea (ou seja, 1 nascimento a cada 11 meses por fêmea em idade reprodutiva) e uma fertilidade média de 1 nascimento/8 anos.fêmea (ou seja, 1 nascimento a cada 8 anos por fêmea em idade reprodutiva (PINTO-COELHO, 2000).

Mortalidade

A mortalidade representa a quantificação de mortes dos indivíduos da população. Assim como a natalidade, a mortalidade pode ser expressa pelo número de indivíduos que morrem em um determinado período de tempo

A mortalidade mínima representa a perda mínima sob condições ideais ou não limitantes. Já a mortalidade ecológica diz respeito à perda de indivíduos sob uma determinada condição ambiental. Sabe-se que, mesmo sob as melhores condições, os indivíduos morreriam de velhice, determinada pela longevidade fisiológica, que é muitas vezes maior que a longevidade ecológica média. Além disso, Odum e Barret (2007) destacam que a taxa de sobrevivência costuma ser de maior interesse do que a taxa de morte, e, neste sentido, se a taxa de morte for expressa como uma fração, M , então a taxa de sobrevivência será $1-M$.

Para a espécie humana, a taxa de mortalidade é expressa pelo número de mortes ocorridas no período de um ano para cada 1.000 habitantes da população (AMABIS e MARTHO, 2006).

Migração

Caro(a) aluno(a), no contexto da natalidade e mortalidade, a migração que representa a entrada e saída periódica dos indivíduos pode complementar ambas.

A emigração representa a saída dos indivíduos, afetando a forma de crescimento da mesma forma que a mortalidade. Já a imigração representa a entrada de indivíduos, agindo da mesma forma que a natalidade.

Neste sentido, caro(a) aluno(a), por meio dos conceitos de natalidade (B), mortalidade (M), imigração (I) e emigração (E), que estudamos até agora, é possível estimar se a população está aumentando, diminuindo ou se está em equilíbrio. Observe:

$N+I=M+E \rightarrow$ população em equilíbrio

$N+I>M+E \rightarrow$ população aumenta

$N+I<M+E \rightarrow$ população diminui

A Figura 3.1a seguir ilustra essa influência no contexto do crescimento populacional.

FIQUE POR DENTRO

A emigração e imigração, assim como natalidade e mortalidade, são considerados determinantes populacionais, visto que determinam a variação do número de indivíduos de qualquer população.

Fonte: A autora.

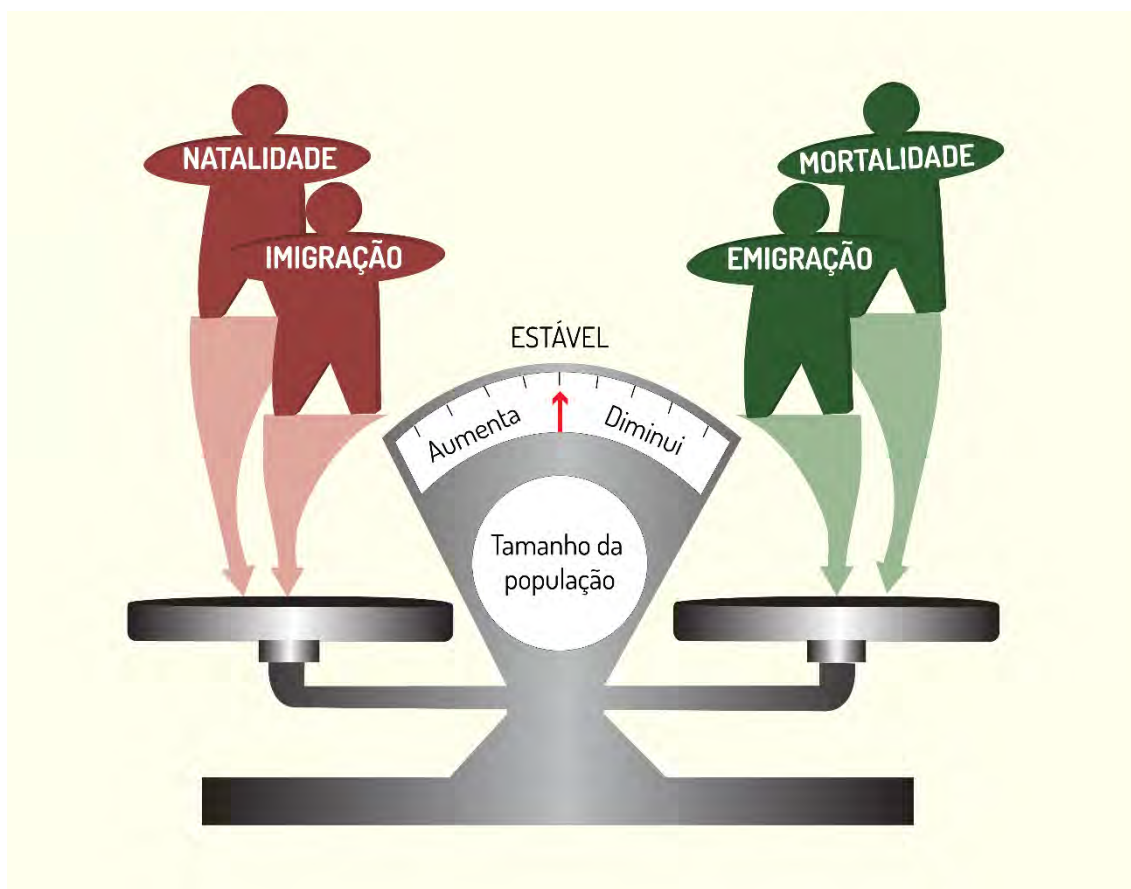


Figura 3.1: O crescimento de uma população resulta da interação de quatro fatores: natalidade, mortalidade, imigração e emigração

Fonte: Amabis e Martho (2006, p. 48).

ATIVIDADE NATALIDADE, MORTALIDADE E MIGRAÇÃO

No contexto do crescimento populacional, assinale a alternativa que diz respeito a fatores que contribuem para aumento da densidade populacional:

- a) Natalidade e imigração.
- b) Natalidade e emigração.
- c) Mortalidade e imigração.
- d) Mortalidade e emigração.
- e) Natalidade e mortalidade.

Estimativa do tamanho populacional

Caro(a) aluno(a), agora que você já conhece os significados de densidade populacional, natalidade, mortalidade e migração é importante que tenha conhecimento de que é possível realizar estimativas do tamanho populacional em um momento futuro (N_{t+1}) a partir do tamanho populacional presente (N_t) bem como dos valores de nascimentos, óbitos, imigrações e emigrações.

Para essa estimativa, utiliza-se a seguinte equação:

$$N_{t+1} = N_t + B - M + I - E$$

Em que:

N_{t+1} = número de indivíduos no futuro (t+1)

N_t = número de indivíduos no tempo presente (t)

B = número de nascimentos

M = número de óbitos

I = número de indivíduos que imigram para a população

E = número de indivíduos que emigram da população

Distribuição etária da população

Caro(a) aluno(a), vimos que a distribuição da população influencia tanto a natalidade quanto a mortalidade e que a razão entre os vários grupos etários em uma população determina seu estado reprodutivo, bem como o que se esperar no futuro.

Odum e Barrett (2007) explicam que, geralmente: uma população que se expande rapidamente contará com uma grande proporção de indivíduos jovens; uma população pulsante, estável, terá uma distribuição mais uniforme das classes etárias; e, por fim, uma população em declínio terá uma grande proporção de indivíduos velhos. Dessa forma, resumidamente, pode-se dizer que existem três tipos de pirâmides: em expansão, estável e em declínio.

Observe a Figura 3.2 a seguir que ilustra essas diferentes situações de distribuição etária no Brasil:

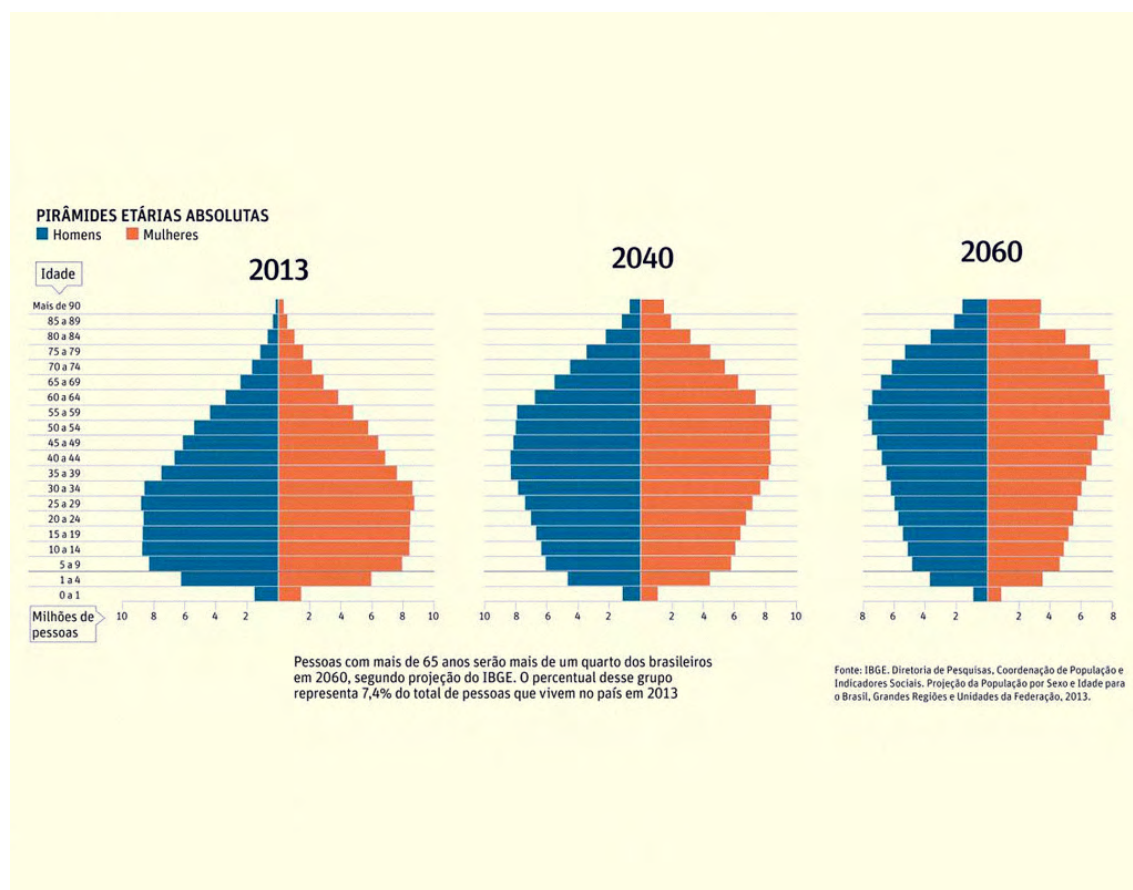


Figura 3.2: Pirâmides etárias brasileiras

Fonte: CIDADANIA E CULTURA, 2010, on-line.

Segundo Peroni e Hernández (2011), a estrutura etária pode ser expressa com base em três idades ecológicas: pré-reprodutiva, reprodutiva e pós-reprodutiva, de modo que a duração relativa dessas idades em proporção ao tempo de vida varia com os organismos e influencia as taxas de natalidade e mortalidade na população. No caso dos seres humanos, as três idades são relativamente iguais em comprimento, com cerca de um terço de uma vida humana caindo em cada classe.

Caro(a) aluno(a), observe que não é simples estimar a idade dos diferentes organismos. No geral, para essa tarefa é possível contar os anéis de crescimento dos indivíduos. Para

plantas, como ilustra a Figura 3.3 a seguir, contamos os anéis ou as cicatrizes. Já para os animais, pode-se contar os anéis de crescimento presentes em chifres (para cabras e carneiros), nos otólitos (para peixes) ou sobre a carapaça de tartarugas, as linhas de interrupção de crescimento de escamas de peixes e os pesos dos dentes de elefantes.



Figura 3.3: Anéis de crescimento de uma árvore

Fonte: VOLODYMYR NIKULIN, 123RF.

Tabelas de vida no estudo de estruturas etárias

As tabelas de vida são uma descrição da forma como as taxas de mortalidade atuam sobre uma determinada população. Por meio delas, é possível calcular as probabilidades de sobrevivência dos indivíduos em uma determinada idade.

Neste estudo discutiremos sobre dois tipos de tabela de vida: a tabela de vida de coorte fixa e a tabela de vida estática. Segundo Begon et al. (2010), na primeira, uma única coorte de vida de indivíduos (ou seja, um grupo de indivíduos que nascem dentro de um mesmo intervalo de tempo) é acompanhada do nascimento até a morte do último

sobrevivente. Esse tipo de tabela pode ser aplicada a espécies que completam seu ciclo anualmente, como as da família *Poaceae*.

Já na tabela estática acompanha-se ao longo do tempo todos os indivíduos que nascem e morrem em uma determinada população, de modo que é necessário definir claramente a idade de cada um deles (PERONI e HERNÁNDEZ, 2011).

A Tabela 3.1 seguir ilustra um exemplo de tabela de vida de coorte para uma espécie fictícia de planta. Observe:

Tabela 3.1: Tabela de vida de uma espécie de planta fictícia

Idade (em períod os de dois meses)	Nº de sobrevi ventes em cada bimest re	Proporç ão da coorte original sobreviv ente em cada bimestre	Nº de morto s entre x e x+1	Propor ção de mortal idade em cada bimest re	Nº médio de sement es produz idas por idade	Nº médio de sement es produzi das por indivíd uo	Taxa de reprodução líquida
x	a_x	I_x	d_x	q_x	B_x	m_x	R_o $= \sum I_x x m_x$
0	800	1	250	0,313	0	0	0
1	550	0,688	175	0,318	300	0,545	0,375
2	375	0,469	204	0,544	480	1,280	0,600
3	171	0,214	107	0,626	300	1,754	0,375

4	64	0,080	46	0,719	30	0,469	0,038
5	18	0,023	18	1	10	0,556	0,013
6	0	0	-	-	-	-	$R_o = 1,400$

Fonte: Peroni e Hernández (2011, p. 50).

De acordo com a Tabela 3.1, a coluna “ x ” fornece a idade dos indivíduos, desde o nascimento até a morte. As colunas a_x e B_x , segundo Peroni e Hernández (2011), contêm dados coletados em campo, de forma que as demais derivam da coluna a_x .

A coluna a_x resume os dados coletados por meio do mapeamento das posições de 800 plantas germinadas de sementes disseminadas em uma determinada área. A partir dessa coluna, os valores “ I_x ” são calculados com base no número de plantas que sobrevivem até o intervalo x , por meio da fórmula $I_x = a_x/a_o$. Assim, podemos definir “ I_x ” como o perfil de sobrevivência, ou a proporção da coorte original sobrevivente no intervalo de vida considerado.

O cálculo de “ d_x ” é feito por meio da diferença entre a_x e a_{x+1} . Assim, podemos definir “ d_x ” como o número de indivíduos que morrem entre um intervalo e outro de tempo.

A porcentagem de mortalidade para cada idade específica, “ q_x ”, é calculada por meio da fórmula $q_x = a_x - a_{x+1}/a_x$.

A coluna “ B_x ” indica a fecundidade para cada idade específica, que no exemplo da Tabela 3.1 indica o número médio de sementes por idade individual.

A coluna “ m_x ” representa a taxa de nascimento, sendo definida como a fertilidade individual ou número médio de prole produzida por indivíduo. Calcula-se por meio da fórmula $m_x = B_x/a_x$.

Segundo Peroni e Hernández (2011), o parâmetro m_x é importante para se analisar o crescimento ou não de uma população. Do somatório da multiplicação de $I_x m_x$ ($\sum I_x m_x$) obtém-se o valor de R_o (taxa de reprodução líquida). Assim, sabendo-

se a taxa de sobrevivência das classes etárias (I_x) e as proporções de quantos indivíduos nascem em média por indivíduo (m_x), é possível estimar uma taxa que expressa a reprodução dessa população ao longo do tempo.

Quando sabemos os valores de R_o , pode-se analisar se a população está crescendo ou diminuindo. Com $R_o > 1$ há aumento por geração de população; com $R_o = 1$ há uma tendência de estabilidade, ou seja, cada indivíduo morto é repostado por apenas um na próxima geração; e para $R_o < 1$ há tendência de redução ou declínio da população, uma vez que as taxas de fertilidade combinadas às taxas de sobrevivência não são capazes de fazer com que a população cresça e nem se mantenha com o mesmo número de indivíduos. No exemplo ilustrado pela Tabela 3.1, o valor de $R_o = 1,4$, ou seja, cada indivíduo produz em média 1,4 indivíduos ao longo de uma geração.

Já a Tabela 3.2 a seguir ilustra uma tabela de vida estática fictícia. A idade é determinada pelo peso e coloração da pelagem. Os valores de sobrevivência (I_x) e mortalidade (d_x e q_x) são facilmente calculados. Caso a fecundidade (B_x) seja conhecida, também é possível o cálculo da fertilidade individual (m_x) e a taxa de reprodução líquida (R_o).

Tabela 3.2: Tabela de vida de uma espécie fictícia de roedor

Idade (anos)	Nº de vivos em cada idade	Sobrevivência de idade em relação a a_o	Nº de mortos em cada idade	Proporção da mortalidade em cada idade
x	a_x	I_x	d_x	q_x
1	412	1	37	0,090
2	375	0,910	48	0,128
3	327	0,794	79	0,242

4	248	0,602	92	0,371
5	156	0,379	88	0,564
6	68	0,165	64	0,941
7	4	0,010	1	0,250
8	3	0,007	2	1

Fonte: Peroni e Hernández (2011, p. 53).

Segundo Peroni e Hernández (2011), a tabela de vida estática pode ser vista como uma “foto instantânea da população”, em que os dados são similares aos de uma tabela de vida de coorte: uma série de diferentes números de indivíduos em diferentes classes etárias. No entanto, caro(a) aluno(a), na utilização desse modelo há uma restrição: deve-se assumir que os padrões de mortalidade (ou sobrevivência) e natalidade específicos por idade permanecem constantes entre o nascimento dos indivíduos mais velhos e os dois mais novos, o que raramente acontece.

Padrões de sobrevivência

Segundo Peroni e Hernández (2011), por meio de parâmetros das tabelas de vida é possível produzir gráficos de curvas de sobrevivência. Para isso, utiliza-se a coluna dos valores da taxa de sobrevivência das classes etárias (l_x) no eixo y, em uma escala logarítmica, e as classes etárias no eixo x.

Um conjunto útil de curvas de sobrevivência foi desenvolvido por Pearl em 1928, generalizando que poderia haver três tipos básicos, nos quais os riscos de mortalidade, de acordo com a idade, poderiam estar distribuídos entre os mais diferentes organismos (BEGON et al., 2007). Observe a Figura 4:.

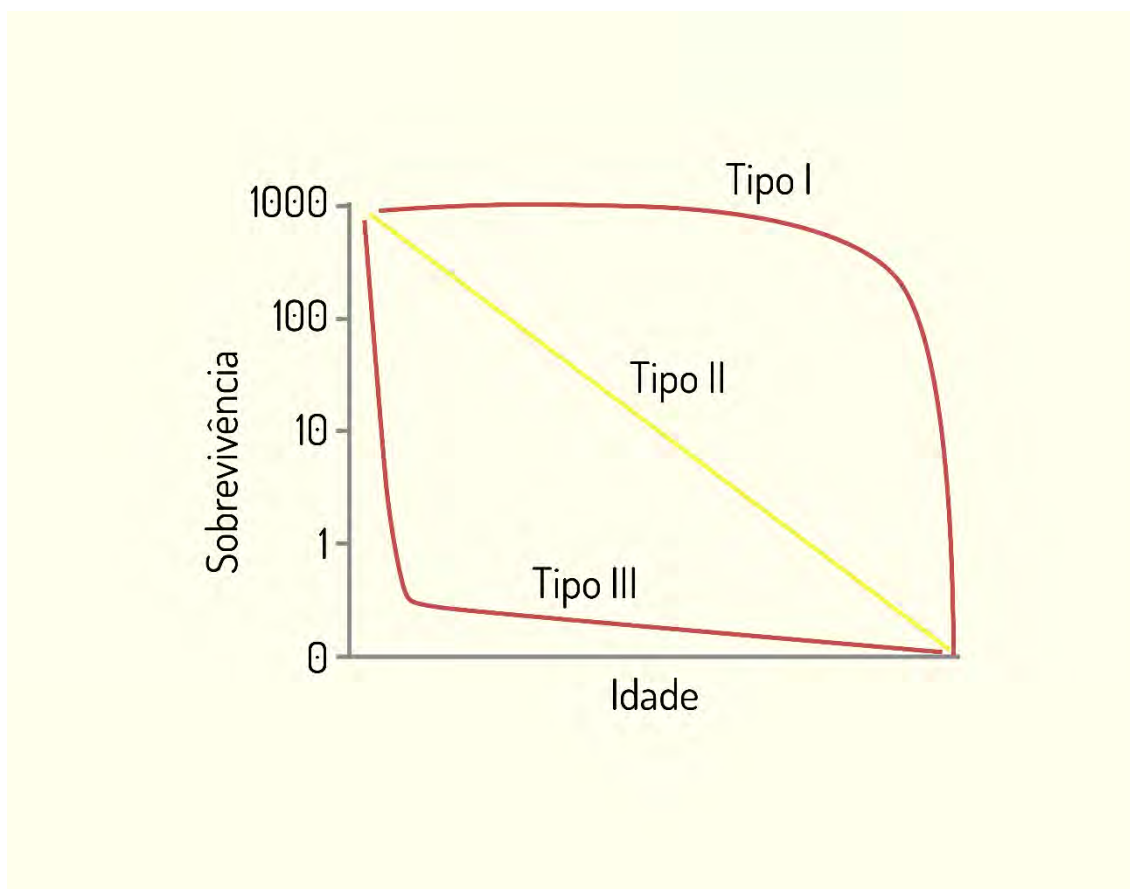


Figura 3.4: Modelos de curvas de sobrevivência, representando a distribuição das curvas do Tipo I, II e III

Fonte: Peroni e Hernández (2011, p. 54).

A **curva do tipo I** descreve situações na qual a mortalidade é concentrada no final da vida. A proporção de sobreviventes é constante durante quase todas as etapas do ciclo de vida. Esse tipo de sobrevivência pode ser observado nas populações humanas de países desenvolvidos e de mamíferos bem cuidados em zoológico e em casa, que investem em cuidados parentais, de modo a assegurar alta sobrevivência para as classes etárias jovens.

Na **curva do tipo II** a taxa de mortalidade é constante com a idade, conduzindo a uma curva de sobrevivência que se aproxima de uma reta diagonal, com um declínio linear. Esse exemplo pode ser aplicado a sementes de plantas enterradas no solo, de forma que a viabilidade das sementes vai caindo de maneira constante.

Por fim, na **curva do tipo III** há uma alta mortalidade no início, de modo que a sobrevivência é baixa para as classes etárias jovens e alta para indivíduos mais velhos. Este exemplo aplica-se a insetos, peixes invertebrados e plantas perenes, os quais podem produzir centenas de ovos, larvas ou sementes, cuja maioria acaba por morrer.

Caro(a) aluno(a), ressaltamos que determinadas espécies podem apresentar mais de uma curva, como espécies de gramíneas que apresentam a curva de sobrevivência do tipo III no estágio de plântulas, e estas, quando se desenvolvem e se transformam em plantas adultas, passam a apresentar a curva do tipo II (PERONI e HERNÁNDEZ, 2011).

ATIVIDADE PADRÕES DE SOBREVIVÊNCIA

Nós vimos que existem três tipos de curvas de sobrevivência que representam o número de sobreviventes num determinado período de tempo. Sobre as curvas de sobrevivência, assinale a alternativa correta:

- a) Na curva de sobrevivência do tipo I a taxa de mortalidade é representada por uma curva de sobrevivência que se aproxima de uma reta diagonal.
- b) Na curva do tipo III a mortalidade é concentrada no final da vida.
- c) Na curva do tipo I há uma elevada mortalidade durante os primeiros tempos de vida.
- d) A curva do tipo III aplica-se aos peixes que podem produzir centenas de ovos, dos quais a maioria acaba por morrer.
- e) A curva do tipo II aplica-se aos mamíferos que investem em cuidados parentais.

Conceitos de taxa

Caro(a) aluno(a), a população está sempre em mudança, assim como a densidade, natalidade, sobrevivência, taxa de crescimento, estrutura etária etc., uma vez que as espécies se ajustam constantemente às estações, às forças e umas às outras.

A dinâmica de populações diz respeito ao estudo das mudanças no número relativo de organismos em populações e dos fatores que explicam essas mudanças (ODUM e BARRETT, 2007). Assim, os ecólogos interessam-se mais em como e a qual taxa a população está mudando do que em seu tamanho absoluto e composição.

No estudo das populações, é importante compreendermos alguns conceitos básicos de taxa. O termo taxa diz respeito à divisão da mudança em alguma quantidade pelo período de tempo que se passou durante essa mudança.

A mudança em alguma quantidade é abreviada usando-se o símbolo Δ (delta) na frente da letra que representa a entidade em mudança. Assim, se N representa o número de organismos e t representa o tempo, temos que (ODUM e BARRETT, 2007):

ΔN = mudança no número de organismos.

$\frac{\Delta N}{\Delta t}$ = taxa média de mudança no número de organismos por tempo, ou seja, **taxa de crescimento da população**.

$\frac{\Delta N}{N \Delta t}$ = taxa média de mudança do número de organismos por tempo por organismo, ou seja, **taxa de crescimento específico**.

Além da **taxa média**, também podemos estar interessados na **taxa instantânea teórica** em intervalos de tempo particulares, ou seja, quanto a taxa de mudança Δt se aproxima de zero. Em cálculo, a letra d (de derivada) substitui o Δ quando se consideram as taxas instantâneas. Nesse caso, as notações anteriores tornam-se:

$\frac{dN}{dt}$ = taxa de mudança no número de organismos por tempo em um determinado instante.

$\frac{dN}{N dt}$ = taxa de mudança no número de organismos por tempo por indivíduo em um determinado instante.

A Figura 3.5 a seguir ilustra a diferença entre uma curva de crescimento e uma curva de taxa de crescimento. Observe que a curva A mostra a densidade populacional (número de indivíduos por unidade de área) contra o tempo e a curva B demonstra a taxa de mudança (número de indivíduos adicionados por unidade de tempo) contra o tempo para a mesma população:

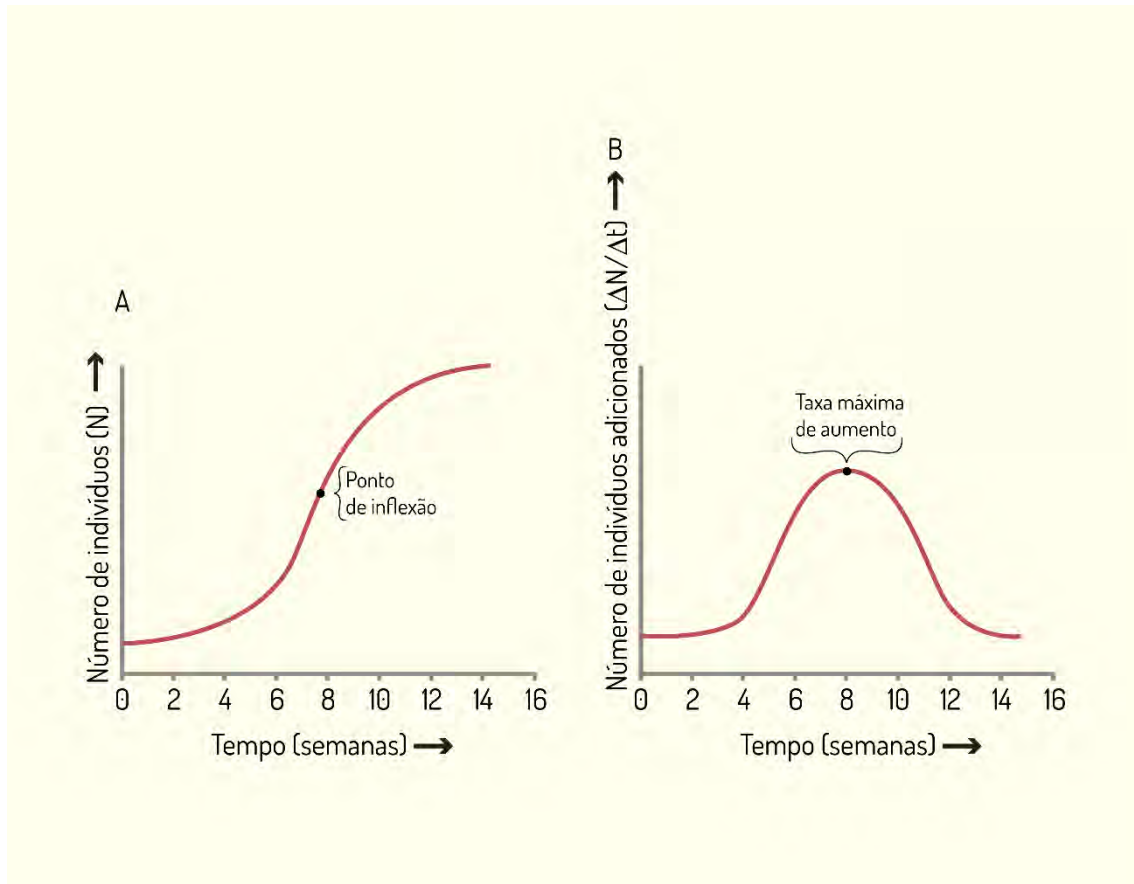


Figura 3.5: (A) curva de crescimento populacional e (B) curva da taxa de aumento do crescimento para a mesma população hipotética durante o mesmo intervalo de tempo

Fonte: Odum e Barrett (2007, p. 237).

REFLITA

Conhecer o crescimento populacional é importante para compreender o comportamento das populações de um ecossistema. Medidas do tamanho de uma população, tomadas em diferentes intervalos de tempo, informam se a população está em expansão, estável ou em declínio, de modo a possibilitar fazer correlações com o clima, disponibilidade de alimento etc.

Fonte: Amabis e Martho (2006).

As curvas de crescimento, ilustradas na Figura 3.5, em formato de S e as curvas da taxa de crescimento em corcova são geralmente características de populações em estágios pioneiros ou em início de crescimento. Por meio da Figura 3.5 (B) observa-se que a taxa de crescimento foi máxima na oitava semana e caiu para zero após 16 semanas. O ponto em que a taxa de crescimento é máxima é denominado de ponto de inflexão.

Crescimento populacional e capacidade de suporte

Caro(a) aluno(a), vimos que as populações mostram padrões de crescimento e, ao admitirem a mortalidade nula, Amabis e Martho (2006) trazem um exemplo que ilustra essa situação: uma única bactéria que se reproduza a cada 20 minutos levaria apenas 36 horas para produzir descendentes suficientes para cobrir a superfície da Terra. No entanto, sabemos que essa situação fictícia não ocorre na prática, de modo que o crescimento da população torna-se limitado devido a alguns fatores, como disponibilidade de recursos, alimento, espaço, abrigo, quando a geada ou outro fator sazonal interfere, ou quando a estação reprodutiva termina, bem como por doenças, predadores, interações sociais etc.

Neste contexto, o crescimento populacional pode ser em **forma de J** e em **forma de S**, conforme demonstra a Figura 3.6 a seguir:

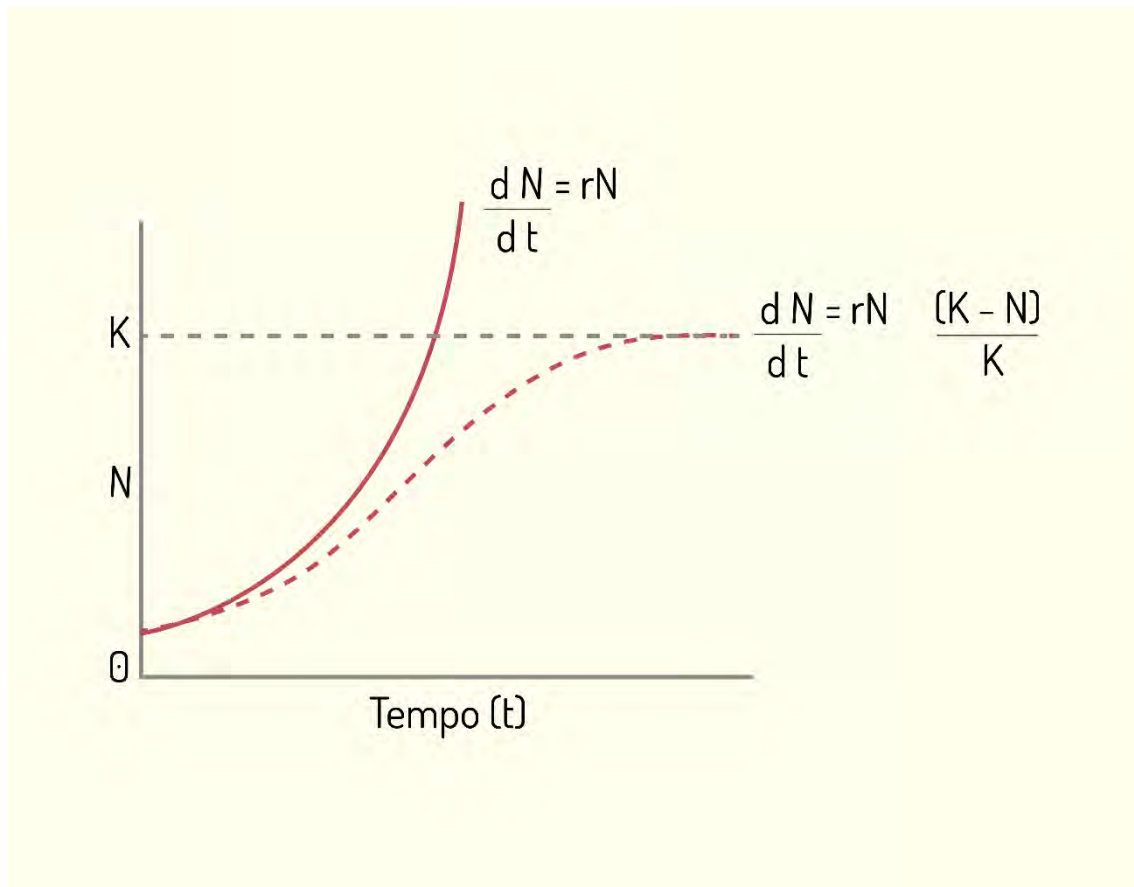


Figura 3.6: Formas de crescimento populacional: curva de crescimento em forma de J (exponencial) e em forma de S (sigmóide)

Fonte: Elaborado pela autora.

No crescimento em forma de J, a densidade aumenta rapidamente de forma exponencial, e então para abruptamente quando a resistência ambiental, ou outro fator limitante, torna-se efetivo. O modelo de crescimento em forma de J pode ser representado por meio da equação:

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

Em que o parâmetro r é conhecido como **taxa de crescimento instantânea**, ou **taxa intrínseca de crescimento**, e pode ser calculado por meio da taxa de natalidade instantânea (b) e da taxa de mortalidade instantânea (m), ou seja:

$$r = b - m$$

O valor de r determina se a população vai crescer exponencialmente ($r > 0$), se vai permanecer constante ($r = 0$) ou se vai diminuir até a extinção ($r < 0$).

Segundo Peroni e Hernandez (2011), a equação descrita para o crescimento em forma de J permite medir a taxa de crescimento populacional, mas não o tamanho da população. Utilizando o cálculo diferencial e integral é possível expressar a equação de crescimento populacional pela seguinte relação:

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

Em que:

N_t = tamanho da população no tempo t

N_0 = tamanho da população inicial

e = constante, base do logaritmo neperiano (aproximadamente 2,717).

Nesse modelo a população cresce indefinidamente pois não há efeito de dependência da densidade, ou seja, não há limites de recursos para o crescimento da população, e não está ocorrendo competição entre indivíduos da mesma espécie.

Quando há uma constante redução na taxa intrínseca de aumento, enquanto a densidade aproxima-se da capacidade de suporte, a população deixa de exibir um crescimento exponencial (TOWNSEND et al., 2010), e este passa a ser em forma de S, de modo que a população aumenta devagar no início, depois com rapidez e então desacelera quando a resistência do ambiente aumenta em porcentagem até que o equilíbrio seja alcançado e mantido. O modelo de crescimento em forma de S pode ser representado por meio da equação:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right)$$

Nessa equação a população para de crescer quando $r = 0$, $N = 0$, ou também quando $N = K$.

Assim, o tamanho populacional aumenta até alcançar a estabilidade, um limite máximo, conhecido como capacidade de suporte (K), que representa o tamanho de uma população que os recursos do ambiente podem suportar. Assim, segundo Townsend et al. (2010), em densidades abaixo de K os nascimentos excedem as mortes, de modo que a população aumenta. Já em densidades acima de K as mortes excedem os nascimentos, e a população diminui em número de indivíduos. Dessa forma, existe uma tendência para que a densidade flutue em torno do valor de K , por influência da competição intraespecífica (entre indivíduos da mesma espécie).

Barrett e Odum (2000) apresentaram os dois tipos de crescimento que estudamos, levando à **capacidade de suporte máxima** ou à **capacidade de suporte ótima**, conforme demonstra a Figura 3.7 a seguir:

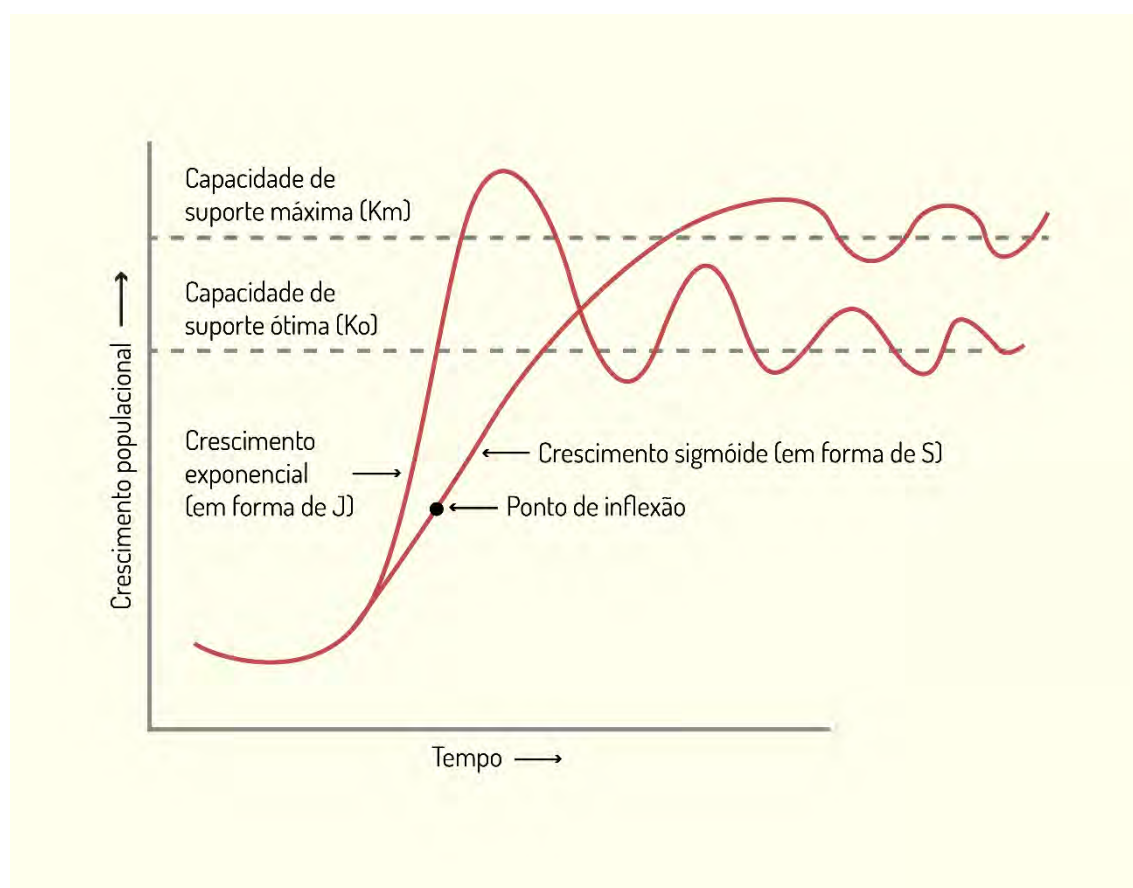


Figura 3.7: Modelos constantes de forma de crescimento sigmóide (em forma de S) e exponencial (em forma de J) em relação aos conceitos de capacidade de suporte máximo (K_m) e ótimo (K_o)

Fonte: Odum e Barrett (2007, p. 244).

Por meio da Figura 3.7 observa-se que a capacidade de suporte máxima (K_m) é a densidade máxima que os recursos em um certo habitat podem suportar. Já a capacidade de suporte ótima (K_o) é a densidade de nível mais baixo que pode ser sustentada em um certo habitat sem “viver no limiar” aos recursos como alimento ou espaço (ODUM e BARRETT, 2007).

Caro(a) aluno(a), no contexto do crescimento da população humana mundial, observa-se por meio da Figura 3.8 que este vem aumentando. Calcula-se que em 8000 a. C. a população humana era de aproximadamente 5 milhões de pessoas; na época de Cristo foi de 300 milhões; 1650 saltou para 500 milhões; em 1850 era de aproximadamente 1 bilhão de pessoas, passando a 2 bilhões de pessoas em 1930 (AMABIS e MARTHO, 2006).

Esse crescimento acelerado, segundo Amabis e Martho (2006), deve-se principalmente à diminuição da taxa de mortalidade, decorrente de avanços tecnológicos, entre eles agrícolas, médicos e sanitários.

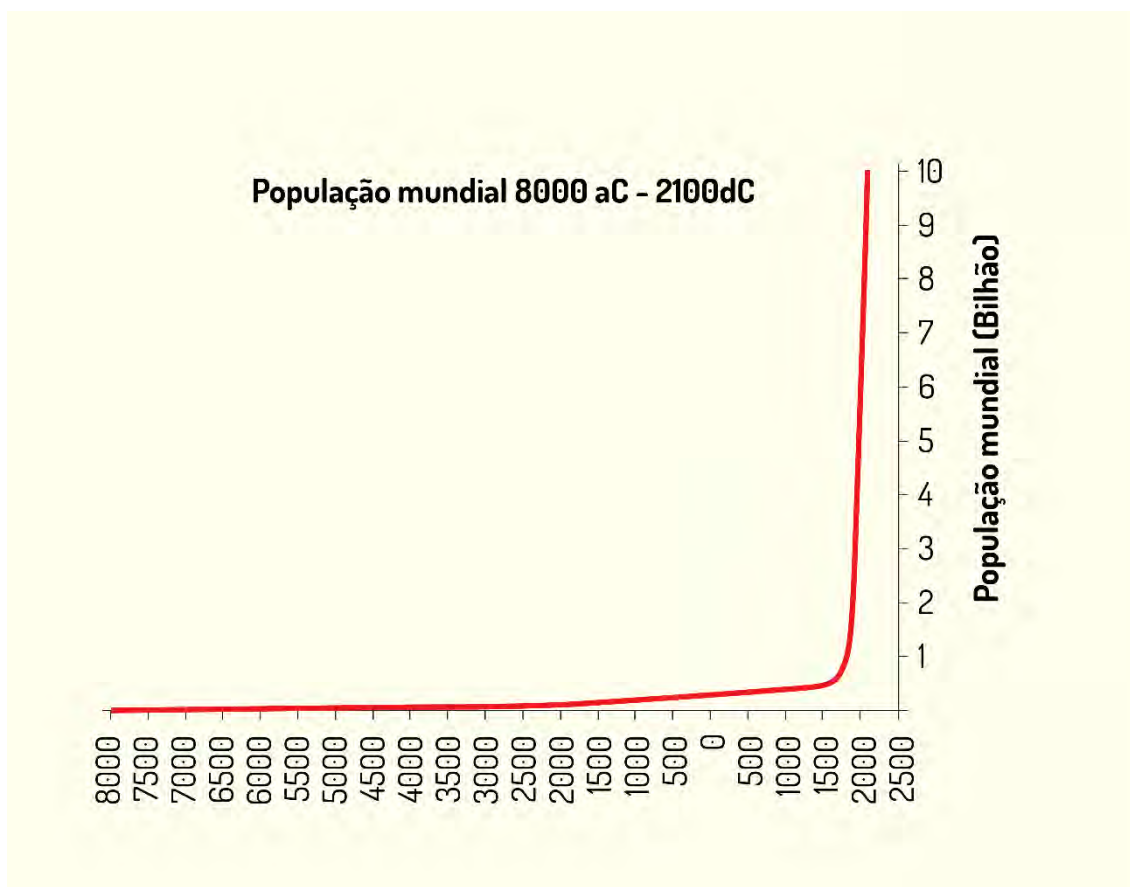


Figura 3.8: Curva de crescimento da população humana.

Fonte: UFJF, 2012.

Estratégias de crescimento populacional

Quanto às estratégias de crescimento populacional, é possível classificar as populações de duas formas: ***r*-estrategistas** e ***k*-estrategistas**.

As espécies *r*-estrategistas possuem potencial de se multiplicar rapidamente favorecido pela seleção natural em ambientes efêmeros, de modo a capacitar os organismos a colonizar novos habitats e explorar novos recursos. Em geral, produzem descendentes de tamanho pequeno, mas numerosos. O tempo de vida dessas espécies é curto e não há cuidados com a prole. Como exemplos desse tipo de espécie citamos insetos e a maioria dos peixes.

Já as espécies *k*-estrategistas são aquelas que conseguem deixar descendentes pois capturam uma maior quantidade de recursos, muitas vezes porque nascem maiores e/ou crescem mais rápido. Em geral, apresentam tempo de vida mais longo e os pais cuidam da prole. Como exemplos desse tipo de espécie citamos grandes felinos, elefantes e os seres humanos.

Flutuação de população e oscilações cíclicas

Segundo Odum e Barrett (2007), quando as populações completam seu crescimento e a média de $\Delta N/\Delta t$ permanece em zero por um período longo de tempo, a densidade da população tende a pulsar ou flutuar tanto acima como abaixo do nível de capacidade de suporte, uma vez que as populações estão sujeitas a várias formas de controle por retroalimentação em vez de controles de pontos de ajuste.

Assim, algumas populações podem ser **irruptivas**, ou seja, explodem em números em um padrão de ascensão-e-queda. Já outras podem ser **cíclicas**, populações que oscilam regularmente, de modo que quanto mais organizada e madura a comunidade estiver, ou mais estável o ambiente físico, menor será a amplitude das flutuações na densidade populacional com o passar do tempo.

Como exemplo de padrão irruptivo de flutuação da densidade populacional citamos o que ocorreu com ratos domésticos ferais (*Mus musculus*) na Califórnia entre 1959 e 1960, cuja população explodiu duas vezes, provavelmente devido a condições favoráveis do ambiente, incluindo temperatura, alimento, cobertura vegetal para reduzir a predação etc. Observe a Figura 3.9 a seguir:

Fonte: Odum e Barrett (2007, p. 247).

Já como exemplo de padrão cíclico citamos as oscilações da população de lebre americana (*Lepus americanus*) e do lince (*Felis lynx*) que ocorre de 9 a 10 anos. Observe por meio da Figura 3.10 a seguir que os picos de abundância são seguidos por declínios rápidos de modo que lince e lebres tornavam-se escassos em períodos próximos, uma vez que, como o lince depende da lebre como alimento, o ciclo predador-presa está relacionado.

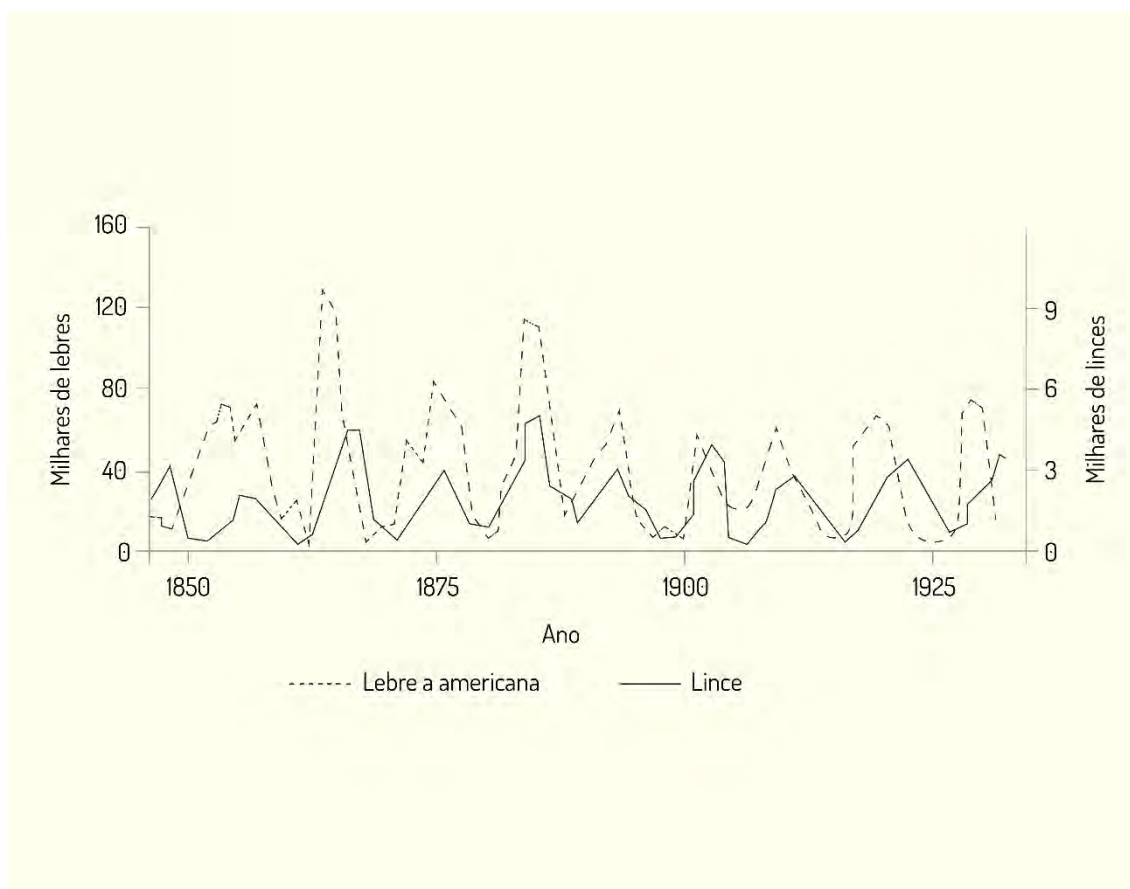


Figura 3.10: Flutuações na abundância do lince (*Felis lynx*) e da lebre americana (*Lepus americanus*)

Fonte: Odum e Barrett (2007, p. 248).

As flutuações podem ser consideradas por meio de fatores extrínsecos e intrínsecos. As flutuações controladas por **fatores extrínsecos**, como temperatura e chuva, estão fora da esfera das interações da população. Já as oscilações sujeitas a **fatores intrínsecos**, a exemplo dos fatores bióticos, como disponibilidade de alimento e energia, doenças ou predação, são controladas pela dinâmica populacional.

Caro(a) aluno(a), atente-se para o fato de que, em geral, as populações mais estáveis ocorrem em espécies com indivíduos de vida longa e taxas reprodutivas baixas, uma vez que os indivíduos pequenos e de vida curta são geralmente mais vulneráveis às alterações

ambientais. Neste sentido, as densidades populacionais de insetos tendem a flutuar muito mais do que as de aves e mamíferos (SADAVA et al., 2009).

Mecanismos de regulação de população dependente e independente de densidade

Caro(a) aluno(a), em ecossistemas de baixa diversidade, fisicamente estressados (como tempestades e fogo) ou sujeitos a perturbações extrínsecas irregulares ou imprevisíveis, o tamanho da população tende a ser influenciado por fatores físicos, como clima, correntes de água, condições químicas limitantes e poluição. Já em ecossistemas de alta diversidade em ambientes com baixa probabilidade de estresse físico as populações tendem a ser controladas biologicamente, de modo que sua densidade seja autorregulada (ODUM e BARRETT, 2007).

Assim, os fatores limitantes ou favoráveis para uma população serão **independentes de densidade** se seu efeito for independente do tamanho da população, ou **dependentes de densidade** se seu efeito na população for uma função da densidade populacional. Normalmente, fatores climáticos, como um período muito frio ou um furacão, agem de maneira independente de densidade, enquanto que fatores bióticos, como competição, parasitas ou patógenos, agem de maneira dependente de densidade.

As taxas de natalidade e mortalidade podem ser dependentes da densidade por alguns motivos (SADAVA et al. (2009):

- À medida que uma espécie aumenta em abundância, ela pode esgotar o suprimento alimentar, de modo a reduzir a quantidade de alimento disponível para cada indivíduo. Consequentemente, uma pobre nutrição pode aumentar as taxas de mortalidade e diminuir as taxas de natalidade;
- Predadores podem ser atraídos para áreas com alta densidade de presas. Logo, se os predadores capturam uma maior quantidade de presas, a taxa de mortalidade aumenta;
- Doenças podem espalhar-se mais facilmente em populações mais densas, comparado com populações esparsas.

Segundo Odum e Barrett (2007), a teoria geral da regulação de população é resultado da discussão sobre o potencial biótico, formas de crescimento e variação em torno do nível da capacidade de suporte. Nesse contexto, o crescimento em forma de J tende a ocorrer quando fatores extrínsecos ou independentes de densidade determinam em que ponto o crescimento para ou desacelera. Por outro lado, a forma de crescimento em forma de S é dependente da densidade, porque os efeitos intrínsecos controlam o crescimento da população.

Ainda de acordo com os referidos autores, os fatores independentes de densidade do ambiente, como fatores climáticos, tendem a causar variações na densidade populacional e também deslocamento nos níveis da assíntota superior ou da capacidade de suporte. Já os fatores dependentes de densidade, como a competição, tendem a manter a população em estado de pulsação estável ou apressar o retorno a esse nível.

FIQUE POR DENTRO

“Os fatores ambientais independentes de densidade têm um papel mais importante nos ecossistemas fisicamente estressados; a mortalidade e a natalidade dependentes da densidade se tornam mais importantes em ambientes benignos nos quais o estresse extrínseco é reduzido.”

Fonte: Odum e Barrett (2007, p. 257).

As plantas possuem mecanismos de regulação de população dependentes de densidade. Dessa forma, as populações vegetais em altas densidades passam por um processo chamado de **autodesbaste**, o qual tende a regular e controlar as densidades das populações para permanecer dentro ou perto da capacidade de suporte estabelecida pela disponibilidade de recursos e condições do ambiente.

Quando a semeadura dá-se em altas densidades, as plantas emergentes ou plântulas competem vigorosamente. Durante o crescimento, muitas mudas morrem, reduzindo a densidade das mudas sobreviventes. O aumento da taxa de crescimento das plantas

individuais sobreviventes resulta em competição contínua, levando a uma diminuição do número de plantas sobreviventes. Lançando o logaritmo do peso médio da planta em um gráfico como função do logaritmo da densidade populacional, os pontos dos dados ao longo da estação de crescimento geram uma linha com uma inclinação de aproximadamente $-3/2$. Essa regularidade também é conhecida como **lei da potência $-3/2$** (ODUM e BARRETT, 2007), conforme demonstra a Figura 3.11 a seguir.

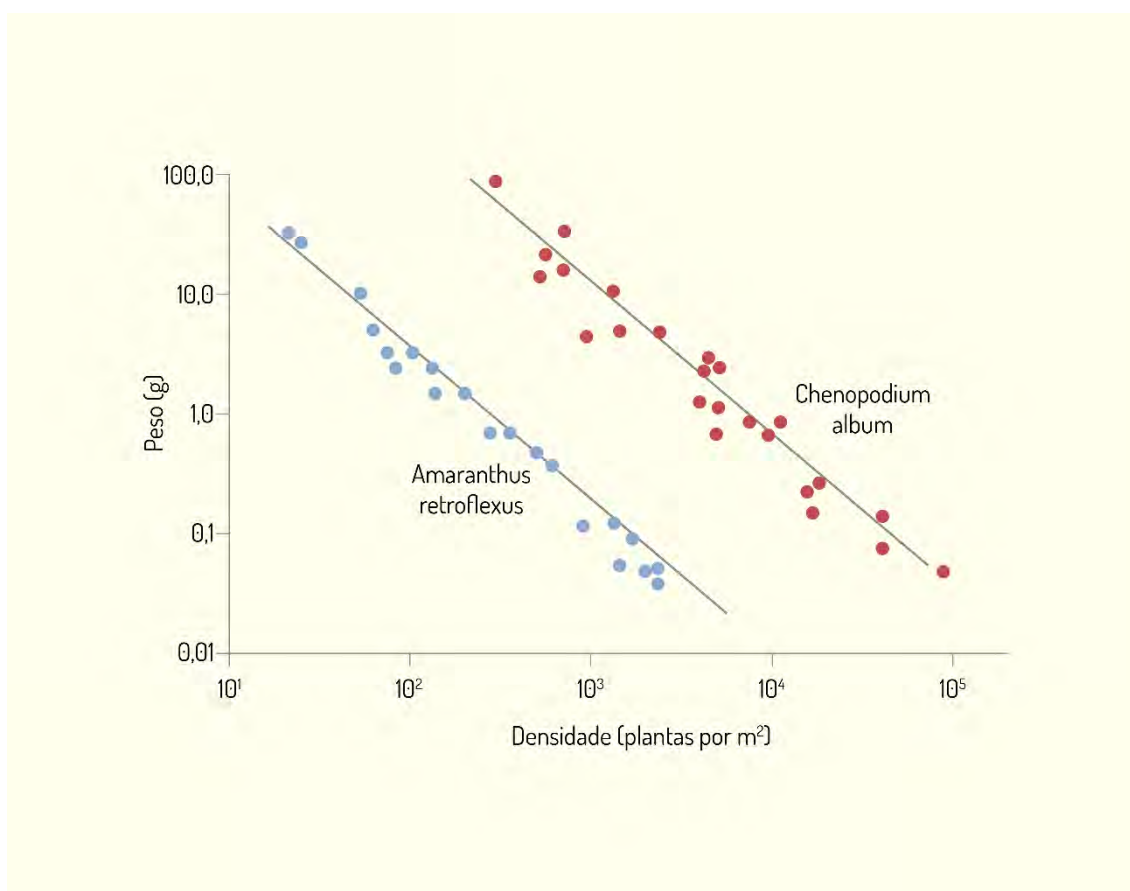


Figura 3.11: Mudanças na densidade e no peso médio da planta durante a estação de crescimento do *Amaranthus retroflexus* e *Chenopodium album*, ilustrando a lei da potência $-3/2$ do autodesbaste

Fonte: Odum e Barrett (2007, p. 258).

Padrões de dispersão

A distribuição de indivíduos em uma população descreve a distância relativa entre um e outro (RICKLEFS, 2010). Quanto ao padrão de dispersão, os indivíduos de uma população podem ser dispersos em quatro tipos gerais de padrões: **aleatório**, **regular**, **agregado** e **agregado regular**, conforme ilustra a Figura 3.12 a seguir:

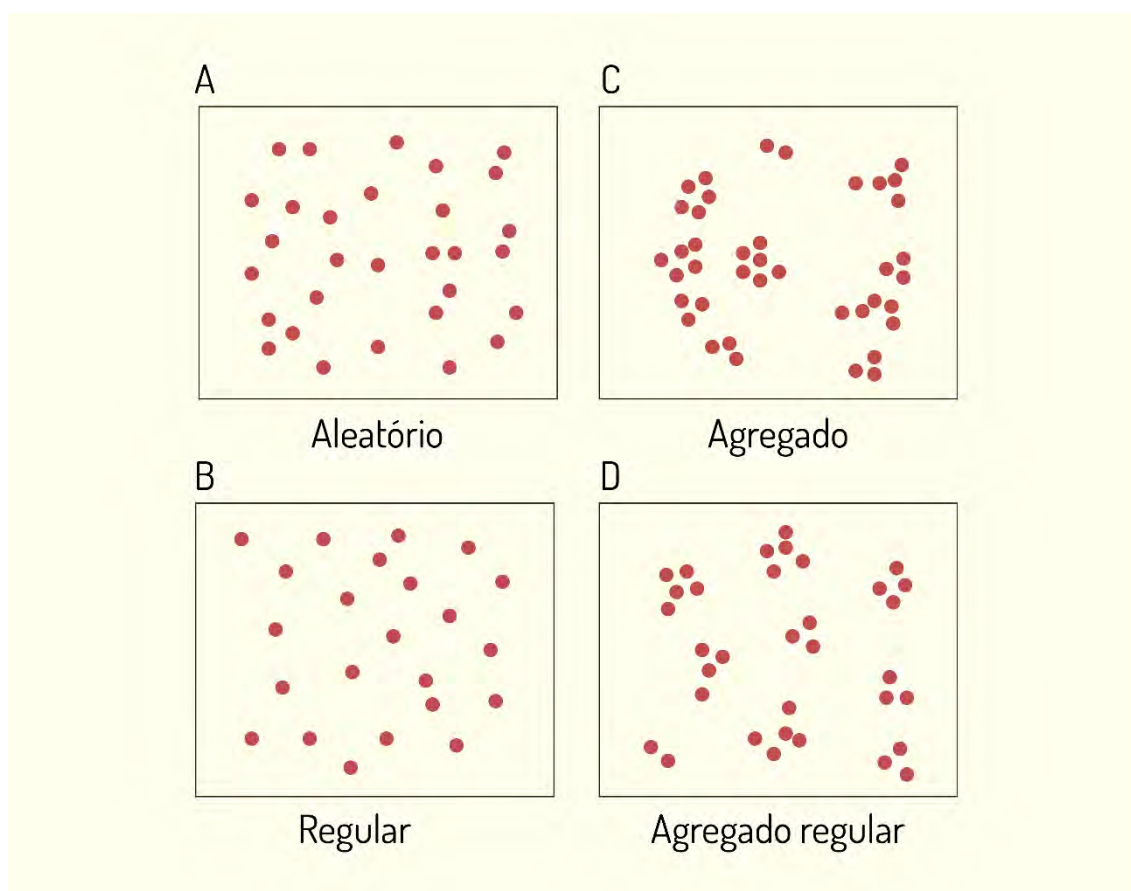


Figura 3.12: Quatro padrões básicos de dispersão de indivíduos em uma população. (A) aleatória. (B) regular. (C) Agregado. (D) Agregado regular.

Fonte: Odum e Barrett (2007, p. 259).

A distribuição aleatória ocorre quando o ambiente é uniforme e não há tendência a se agregar. A dispersão regular ocorre quando a competição entre indivíduos é severa, ou quando há antagonismo positivo que promove espaçamento uniforme (esse padrão é frequente em plantações e florestas de monocultura). A distribuição de agregados

representa o padrão mais comum, em que os indivíduos de uma população formam grupos de certos tamanhos, podendo ser aleatório ou em padrão regular.

Na natureza, a forma como os padrões se manifestam a um observador e sua relevância para a vida de outros organismos depende da escala espacial na qual estamos trabalhando (BEGON et al., 2010). Consideremos a distribuição de um afídeo (pulgão) que vive em uma determinada espécie de árvore em uma floresta. Se pensarmos na floresta como um todo, os afídeos pareceriam estar agregados em manchas florestais e inexistentes em áreas mais abertas. Mas se pensarmos nas amostragens retiradas de áreas menores somente florestadas, os afídeos ainda poderiam estar agregados, mas apenas em torno de sua própria planta hospedeira. Entretanto, se pensarmos em amostragens ao nível da folha da árvore, os afídeos poderiam aparecer estar aleatoriamente distribuídos sobre a árvore como um todo.

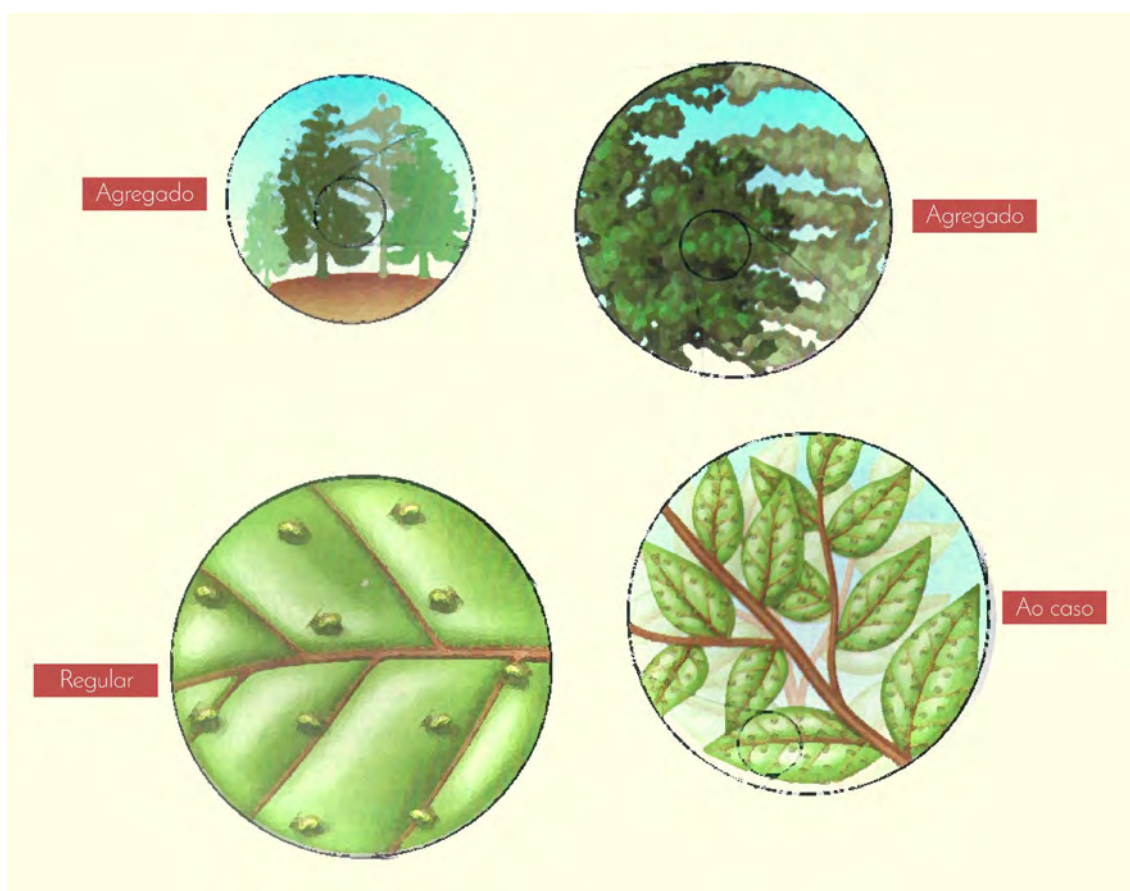


Figura 3.13: Influência da escala nos padrões de distribuição de afídeos

Fonte: Townsend et al. (2010, p. 194).

ATIVIDADE PADRÕES DE DISPERSÃO

Quanto ao padrão de dispersão, os indivíduos de uma população podem ser dispersos em alguns tipos gerais de padrões. Sobre esses padrões, assinale a alternativa correta:

- a) Na distribuição regular, os indivíduos formam grupos.
- b) Quando agregados, os grupos de indivíduos podem estar distribuídos de modo aleatório ou regular.
- c) Na distribuição aleatória, os indivíduos mantêm uma distância mínima entre si e seus vizinhos.
- d) Na distribuição regular, os indivíduos estão distribuídos randomicamente.
- e) A dispersão aleatória pode ocorrer quando há antagonismo positivo que promove espaçamento uniforme.

Distribuição e abundância de espécies

Caro(a) aluno(a), nesta unidade nós discutimos algumas propriedades das populações, como elas crescem e por que flutuam em tamanho. No entanto, ainda nos resta um questionamento: Por que algumas espécies são mais comuns do que outras?

A abundância das espécies, ou seja, o número de indivíduos, está relacionada a diversos fatores, entre eles destacam-se: a história da espécie, a disponibilidade dos recursos que ela necessita para sobreviver e se reproduzir, bem como as taxas de natalidade, mortalidade e migração.

Os autores Sadava et al. (2009) relacionam a densidade populacional com quatro fatores: disponibilidade de recursos, tamanho corporal, tempo que a espécie viveu na área e organização social. Observe:

- Espécies que usam recursos abundantes geralmente possuem densidade maior do que as que usam recursos raros. Neste sentido, animais que se alimentam de plantas são mais comuns do que aqueles que se alimentam de outros animais;
- Espécies com pequeno tamanho corporal geralmente possuem densidade maior do

que as de tamanho corporal maior, isso porque indivíduos pequenos necessitam de menos energia para sobreviver (Figura 3.14);

- Espécies logo após serem introduzidas podem apresentar altas densidades populacionais, isso porque, na nova região, seus predadores e patógenos podem estar ausentes;
- Espécies com organização social complexa podem apresentar altas densidades.

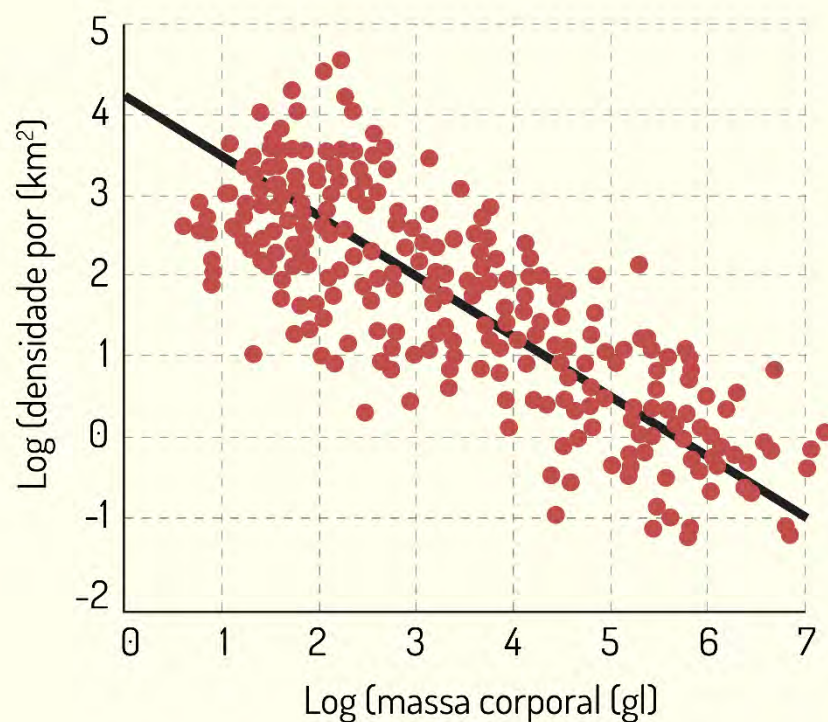


Figura 3.14: A densidade populacional diminui com o aumento do tamanho do corpo

Fonte: Ricklefs (2010, p. 193).

Quanto à distribuição das espécies, Peroni e Hernandez (2011) utilizam-se da Figura 3.15 a seguir para explicá-la. Observe:

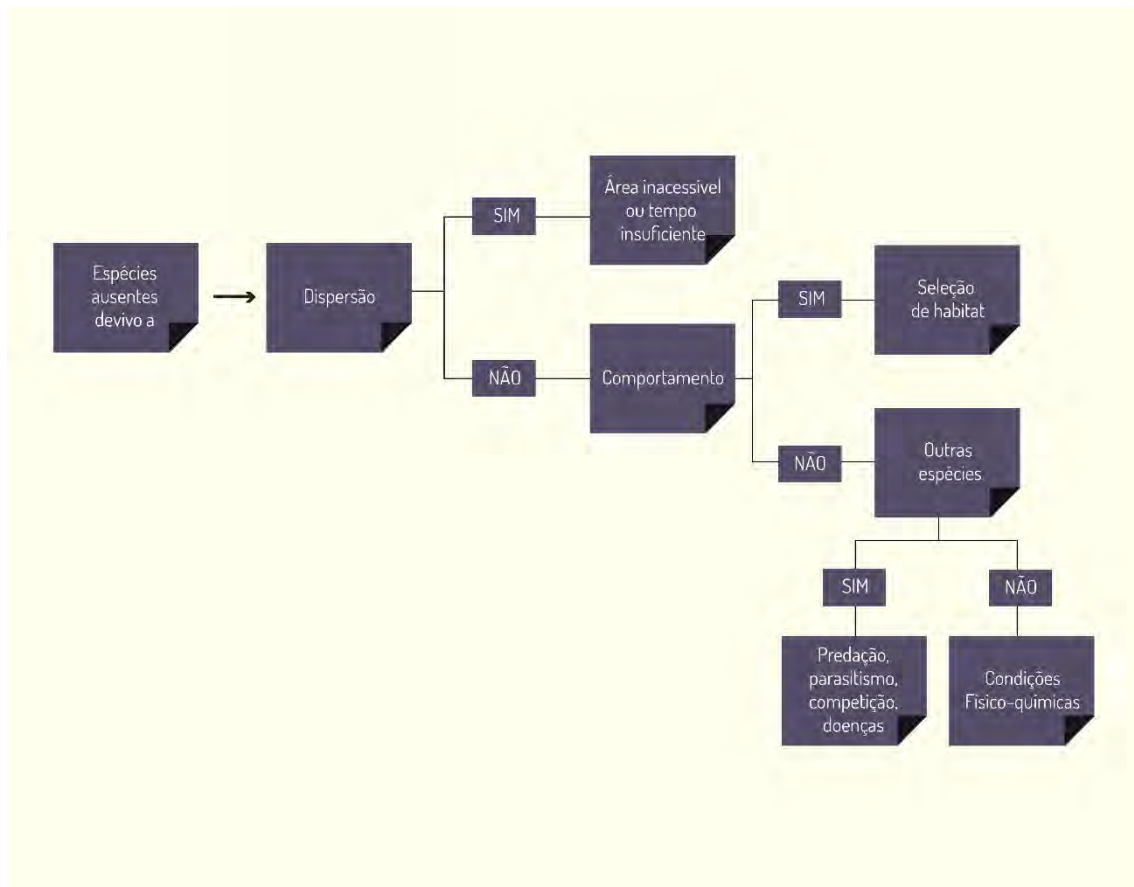


Figura 3.15: Cadeia de fatores que determinam por que uma espécie está ausente ou presente num determinado local

Fonte: Peroni e Hernandez (2011, p. 35).

Por meio da Figura 3.15, pode-se dizer que o comportamento de uma espécie em escolher uma área para viver e se reproduzir pode ser a causa de estar ausente pela sua incapacidade de dispersar. Mas, se esta não for sua limitação, talvez as limitações sejam as interações com outras espécies, as condições físico-químicas e assim por diante.

Manejo das populações

Caro(a) aluno(a), para finalizarmos esta unidade, o controle ou manejo das populações deve ser baseado no conhecimento de como as populações crescem e o que determina suas densidades.

Populações com alta capacidade reprodutiva podem persistir mesmo com altas taxas de exploração. É o caso das populações de peixes, em que cada fêmea é capaz de produzir milhões de ovos. Nessas populações de reprodução rápida, se os indivíduos pré-reprodutivos são retirados da população a uma taxa alta, os indivíduos que permanecem podem crescer mais rapidamente. Assim, algumas populações de peixes podem ser exploradas intensivamente, em uma base sustentável, porque um pequeno número de fêmeas produzem ovos suficientes para manter a população (SADAVA et al., 2009).

Analogamente ocorre quando queremos reduzir o tamanho de espécies indesejadas, mantendo-as em baixas densidades. De acordo com Sadava et al. (2009), normalmente as populações apresentam altas taxas de nascimento sob densidade abaixo da capacidade de suporte, e assim podem resistir a taxas de mortalidade mais altas do que quando estão próximas à capacidade de suporte. Dessa forma, quando a dinâmica populacional é influenciada principalmente por fatores dependentes da densidade, matar parte da população geralmente a reduz para uma densidade na qual ela se reproduzirá a uma taxa maior. Neste sentido, a maneira mais efetiva para reduzir essa população consiste em remover seus recursos, diminuindo a capacidade de suporte de seu ambiente (SADAVA et al., 2009).

Os referidos autores também citam que introduzir um predador ou parasito para controlar populações de espécies indesejadas nem sempre faz com que o objetivo final seja alcançado, uma vez que pode acontecer da espécie introduzida, além de atacar a praga, destruir também espécies valiosas.

REFLITA

É possível acabar com os camundongos presentes nos lixões retirando o resíduo disponível, ou seja, retirando seus recursos de modo a reduzir a capacidade de suporte do ambiente, ao invés de envenená-lo, o que aumentaria sua taxa reprodutiva.

ATIVIDADE MANEJO DAS POPULAÇÕES

Assinale a alternativa que diz respeito à melhor alternativa para reduzir a população de uma espécie indesejada a longo prazo:

- a) Esterilizar os indivíduos.
- b) Matar adultos reprodutivos.
- c) Matar indivíduos pré-reprodutivos.
- d) Tentar matar todos os indivíduos da população.
- e) Diminuir a capacidade de suporte do ambiente para a espécie.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Ecologia: de indivíduos a ecossistemas

Editora: Artmed

Autor: Michael Begon, Colin R. Townsend e John L. Harper

ISBN: 8536308842

Comentário: O livro trata da distribuição e abundância dos diferentes organismos existentes, de características físicas, químicas e biológicas, bem como das interações que determinam essas distribuições e abundância. O livro também traz uma abordagem das comunidades e ecossistemas.

UNIDADE IV

Ecologia de Comunidades e a Sucessão Ecológica

Me. Rebecca Manesco Paixão

Introdução

A palavra comunidade pode ser definida como o conjunto de populações que ocorrem juntas em um mesmo local, de modo a interagirem entre si e com o meio ambiente. Nesse sentido, a ecologia de comunidades busca entender a forma como esses grupos de espécies estão distribuídos na natureza, bem como as formas pelas quais esses grupos podem ser afetados pelos fatores abióticos e pelas interações que ocorrem entre as populações de espécies.

As interações ecológicas podem ocorrer entre indivíduos de uma mesma espécie, denominada de intraespecífica, ou ainda entre espécies distintas, denominada de interespecífica. Em ambos os tipos de interações, podem ocorrer relações harmônicas entre os seres, ou relações capazes de trazer prejuízos a uma delas.

A sucessão ecológica diz respeito ao processo de substituição de uma comunidade por outra, em uma determinada área. Pode ser classificada em primária, quando o estabelecimento dos seres vivos ocorre em um meio jamais colonizado; ou ainda em secundária, quando ocorre a reconstituição dos seres, em um local que já foi povoado mas que os seres foram eliminados.



Fonte: Richey-Schmitz, 123RF.

Ecologia de comunidades

A natureza da comunidade

Caro(a) aluno(a), na unidade I, nós vimos que a comunidade consiste em um número maior ou menor de populações que interagem com indivíduos de outras espécies que habitam uma determinada região geográfica.

De acordo com Pinto-Coelho (2000), Mobius foi um dos primeiros a tentar caracterizar uma comunidade. Ao estudar bancos de ostras em regiões litorâneas, Mobius percebeu que existia uma interdependência entre os organismos presentes, o que ele denominou de **biocenose**.

Ainda, segundo o referido autor, as comunidades apresentam algumas propriedades estruturais e funcionais que facilitam seu estudo e compreensão. As principais propriedades são:

- Presença de muitas espécies em uma determinada área.
- Recorrência da “comunidade” no tempo e no espaço.
- Presença de mecanismos homeostáticos: estabilidade dinâmica.

Além disso, as comunidades podem apresentar atributos mensuráveis no campo (PINTO-COELHO, 2000):

- a) Composição específica: catálogo de espécies que compõem a comunidade.
- b) Diversidade: as comunidades podem ser descritas e diferenciadas entre si de acordo com o número de espécies que a compõem, de modo que algumas espécies podem ser mais abundantes do que outras.
- c) Formas de crescimento: engloba categorias maiores de crescimento, árvores, arbustos, ervas, epífitas lianas e musgos, assim como categorias detalhadas, como folhas largas, folhas aciculiformes, árvores perenifólias ou decíduas, entre outros.
- d) Estrutura espacial: as comunidades podem apresentar estruturas de diferentes padrões espaciais.
- e) Associações tróficas: as relações alimentares que existem em uma comunidade são capazes de determinar o fluxo de energia, bem como a dinâmica dos ciclos de materiais entre produtores e consumidores.

- f) Dinâmica temporal: refere-se aos ciclos temporais.
- g) Fenômenos de interdependência: existem interações entre as espécies de uma comunidade, de modo que a extinção de uma espécie pode acarretar desequilíbrio ecológico.

Conceitos de habitat, nicho ecológico e guilda

Caro(a) aluno(a), para o melhor entendimento das comunidades, é preciso definirmos alguns conceitos importantes, como **habitat**, **nicho ecológico** e **guilda**.

O termo habitat é utilizado para identificar o lugar em que um determinado organismo vive ou, ainda, o lugar em que poderíamos encontrá-lo; é o ambiente que reúne condições favoráveis ao desenvolvimento das necessidades básicas dos seres, como a nutrição, proteção e reprodução. Já o termo nicho ecológico diz respeito ao papel funcional que esse organismo exerce na comunidade, bem como sua posição nos gradientes ambientais de temperatura, umidade, pH, solo e outras condições necessárias para sua sobrevivência. Calijuri e Cunha (2013, p. 146) definem esses termos da seguinte forma: “habitat é o endereço e nicho ecológico é a profissão”.

Caro(a) aluno(a), no estudo de nicho, é importante definirmos o termo nicho hipervolumétrico, que diz respeito à posição de um determinado organismo dentro do gradiente ambiental. Não envolve apenas as condições ambientais exploradas por esse organismo (temperatura, umidade, pH, radiação solar etc.), mas também as interações bióticas (predadores, parasitas, competidores etc.) (PINTO-COELHO, 2000).

Por fim, aos grupos de organismos que possuem maneiras semelhantes de sobreviver, incluindo aqueles que exploram a mesma classe de recursos de maneira similar, dá-se o nome de guilda.

Perceba que existem espécies que ocupam o mesmo nicho em diferentes regiões geográficas, e essas espécies denominam-se **equivalentes ecológicos**. Calijuri e Cunha (2013, p. 146) exemplificam essa situação: “as espécies de capim que ocorrem na região temperada semiárida da Austrália são diferentes daquelas de uma região climática similar

da América do Norte, porém exercem a mesma função básica de produtores do ecossistema”.

Também existem espécies que utilizam nichos tão especializados que até mesmo pequenas mudanças no meio em que vivem podem colocar sua existência em perigo. É o caso dos pandas, que se alimentam exclusivamente de rebentos de bambu das florestas da China, e à medida que essas florestas vão desaparecendo por causa do desmatamento, a quantidade de pandas também diminui.

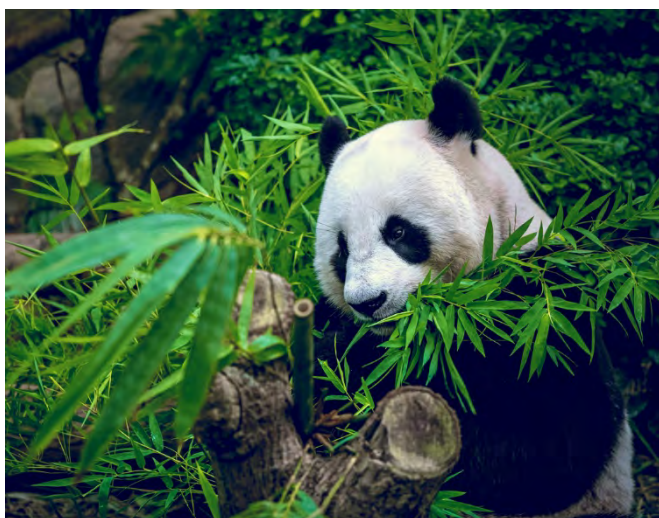


Figura 4.1 - Panda em seu habitat

Fonte: Goinyk, 123RF.

Por outro lado, existem espécies que se adaptam a novas situações, como é o caso de esquilos, que exploram os lixos gerados pelo homem.

ATIVIDADE CONCEITOS DE HABITAT, NICHO ECOLÓGICO E GUILDA

Ao dizer o local onde uma espécie pode ser encontrada e o que ela faz no lugar em que vive, estamos informando, respectivamente:

- a) Nicho ecológico e habitat.
- b) Habitat e nicho ecológico.
- c) Habitat e guilda.
- d) Guilda e nicho ecológico.
- e) Habitat e equivalentes ecológicos.

Tipos de relação ecológica

Caro(a) aluno(a), nomeia-se de relações ecológicas as interações que podem existir em uma comunidade. Essas relações podem ser classificadas de duas formas: **intraespecíficas** (relações entre indivíduos da mesma espécie) e **interespecíficas** (relações entre indivíduos de espécies diferentes). O Quadro 4.1 agrega os principais tipos de relações ecológicas existentes.

Quadro 4.1: Principais tipos de relações ecológicas.

Relações intraespecíficas	Colônia
	Sociedade
	Competição intraespecífica
	Canibalismo
	Protocooperação

Relações interespecíficas	Inquilinismo
	Herbivoria
	Predação
	Competição interespecífica
	Comensalismo
	Mutualismo
	Parasitismo
	Amensalismo

Fonte: a autora.

As relações descritas no Quadro 4.1 podem trazer benefícios ou prejuízos aos organismos envolvidos. Dessa forma, podem-se classificar essas relações em:

- **Harmônica** ou positiva: quando há benefícios para pelo menos uma das espécies, sem haver prejuízo para nenhuma delas.
- **Desarmônica** ou negativa: quando há prejuízo para pelo menos um dos indivíduos, ou seja, um leva vantagem e o outro desvantagem com a associação.

Relações intraespecíficas

Nós vimos que se nomeia relação intraespecífica a interação que ocorre entre indivíduos de uma mesma espécie, seja na disputa de recursos, seja na cooperação.

Competição intraespecífica

A **competição intraespecífica** diz respeito a disputa de recursos presentes no ambiente, entre uma população, ou seja, indivíduos de uma mesma espécie. Assim, pode ocorrer disputa por água, alimento, luz, minerais, parceiros para reprodução etc. Esse tipo de relação existe em praticamente todas espécies.

Ao contrário do que ocorre na competição entre espécies diferentes, Calijuri e Cunha (2013) ressaltam que nesse tipo de interação, os indivíduos mantêm-se solidários entre si, uma vez que podem se reproduzir; assim, a competição mais comum que ocorre é pela disputa de território, quando um animal defende seu lugar de nidificação.

No entanto, nesse tipo de competição entre membros de uma mesma espécie, pode ocorrer a redução das taxas de crescimento e de reprodução de indivíduos, ou ainda, excluir alguns dos melhores habitats e provocar a morte de outros (SADAVA et al., 2009).



Figura 4.2: Exemplo de competição intraespecífica entre leões

Fonte: Eine, 123RF.

Canibalismo

O **canibalismo** consiste em relação intraespecífica em que indivíduos comem outros de uma mesma espécie. Como exemplos dessa relação ecológica, temos os jacarés e crocodilos que se alimentam dos filhotes das suas espécies, bem como alguns insetos, como a fêmea viúva-negra, que, após o acasalamento, devora o macho para obter as proteínas necessárias para o desenvolvimento dos ovos.



Figura 4.3: Fêmea viúva-negra; exemplo de canibalismo

Fonte: Nadai (2016).

Cooperação intraespecífica: colônias e sociedades

A **colônia** diz respeito ao tipo de cooperação intraespecífica em que os indivíduos de uma mesma espécie vivem agrupados, interagindo de forma benéfica mutuamente; são ligados

anatomicamente uns aos outros e com interdependência fisiológica. Um exemplo são as colônias de corais.



Figura 4.4: Exemplo de colônia de corais

Fonte: Sergdibrova, 123RF.

Já a **sociedade** diz respeito a outro tipo de cooperação intraespecífica em que os indivíduos de uma mesma espécie apresentam algum grau de cooperação, comunicação e divisão de trabalho, de modo a conservar certa independência e mobilidade (AMABIS; MARTHO, 2006), ou seja, não estão ligados anatomicamente. Exemplos de sociedades organizadas são encontrados em insetos como abelhas, formigas e vespas.



Figura 4.5: Exemplo de sociedade de abelhas.

Fonte: Trischberger, 123RF.

ATIVIDADE RELAÇÕES INTRAESPECÍFICAS

Cupins são seres vivos que repartem funções, de modo que todos cooperam para o bem-estar do grupo. Qual das relações ecológicas melhor se aplica aos cupins?

- a) Colônia.
- b) Sociedade.
- c) Competição intraespecífica.
- d) Protocooperação.
- e) Mutualismo.

Relações interespecíficas

As relações interespecíficas dizem respeito às relações ecológicas que ocorrem entre indivíduos de espécies diferentes. Pode haver relações entre indivíduos que utilizam outros como alimento, até aqueles que trocam benefícios e que dependem uns dos outros para sobreviver.

Dessa forma, as interações podem ser classificadas pelo efeito que cada espécie exerce sobre outra. Ao considerarmos que uma espécie pode se beneficiar de uma interação (+), ser prejudicada (-) ou não ser afetada (0), as combinações de efeito podem ser do tipo 00, +-, --, ++, +0 ou -0. Resultando em nove tipos de relações, de acordo com Odum e Barrett (2007):

- Neutralismo: quando nenhuma das populações é afetada pela associação com outra.
- Competição, por interferência direta: quando duas populações se inibem ativamente entre si.
- Competição por uso de recurso: quando cada população afeta indiretamente a outra, negativamente, na disputa por recursos escassos.
- Amensalismo: quando uma população é prejudicada, e a outra não é afetada.
- Comensalismo: quando uma população é beneficiada, e a outra não é afetada.
- Parasitismo: quando uma população afeta a outra de forma negativa por ataques diretos, embora uma dependa da outra.
- Predação: quando uma população afeta a outra de forma negativa por ataques diretos, embora uma dependa da outra.
- Protocooperação: quando ambas as populações se beneficiam da interação, mas a associação não é obrigatória.
- Mutualismo: quando o crescimento e sobrevivência de ambas as populações são beneficiados, e uma não pode sobreviver sem a outra.

No que se refere às interações positivas, negativas ou neutras entre duas espécies, o Quadro 4.2 resume essa classificação.

Quadro 4.2: Classificação dos tipos de interações entre as espécies baseada em seus efeitos mútuos

Efeito na espécie 1	Efeito na espécie 2	Tipo de interação
+	-	Interações do tipo consumidor-recurso: predador-presa, herbívoro-planta e parasita-hospedeiro.
-	-	Competição.
+	+	Mutualismo, Procooperação.
+	0	Comensalismo, Inquilinismo.
-	0	Amensalismo.

Fonte: adaptado de Ricklefs (2010, p. 257).

Caro(a) aluno(a), discutiremos mais a fundo sobre predação, herbivoria e parasitismo nos próximos tópicos, mas aqui é importante destacar que todas essas relações citadas são do tipo +-, ou seja, trazem benefícios a um indivíduo e prejuízos a outro. No entanto, Odum e Barret (2007) destacam que, nesses tipos de relacionamento, os efeitos negativos tendem a ser pequenos, quantitativamente, quando as populações em interação tiveram uma história evolutiva; ou seja, por meio da seleção natural, os efeitos prejudiciais tendem a ser reduzidos uma vez que a contínua e severa redução da população da presa ou do hospedeiro pela população do predador ou do parasita pode conduzir à extinção de uma ou de ambas as populações.

Perceba que as interações consumidor-recurso citadas (predador-presa, herbívoro-planta) são capazes de organizar as comunidades biológicas em cadeias alimentares, por meio

das quais a energia dos alimentos é transmitida através do ecossistema. Você se lembra do fluxo de energia que vimos na unidade II?

Competição interespecífica

A **competição interespecífica** ocorre quando duas espécies disputam os mesmos recursos; dessa forma, é uma interação capaz de afetar adversamente o crescimento e a sobrevivência de duas ou mais populações. De acordo com Amabis e Martho (2006), como resultado desse tipo de competição, a população de uma das espécies pode diminuir, se extinguir ou, ainda, ser obrigada a migrar para uma área onde o nível de competição seja menos acirrado.

A competição interespecífica pode ocorrer de duas formas: **competição por interferência** e **competição por exploração**. A primeira ocorre quando duas espécies entram em contato uma com a outra, interferindo em suas atividades, como na disputa por território. Já a competição por exploração ocorre quando uma espécie explora um recurso em comum, como comida, mas sem contato direto com aquela espécie (ODUM; BARRETT, 2007; SADAVA et al., 2009).

Como exemplo de competição interespecífica, temos gafanhotos e gados que competem por alimento, visto que ambos comem capim; ou ainda plantas cujas raízes estão na mesma profundidade do solo e podem competir por água e nutrientes minerais.



Figura 4.6: Exemplo de competição interespecífica.

Fonte: Marcel (2014).

A competição pode ser resultado de interações indiretas

Caro(a) aluno(a), no contexto da competição interespecífica, Rickfels (2010) cita que as interações entre indivíduos-recurso e os consumidores têm consequências indiretas para outras espécies no sistema ecológico.

Ao considerarmos a cadeia alimentar em que o predador se alimenta de um herbívoro que, por sua vez, se alimenta de uma espécie de planta, a interação predador-presa é uma interação direta consumidor-recurso, ou seja, consumidor (+) → recurso (-).

Mas o herbívoro também é consumidor e, quando sua população é reduzida pelo predador, a planta é beneficiada, de modo que predador e planta se engajam em uma interação indireta, observe: predador (+) → herbívoro (-) → planta (+).

Chama-se esse fenômeno de **cascatas tróficas**, pois essas interações indiretas são sentidas através dos muitos níveis tróficos existentes (RICKFELS, 2010).

Observa-se um outro tipo de interação indireta resultante do uso de um único recurso por dois ou mais consumidores: consumidor 1 (+) → recurso (-) ← consumidor 2 (+).

Nessa relação, ambos os consumidores reduzem a disponibilidade do recurso para outro, e como resultado disso a interação indireta entre essas duas populações de consumidores pode ser definida como: consumidor 1 (-) ↔ consumidor 2 (-).

Dessa forma, mesmo que os consumidores 1 e 2 não tenham contato direto, suas populações estão sendo afetadas pelo uso de um determinado recurso em comum. Esse tipo de interação é denominada de competição por exploração, como vimos anteriormente.

Herbivoria

A **herbivoria** diz respeito à relação de animais herbívoros que se alimentam das partes vivas de plantas. Nesse tipo de relação, há prejuízo para as plantas e benefícios para os animais que se alimentam delas. Um exemplo é a vaca, que se alimenta do capim.

Segundo Ricklefs (2010), os herbívoros podem ser tanto predadores, quando no papel de consumidores ao removerem plantas inteiras, ou como parasitas, no caso de pastadores que removem somente uma parte do tecido das plantas.

Como já estudamos na unidade II, é por meio do herbivorismo que a energia captada pelos produtores é transferida para os outros consumidores, como secundários, terciários e assim por diante.



Figura 4.7: Exemplo de herbivoria

Fonte: Mihtiander, 123RF.

Predação

A **predação** é uma relação ecológica em que uma espécie animal (predador) mata e come indivíduos de outra espécie animal (presa). Dessa forma, há benefícios para o predador, que obtém seu alimento, mas prejuízos para a presa. Exemplos de predação são comuns entre carnívoros e herbívoros, bem como entre carnívoros e carnívoros.

De acordo com Calijuri e Cunha (2013), na predação, podem-se considerar três possibilidades:

- O predador é fortemente limitante, capaz de levar a presa à extinção ou quase extinção.
- O predador é regulador, contribuindo para a manutenção de equilíbrio na densidade da presa.
- O predador pode não ser nem fortemente limitante nem regulador.

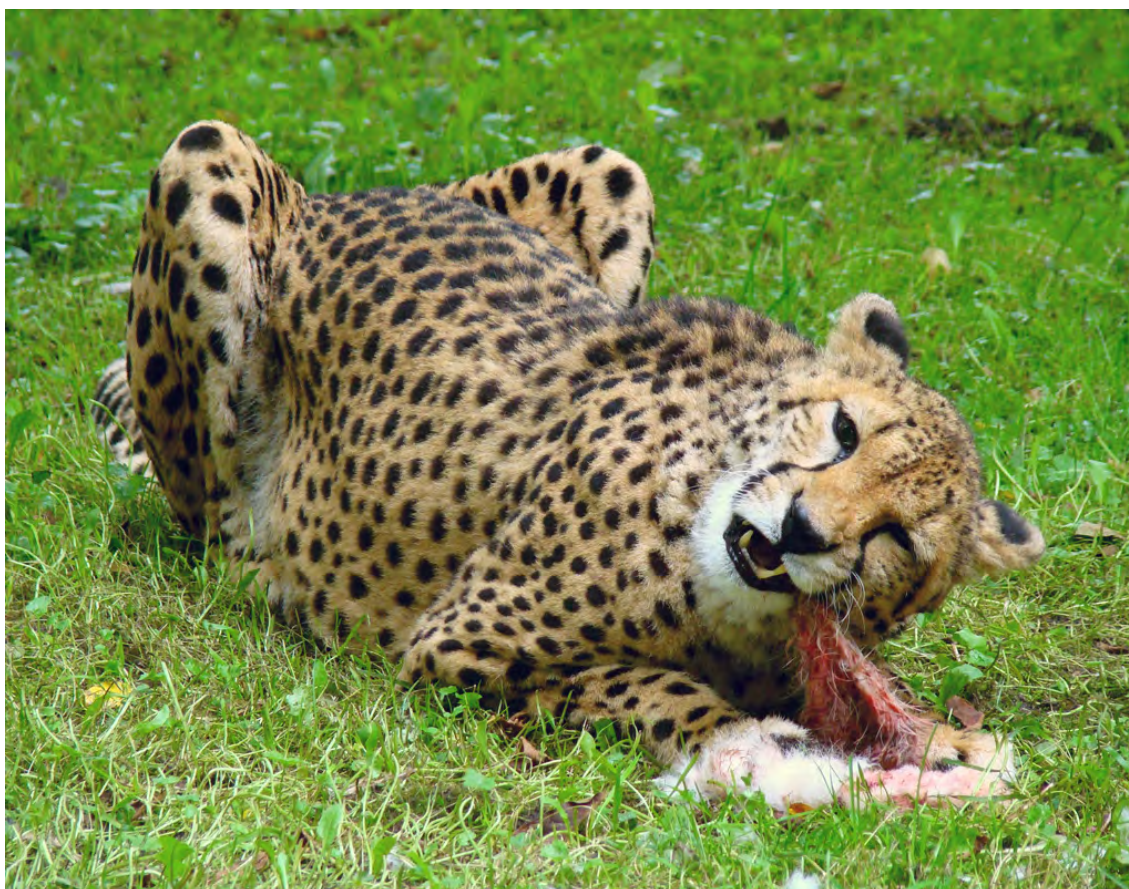


Figura 4.8: Exemplo de predação.

Fonte: Photoalto, 123RF.

Adaptações das presas em resposta à predação

Caro(a) aluno(a), as presas apresentam características que as tornam mais ou menos susceptíveis à predação. Dessa forma, as presas evoluíram em termos adaptativos, o que as tornam mais difíceis de serem capturadas, dominadas e comidas. Entre as adaptações das presas, destacam-se pêlos e cerdas tóxicas, espinhos duros, substâncias químicas nocivas, camuflagem e mimetismo de objetos não palatáveis ou de seres vivos maiores e mais perigosos. Como consequência disso, os predadores também evoluem para se tornarem mais eficientes em superar as defesas das presas (SADAVA et al., 2009).

Parasitismo

Parasitismo consiste na relação ecológica em que uma espécie parasita se associa temporariamente ou permanentemente a outra espécie, denominada de hospedeira, causando-lhe prejuízos.

Nesse tipo de interação, a população de parasitas pode ser tanto limitante, reguladora, como sem importância para o hospedeiro, assim como ocorre na predação (CALIJURI; CUNHA, 2013). Contribuindo, Amabis e Martho (2006) citam que, nesse tipo de relação, as espécies parasitas e hospedeiras estão adaptadas umas às outras, de modo que a relação tende a causar pequenos prejuízos ao hospedeiro, visto que se este morrer, o parasita também morrerá. Os parasitas podem viver tanto internamente, como também na parte externa do hospedeiro. Um exemplo de parasita é o carrapato.



Figura 4.9: Exemplo de parasitismo

Fonte: Lightwise, 123RF.

Inquilinismo

A relação em que uma espécie inquilina vive sobre ou no interior de uma espécie hospedeira, sem prejudicá-la, é denominada de **inquilinismo**. Nessa relação, o principal recurso que o inquilino busca é abrigo e moradia. Plantas epífitas são um exemplo de

inquilinismo, em que bromélias, orquídeas e samambaias vivem como inquilinas sobre árvores que lhes servem de suporte.



Figura 4.10: Exemplo de inquilinismo

Fonte: Araguaia (on-line).

Amensalismo

Amensalismo é um tipo de relação ecológica em que uma das espécies é prejudicada e a outra não obtém nem benefícios nem prejuízos. Para exemplificar essa relação, considere uma manada de mamíferos que, ao se movimentarem, podem esmagar e matar muitas plantas; nessa relação, não existe benefícios para os mamíferos em esmagar as plantas, mas a destruição delas é inevitável (SADAVA et al., 2009). Esse mesmo exemplo pode ser aplicado aos insetos da grama, que também podem ser esmagados e mortos com a movimentação dos animais de grande porte.

Também pode-se citar um outro tipo de amensalismo, no qual o indivíduo de uma determinada população secreta substâncias capazes de inibir o crescimento e o desenvolvimento de outras espécies. Nessa relação, denomina-se de inibidora a espécie que secreta a substância, e de amensal a espécie que é prejudicada.

Um exemplo dessa relação entre espécie inibidora e amensal é a maré vermelha, fenômeno em que há uma grande proliferação de algas produtoras de toxinas capazes de prejudicar a vida das espécies aquáticas presentes no meio.



Figura 4.11: Exemplo de amensalismo; maré vermelha

Fonte: Bettas (on-line).

Comensalismo

Comensalismo é a relação ecológica em que uma das espécies é beneficiada pela associação, e a outra não obtém nem benefícios nem prejuízos. O principal recurso buscado pelo comensal é o alimento.

Um exemplo comum de comensalismo é a associação entre o peixe-piloto e o tubarão. O peixe possui capacidade aderente, de forma a se prender no corpo do tubarão, e com isso se locomover e se alimentar dos restos das presas do tubarão.

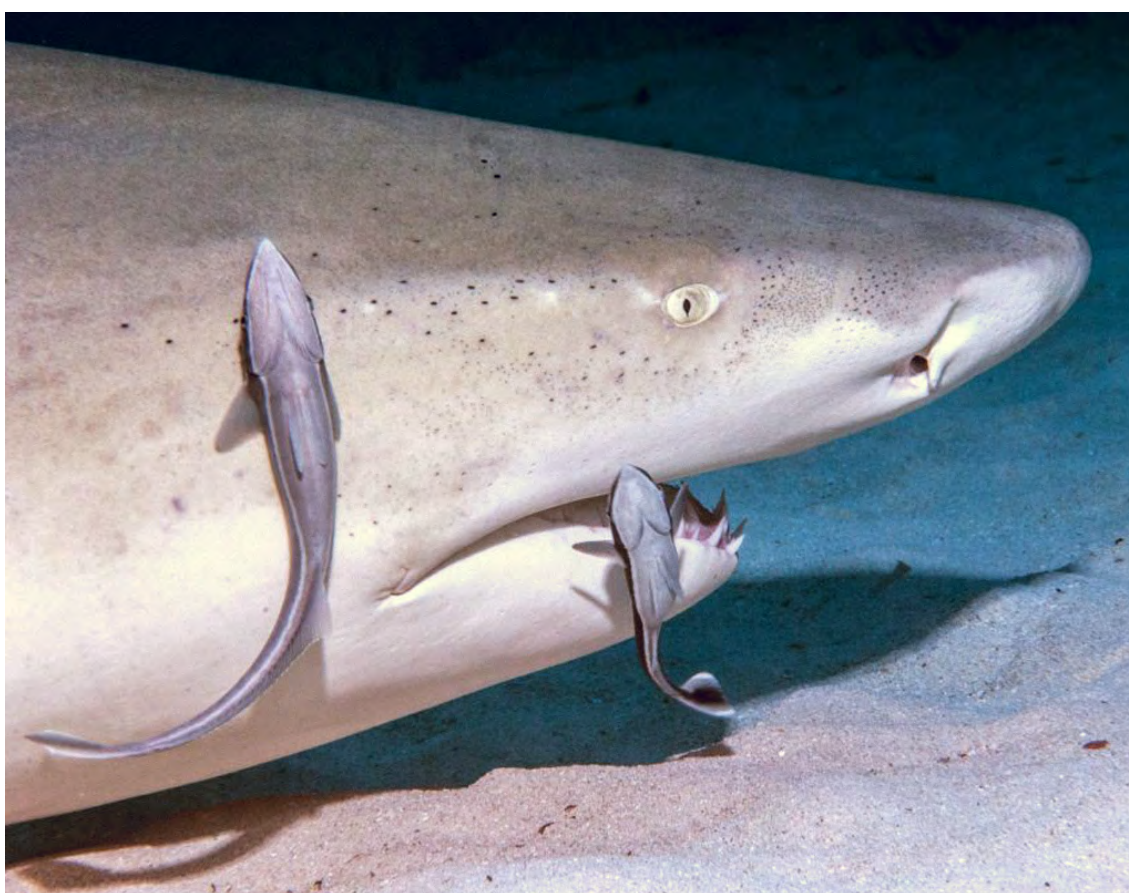


Figura 4.12: Exemplo de comensalismo

Fonte: Imagesourceprem,123RF.

Protocooperação

Protocooperação é um tipo de relação em que espécies, mesmo que possam viver sozinhas, associam-se e trocam benefícios. Um exemplo de protocooperação é a relação entre grandes mamíferos, como bois, búfalos e rinocerontes, e aves que comem seus carrapatos.

Perceba que, nesse tipo de relação, há vantagens para ambos os indivíduos, para o mamífero que se livra dos parasitas e para as aves que obtêm seu alimento. Ressalta-se, no entanto, que ambos conseguem viver de forma independente.

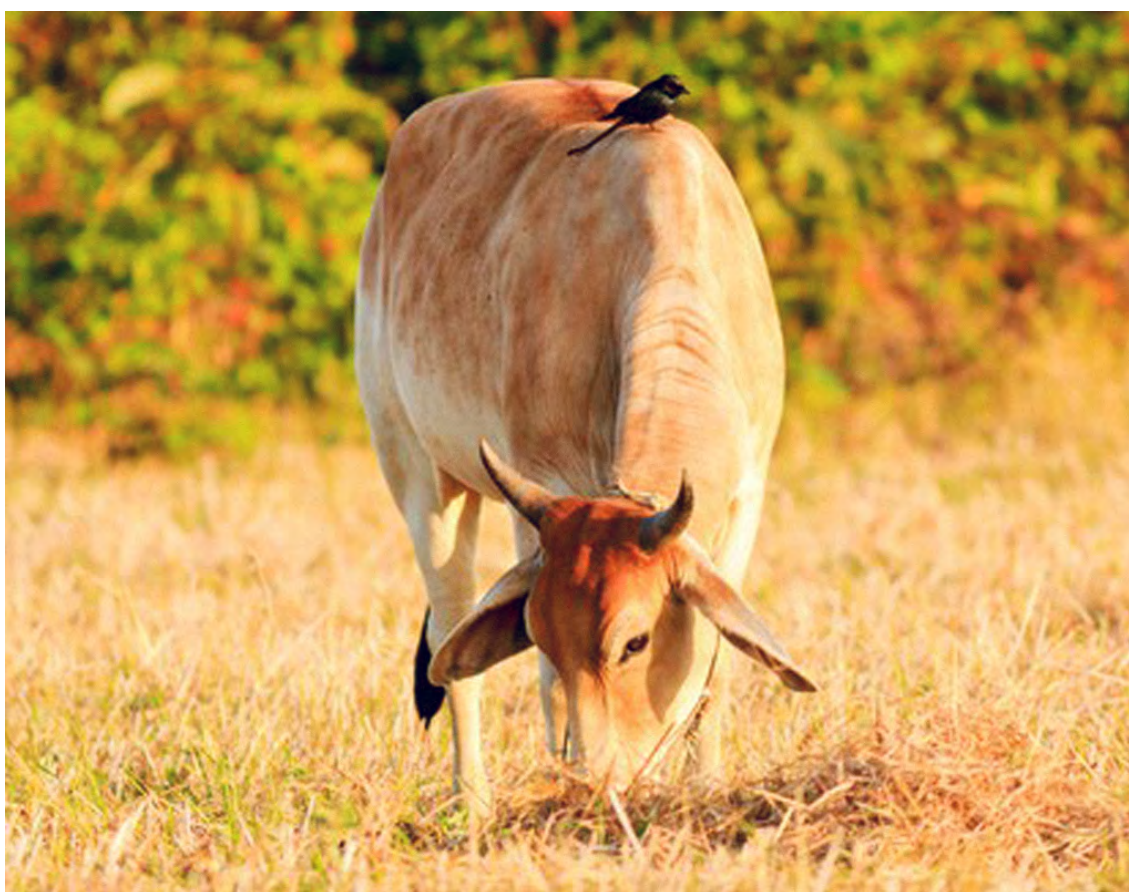


Figura 4.13: Exemplo de protocooperação

Fonte: Pixphoto, 123RF.

Mutualismo

Mutualismo refere-se à relação ecológica em que ambas as espécies obtêm benefícios. Essa relação difere-se de protocooperação no sentido de que o mutualismo é permanente e indispensável à sobrevivência dos indivíduos associados.

Como exemplo de mutualismo tem-se a associação entre determinados fungos e raízes de plantas, formando as chamadas micorrizas. Essa relação traz benefícios mútuos, visto que os fungos podem facilitar a absorção de minerais do solo; por outro lado, os fungos se nutrem de substâncias obtidas das células das plantas, dentro das quais se instalam (AMABIS; MARTHO, 2006).

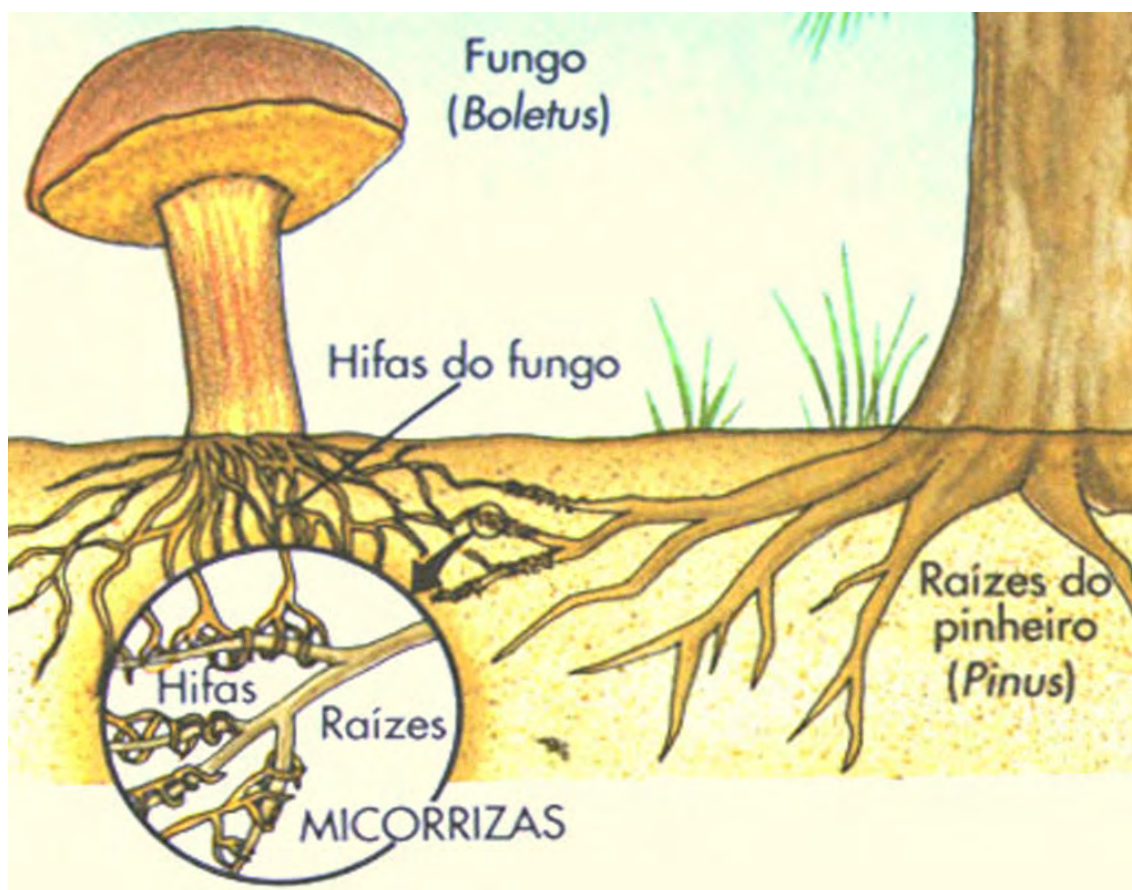


Figura 4.14: Exemplo de mutualismo

Fonte: Micorrizas (on-line).

FIQUE POR DENTRO

“Simbiose é uma associação íntima e permanente de organismos de espécies diferentes [...]. Se a relação é benéfica para os dois organismos, tem-se mutualismo; se uma espécie se beneficia e para a outra não há prejuízo nem benefício, a relação toma o nome de comensalismo. Se uma espécie se beneficia e a outra é prejudicada, a relação é chamada de parasitismo”.

Fonte: Calijuri e Cunha (2013, p. 153).

ATIVIDADE RELAÇÕES INTERESPECÍFICAS

De acordo com o estudado, assinale a alternativa correta sobre a relação ecológica que ocorre entre a lombriga e o ser humano:

- a) Colônia.
- b) Inquilinismo.
- c) Parasitismo.
- d) Predação.
- e) Protocooperação.

Coevolução e evolução da cooperação

A **coevolução** diz respeito à evolução conjunta de duas ou mais espécies não intercruzantes, ou seja, em que a troca de informações genéticas é mínima ou ausente, de modo que ambas as espécies possuam estreita relação ecológica; é o caso das plantas e os herbívoros e de parasitas e seus hospedeiros. Assim, na relação, a evolução de uma espécie depende da evolução da outra (ODUM; BARRETT, 2007).

De acordo com Odum e Barrett (2007), de modo a considerar a diversidade e complexidade da biosfera, os cientistas postularam que a seleção natural funciona além do nível de espécie e da coevolução. Dessa forma, segundo os autores, a seleção de grupo,

definida como seleção natural entre grupos ou conjunto de organismos que não necessariamente estão conectados por associações mutualistas, conduz à manutenção das características favoráveis às populações e comunidades, que podem ser seletivamente desvantajosas aos portadores dos genes nas populações.

Analogamente, a seleção de grupo pode eliminar, ou reduzir, as características que são desfavoráveis para a sobrevivência das espécies, mas que são seletivamente favoráveis dentro das populações ou comunidades. Dessa forma, a seleção de grupo envolve os benefícios que um organismo pode exercer na organização na comunidade; benefícios que são necessários para a sobrevivência contínua (ODUM; BARRETT, 2007).

Para exemplificar, considere a relação benéfica que estudamos anteriormente entre microrganismos e plantas, tal qual ocorreu na evolução entre as bactérias fixadoras de nitrogênio e as leguminosas.

Biodiversidade



Figura 4.15 - Exemplo de biodiversidade

Fonte: Goinyk, 123RF.

Em unidades anteriores, nós vimos que o ecossistema possui diversidade imensurável. A diversidade de espécies é definida como uma medida biológica, que define o nível de organização da comunidade.

Nas palavras de Silva (2014, p. 18), a diversidade biológica, também denominada de biodiversidade, “é a variabilidade genética das espécies de uma determinada população, comunidade, bioma, ecossistema e também do planeta. Portanto, engloba a variedade de bactérias, fungos, cianobactérias, vegetais e animais, incluindo o próprio homem”.

De acordo com Odum e Barrett (2007), do total de número de espécies em uma comunidade, normalmente uma porcentagem pequena é abundante ou dominante, e uma grande porcentagem é rara.

O conceito de diversidade engloba dois termos importantes: riqueza e repartição. A riqueza diz respeito ao número total de espécies presentes, enquanto que a repartição baseia-se na abundância relativa das espécies e no grau de dominância ou falta dela. Além disso, a diversidade tende a aumentar com o tamanho da área e com latitudes altas para o Equador; e tende a ser reduzida em comunidades bióticas estressadas, bem como pela competição (PINTO-COELHO, 2000; ODUM; BARRETT, 2007; CALIJURI; CUNHA, 2013).

Segundo os referidos autores, três tipos de diversidade são importantes de se considerar:

- Diversidade de padrão: resultante da zonação, estratificação, periodicidade, heterogeneidade de manchas, teias alimentares e outras combinações.
- Diversidade genética: manutenção da heterozigosidade genotípica, polimorfismo ou outras variabilidades genéticas.
- Diversidade de habitat: diversidade de habitat ou manchas de paisagens, e a diversidade de espécies dentro de um tipo de habitat ou comunidade.

Sucessão ecológica e desenvolvimento da comunidade

Sucessão ecológica

Caro(a) aluno(a), no contexto das comunidades, uma de suas características mais importantes é entender como elas mudam continuamente de estado, por meio do processo denominado de **sucessão ecológica**, uma vez que, como vimos, a comunidade pode ser vista como um conjunto de nichos, de forma que a sucessão opera dentro de cada um deles.

Nas palavras de Calijuri e Cunha (2013, p. 155), “se o ambiente não for inóspito demais, ele acabará por se cobrir de vegetação, e adquirir vida animal correspondente. A vegetação é aos poucos substituída por um segundo tipo, que, por sua vez, poderá dar lugar a um terceiro, em uma sequência ordenada e previsível”.

Dessa forma, percebe-se que, por meio do fenômeno denominado de sucessão ecológica, o ambiente físico é modificado pela comunidade e por interações de competição-coexistência no nível de população, de uma forma bastante gradual, de modo a estabelecer um ecossistema tão estável quanto seja biologicamente possível naquele ambiente. Cada conjunto de organismos é capaz de promover modificações no substrato físico e no microclima, propiciando a chegada de outros organismos e assim sucessivamente. Dessa forma, durante o processo de sucessão, as cadeias alimentares tornam-se mais longas, constituindo complexas redes alimentares; os nichos, por sua vez, tornam-se mais estreitos, com uma maior especialização.

O processo de sucessão ecológica, ilustrado pela Figura 4.16, pode se dar de duas formas: sucessão primária e sucessão secundária. Veremos com mais profundidade sobre cada uma delas.

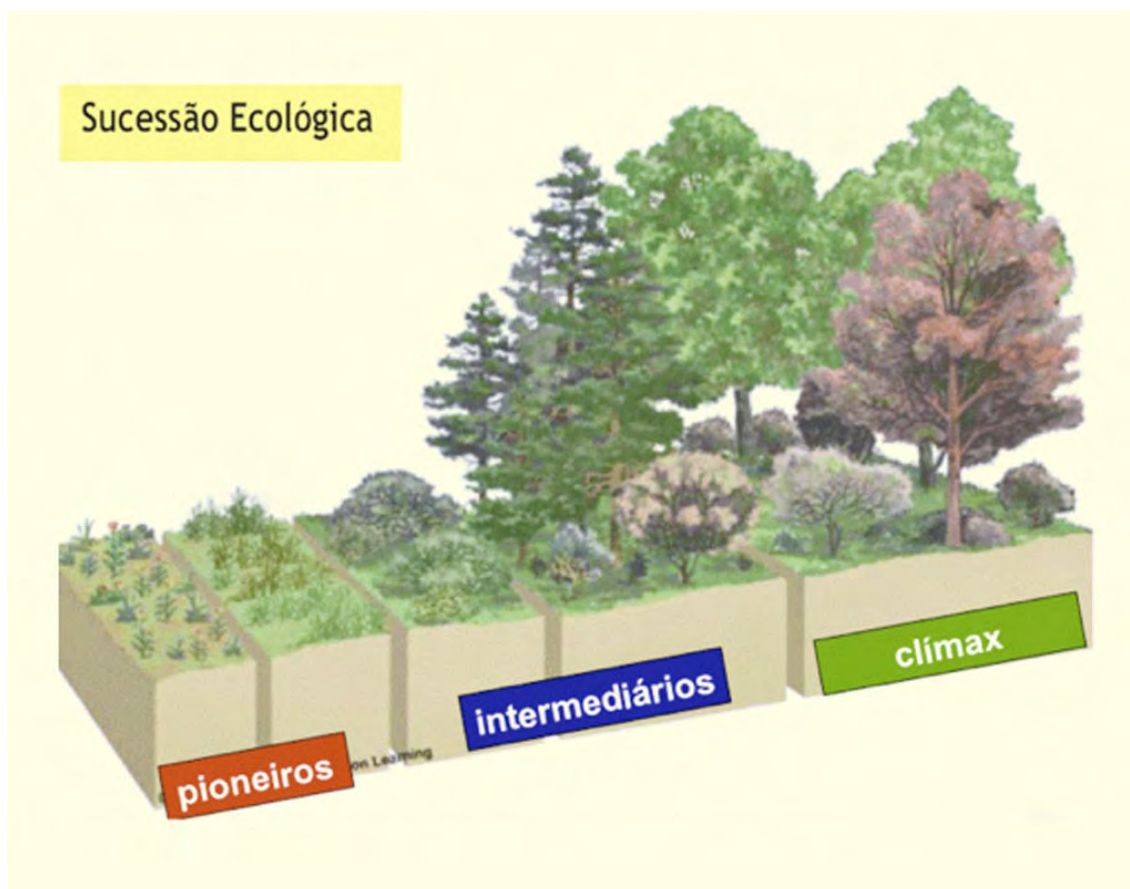


Figura 4.16: Sucessão Ecológica

Fonte: Sucessão... (2014).

A **sucessão primária** ocorre quando a instalação dos organismos que irão colonizar a região, ou seja, a sequência de espécies, se dá em uma área desabitada por plantas e animais. Exemplificando: dunas recém-formadas, rochas inabitadas e estradas abandonadas.

Os primeiros organismos a se estabelecerem nesse ambiente devem ser pouco exigentes e facilmente adaptáveis às condições desfavoráveis do ambiente, como altas temperaturas, pouca água, ausência de solo para fixação etc. Kobiyama et al. (2001) explicam que esses organismos recebem o nome de **comunidade pioneira** e normalmente são autótrofos, como algas e cianofíceas que possuem boa capacidade de assimilar nitrogênio.

Com o passar do tempo, são produzidos nutrientes inorgânicos a partir da decomposição de fezes, tecidos e organismos mortos, como nitratos e fosfatos, que permitem a sobrevivência de gramíneas, herbáceas e alguns animais de pequeno porte. A esses organismos é dado o nome de **comunidades intermediárias** (PIOLLI et al., 2004). As comunidades intermediárias fornecem um ambiente propício ao desenvolvimento de árvores de ciclo de vida longo, que formam então a **comunidade clímax**. A estabilidade da comunidade clímax está associada ao aumento tanto da biodiversidade como da complexidade das relações alimentares.

Já a **sucessão secundária** ocorre quando a instalação dos organismos se dá em uma área em que outra comunidade esteve previamente presente e foram destruídas pela intervenção humana ou por mudanças climáticas. Exemplificando: uma área desmatada ou queimada.

Esse tipo de sucessão costuma ser mais rápida que a primária visto que alguns microrganismos e um banco de sementes que ocupavam previamente o solo podem permanecer, tornando o solo mais favorável à recolonização. No entanto, dependendo do grau de perturbação no local, a sucessão poderá demorar mais tempo, como o exemplo citado por Ricklefs (2010), em que um incêndio intenso pode queimar através das camadas orgânicas do solo da floresta, destruindo os resultado de centenas ou milhares de anos do desenvolvimento da comunidade.

Assim, resumidamente, a sequência completa de comunidades que se substituem mutuamente em uma determinada localização é denominada de sere; as comunidades transitórias são denominadas de estágios serais. O estágio seral inicial é denominado de estágio pioneiro, caracterizado por espécies com altas taxas de crescimento, pequeno tamanho, curto tempo de vida e grande taxa de produção de sementes de fácil dispersão. Na etapa de maturidade, o sistema estabelece o clímax, que persistirá até que seja afetado por grandes perturbações (PINTO-COELHO, 2000; ODUM; BARRETT, 2007).

No que se refere à comunidade clímax, Ricklefs (2010) cita que os ecólogos, ao estudarem a sucessão, perceberam que muitas seres encontradas em uma região, cada uma se desenvolvendo sob um conjunto de condições ambientais locais particulares, progredem em direção a estados de clímax semelhantes, como resultado de alguns fatores, incluindo:

a intensidade da perturbação, o tamanho da área que ela produz, assim como as condições físicas durante o início da sucessão, principalmente o clima. Assim, a progressão de formas de crescimento pequenas para grandes modifica as condições de luz, temperatura, umidade e nutrientes do solo, e, após a vegetação atingir seu crescimento máximo, essas condições mudam mais lentamente.

REFLITA

As atividades humanas, como caça, fogo e o uso de madeira, podem impedir que a maioria das comunidades atinjam um estado estacionário. Assim, as comunidades são continuamente transformadas pelo desaparecimento de consumidores-chave, de espécies inteiras de árvores e florestas, bem como pela mudança do clima e introdução de espécies invasoras.

Fonte: Risklefs (2010, p. 360).

Ricklefs (2010, p. 352) traz um exemplo de sucessão ecológica, nas dunas de areia recentemente formadas na extremidade sul do Lago Michigan:

As dunas de areia são primeiro invadidas por gramíneas gavieiro e caule-azul. Os indivíduos dessas espécies crescem na borda de uma duna enviando seus rizomas sob a superfície da areia, do qual novos brotos surgem. Estas gramíneas estabilizam a superfície da duna e adicionam detritos orgânicos à areia. As herbáceas anuais seguem estas gramíneas para dentro das dunas, enriquecendo ainda mais e estabilizando o solo arenoso e gradualmente criando condições adequadas para o estabelecimento dos arbustos: cereja-de-areia, o salgueiro-de-duna, a uva-ursina e o junípero. Esses arbustos são seguidos pelos pinheiros, mas os pinheiros não se ressemeiam bem após o seu estabelecimento inicial. Após uma ou duas gerações, os pinheiros dão lugar às florestas de faia, carvalho, bordo e cicuta, que são características de outros solos na região.

De acordo com Ricklefs (2010), os ecólogos Joseph Connell e R. O. Slatyer classificaram o conjunto diverso de processos que governam o processo da sucessão em três categorias:

facilitação, inibição e tolerância. De forma que essas categorias descrevem o efeito de uma espécie sobre a possibilidade de uma segunda espécie se estabelecer:

- **Facilitação:** processo pelo qual uma espécie modifica as condições do meio, aumentando a probabilidade de uma segunda espécie se estabelecer. A exemplo das plantas colonizadoras que capacitam as espécies dos estágios tardios a invadir.
- **Inibição:** se refere aos indivíduos de uma espécie que podem inibir os de outra comendo-os, reduzindo seus recursos, ou atacando-os com químicos nocivos ou comportamentos antagonistas. A inibição nos estágios iniciais de uma sere pode impedir o atingimento do clímax. A inibição pode criar o chamado efeito da prioridade, em que a interação entre duas espécies depende de qual se estabelece primeiro;
- **Intolerância:** a colonização numa sere de uma espécie depende da sua capacidade de dispersão e tolerância às condições físicas do ambiente. A exemplo dos competidores pobres, que possuem ciclos de vida mais curtos, mas que normalmente toleram condições estressantes, assim, esses se estabelecem rapidamente, dominando os estágios iniciais da sucessão, para posteriormente serem substituídos por competidores melhores.

Para finalizarmos esse tópico, você se lembra do que discutimos na unidade II? De acordo com Braga et al. (2005), à medida que se avança na sucessão ecológica, a taxa respiratória aumenta, levando a uma redução na produtividade líquida do ecossistema. A produtividade bruta também aumenta, ou seja, nos ecossistemas maduros, a energia fixada por meio da fotossíntese é consumida pela respiração. Já quanto aos ciclos biogeoquímicos, como do nitrogênio e do fósforo que nós já estudamos, eles tendem a se fechar, aumentando a independência do ecossistema em relação ao meio externo, de forma que os decompositores desempenham papéis fundamentais.

Características da Sucessão Ecológica

A análise das sucessões ecológicas permitiu os estudiosos determinarem diversas características, que se encontram no Quadro 4.3:

Quadro 4.3: Generalizações da sucessão ecológica

Características do ecossistema	Estágios pioneiros e transitórios	Estágios climáticos ou próximos do clímax
Razão produção bruta/biomassa	Maior que 1	Tende a 1
Produção líquida da comunidade	Elevada	Baixa
Respiração da comunidade	Baixa	Elevada
Razão produção bruta/respiração	$P > R$	$P = R$
Biomassa	Baixa	Elevada
Cadeias tróficas	Lineares	Ramificadas
Diversidade de espécies	Poucas espécies	Muitas espécies
Tamanho dos organismos	Pequeno	Grande
Nichos ecológicos	Estreitos	Amplos
Duração da vida das espécies	Curta	Elevada
Importância da simbiose	Rara	Mais frequente
Relações interespecíficas	Raras	Diversificadas
Estratégias demográficas	<i>r</i> -estrategistas	<i>k</i> -estrategistas

Mecanismo de regulação	Independente da densidade	Dependente da densidade
Complexidade do ecossistema	Fraca	Forte
Estabilidade resiliente	Forte	Fraca
Estabilidade remanescente (resistência)	Fraca	Forte

Fonte: Dajoz (2008, p. 333).

Assim, por meio do Quadro 4.3, observa-se que:

- Os ecossistemas próximos do clímax são mais organizados e mais complexos do que aqueles próximos ao estágio pioneiro. A taxa de renovação da biomassa P/R (produção bruta/respiração) diminui conforme a sucessão avança para o clímax.
- A razão P/R é superior a 1 nos ecossistemas jovens e tende a 1 nos ecossistemas próximos ao clímax. Dessa forma, nos ecossistemas jovens há maior produção de biomassa.
- A diversidade de espécies aumenta ao longo das sucessões, por causa do aumento da heterogeneidade do meio.
- As cadeias alimentares, inicialmente dominadas por herbívoros, tornam-se mais complexas, em que os detritívoros ocupam um espaço cada vez maior.
- Os nichos ecológicos das espécies tornam-se cada vez mais especializados com a aproximação do estágio clímax.
- A mobilidade das espécies tende a diminuir nos meios climáticos, uma vez que, nesse estágio, elas encontram os recursos necessários a sua sobrevivência;
- As espécies dos estágios pioneiros costumam ser *r*-estrategistas (oportunistas), enquanto que as espécies dos estágios de clímax aproveitam-se das condições deixadas pelas espécies pioneiras, sendo assim, *k*-estrategistas.
- As relações interespecíficas evoluem com a sucessão. A simbiose e a competição

são mais frequentes próximo do clímax.

- Em geral, o clima é instável e imprevisível nos ambientes ocupados por estágios pioneiros, ao contrário dos ambientes climáticos.

ATIVIDADE SUCESSÃO ECOLÓGICA

Quando a sucessão ecológica ocorre em uma área onde outra comunidade já esteve previamente presente e foi destruída por causas naturais ou antrópicas, tem-se:

- a) Sucessão primária.
- b) Sucessão secundária.
- c) Clímax.
- d) Estágio seral.
- e) Sere.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: A economia da natureza

Editora: Guanabara Koogan

Autor: Robert E. Ricklefs

ISBN: 978-8527716772

Comentário: O livro segue três princípios para a condução dos estudos: primeiramente, por meio de uma sólida base em história natural, trazendo conceitos da vida e do meio ambiente, em segundo lugar, pela apreciação do organismo como unidade fundamental da ecologia, passando pelas populações, comunidades e ecossistemas; por fim, o livro traz algumas aplicações ecológicas.

CONCLUSÃO DO LIVRO

Caro(a) aluno(a), para compreendermos melhor os conceitos ecológicos, este livro foi dividido em quatro unidades. Na unidade I, tratamos da história e importância da ecologia para a humanidade, como estudar ecologia e ecologia na prática. Também vimos que a ecologia possui três níveis de interesse: organismos, populações e comunidade; além disso, vimos que os ecólogos também focalizaram seus estudos no ecossistema, classificando estes em terrestres e aquáticos (marinhos e de água doce).

Na unidade II, descrevemos as rotas seguidas pela energia e pela matéria através dos elementos vivos (bióticos) e não vivos (abióticos) do ecossistema. Vimos que a energia solar é a principal fonte de energia, necessária para a sobrevivência dos seres vivos, a qual é transferida de um organismo para outro, por meio do fluxo de energia. Por fim, também vimos os ciclos biogeoquímicos e sua importância para os seres vivos.

Na unidade III, estudamos sobre as populações, um conjunto de indivíduos da mesma espécie que habitam uma determinada região geográfica, bem como sobre os fatores limitantes da distribuição e abundância dos organismos e as tendências e flutuações em seus números.

Por fim, na unidade IV, estudamos sobre as comunidades, número maior ou menor de populações que interagem com indivíduos de outras espécies que habitam uma determinada região geográfica. Nesta unidade, pudemos aprender sobre as relações ecológicas e vimos que essas podem ser desenvolvidas em uma comunidade, harmônica ou desarmonicamente, entre indivíduos de uma mesma espécie e entre indivíduos de espécies diferentes. Ao final, estudamos sobre a sucessão ecológica, que diz respeito ao processo de substituição de uma comunidade por outra, em uma determinada área.

Espero que este material tenha fornecido a você o entendimento da importância da ecologia no contexto interdisciplinar e de sua vida profissional. Sua participação nas aulas, a leitura das unidades e a busca de informações complementares nos livros recomendados são essenciais para o aprendizado. Bons estudos e até mais!

REFERÊNCIAS

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Fundamentos da biologia moderna**. 4. ed. São Paulo: Moderna, 2006.

ARAGUAIA, M. Inquilinismo. **Brasil Escola**. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/biologia/inquilinismo.htm>>. Acesso em: 06 dez. 2017.

BARRETT, G. W.; ODUM, E. P. The twenty-first century: The world at carrying capacity. **Bioscience**, v. 50, p. 363-368, 2000.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia**: de indivíduos a ecossistemas. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

BETTAS, C. O fenômeno da maré vermelha. **Carlos Bettas RN**. Disponível em: <<http://carlosbettasrn.blogspot.com.br/2014/06/mare-vermelha.html>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

BRAGA, B.; HESPANHOL, H.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L. de.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; ELGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CALIJURI, M. do C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental**: conceitos, tecnologia e gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

DAJOZ, R. **Princípios de ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2008.

EINE, A. Dois leões africanos masculinos jogam, lutam e rugem no zoológico, ângulo baixo. **123RF**. Disponível em: <https://br.123rf.com/stock-photo/briga_de_le%C3%B5es.html?imgtype=0&oriSearch=le%C3%B5es&sti=mcgzv87ng37jiq7nz5&mediapopup=76071964>. Acesso em: 6 nov. 2017.

GODEFROID, R. S. **Ecologia de sistemas**. Curitiba: InterSaberes, 2016.

GOINYK, V. Coral Reef e Tropical Fish in Sunlight. Singapore aqu. **123RF**. Disponível em: <<https://br.123rf.com/stock-photo/corais.html?imgtype=0&oriSearch=biodiversidade&sti=md56gtimjovm7xyam8%7C&mediapopup=35304335>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

GOINYK, V. Panda gigante faminto urso comer bambu. **123RF**. Disponível em: <https://br.123rf.com/stock-photo/pandas.html?imgtype=0&oriSearch=animais+da+savana&sti=nunqxd375d5loz1ng%7C&mediapopup=35302704>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas de população**. 2017. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2017/estimativa_dou_2017.pdf>. Acesso em: 17 out. 2017.

IMAGESOURCEPREM. Vista de Whitetip Oceanic. **123RF**. Disponível em: https://br.123rf.com/stock-photo/tubar%C3%A3o_e_peixe_piloto.html?imgtype=0&oriSearch=tubar%C3%A3o+e+peixe+palha%C3%A7o&sti=nj0ke6xkj0gv58wmvz|&mediapopup=82295038>. Acesso em: 6 dez. 2017.

KOBIYAMA, M. MINELLA, J. P. G.; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe Agropecuário**, v.22, n.210, p.10-17, 2001.

LIGHTWISE. Pet Tick como um grupo de cães e gatos carrapatos na pele como um close-up magnification de um parasita fêmea engorged com o sangue do hospedeiro como um símbolo veterinário cuidados de saúde para doença perigosa causando pragas de insetos. **123RF**. Disponível em: https://br.123rf.com/stock-photo/carrapato_cachorro.html?imgtype=0&oriSearch=preda%C3%A7%C3%A3o&sti=liyinu8mjb6kb3rb7b%7C&mediapopup=41508426>. Acesso em: 6 dez. 2017.

MARCEL, G. Competição interespecífica: efeitos ecológicos. **Eu quero Biologia**, 12 fev. 2014. Disponível em: <http://www.euquerobiologia.com.br/2014/02/competicao-interespecifica-efeitos.html>>. Acesso em: 6 nov. 2017.

MICORRIZAS. **Algo Sobre**. Disponível em: <https://www.algosobre.com.br/biologia/micorrizas.html>>. Acesso em: 6 dez. 2018.

MIHTIANDER. Cows grazing on an autumn meadow. **123RF**. Disponível em: <https://br.123rf.com/stock->

photo/vaca_comendo_grama.html?imgtype=0&oriSearch=briga+de+le%C3%B5es&sti=nurg3zhf4houwyf6gk|&mediapopup=11149603>. Acesso em: 6 dez. 2017.

Mutualismo. Escola Kids. Disponível em: <<http://escolakids.uol.com.br/mutualismo.htm>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

NADAI, M. Por que a aranha viúva-negra mata o macho após o acasalamento? **Mundo Estranho**, 19 ago. 2016. Disponível em: <<https://mundoestranho.abril.com.br/mundo-animal/por-que-a-aranha-viuva-negra-mata-o-macho-apos-o-acasalamento/#>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.

ODUM, E. P. **Fundamentos de ecologia**. 6. ed. São Paulo: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de ecologia**. 5. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

PERONI, N.; HERNÁNDEZ, M. I. M. **Ecologia de populações e comunidades**. Florianópolis: CCB/EAD/UFSC, 2011.

PIMM, S. L. **Food Webs**. Londres: Chapman and Hall, 1982.

PINTO-COELHO, R. M. **Fundamentos em ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2000.

PIOLLI, A. L.; CELESTINI, R. M.; MAGON, R. **Teoria e prática em Recuperação de Áreas Degradadas**: Plantando a semente de um mundo melhor. Serra Negra: SEMA/Governo do Estado de São Paulo/FEHIDRO, 2004.

PIXPHOTO. B. **123RF**. Disponível em: <https://br.123rf.com/photo_55393569_african-buffalo-with-a-watchful-eye-and-with-yellow-billed-oxpecker-on-its-head.html?fromid=WWIrN2NjT1pQVHFrcjFsbnkxQkFTQT09>. Acesso em: 6 dez. 2017.

PHOTOALTO. Chita africana do leste (*Acinonyx jubatus raineyii*) comendo sua presa. **123RF**. Disponível em: <<https://br.123rf.com/stock->

photo/preda%C3%A7%C3%A3o.html?imgtype=0&oriSearch=abelhas&sti=lttoehzvy7bzzdzi7x%7C&mediapopup=89384505>. Acesso em: 6 dez. 2017.

RICHEY-SCHMITZ, S. Imagem conceptual de animais selvagens africanos comuns de safari que se re. **123RF**. Disponível em: <https://br.123rf.com/stock-photo/animais_da_savana.html?imgtype=0&oriSearch=zebra+e+girafa&sti=lfui4auhellkhn48no/&mediapopup=70137250>. Acesso em: 6 dez. 2017.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

SADAVA, D.; HELLER, H. C.; ORIAN, G. H.; PURVES, W. K.; HILLIS, D. M. **Vida, a ciência da biologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. v. 2.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço. Técnica e Tempo. Razão e Emoção**. 2. ed. São Paulo: Hucitec, 1997.

SERGDIBROVA. Coral and fishes in the Red Sea, Egypt. **123RF**. Disponível em: <https://br.123rf.com/stock-photo/col%C3%B4nia_de_corais.html?sti=obapoiea3mz5p8jlda%7C&mediapopup=13130145>. Acesso em: 6 dez. 2017.

SILVA, C. **Gestão da biodiversidade: os desafios para o século XXI**. Curitiba: InterSaberes, 2014.

SUCESSÃO Ecológica. **Uma Carol**, 8 abr. 2014. Disponível em: <<http://aquiumacarol.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. **Fundamentos em ecologia**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

TRISCHBERGER, R. Abelhas est. **123RF**. Disponível em: <<https://br.123rf.com/stock-photo/abelhas.html?imgtype=0&oriSearch=col%C3%B4nia+de+corais&sti=o57n2aq3x38l38mxlt%7C&mediapopup=39525056>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

WWF. **A família das pegadas.** Disponível em:
<http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/pegada_ecologica/a_familia_das_pegadas/>. Acesso em: 24 set. 2017.