



1



INTRODUÇÃO À ECOLOGIA

*Natalia Hanazaki, Mauricio Petrucio,
Sofia Zank, Fernando Pol Mayer*

Introdução à Ecologia



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA

BIOLOGIA
licenciatura a distância

Introdução à Ecologia

Natalia Hanazaki
Mauricio Petrucio
Sofia Zank
Fernando Pol Mayer



Ministério da
Educação



2ª Edição e 1ª Reimpressão
Florianópolis, 2013.

Governo Federal

Presidenta da República: Dilma Vana Rousseff

Ministro da Educação: Aloízio Mercadante

Diretor de Educação a Distância/CAPES: João Carlos Teatini

Universidade Federal de Santa Catarina

Reitora: Roselane Neckel

Vice-Reitora: Lúcia Helena Martins Pacheco

Núcleo UAB/UFSC: Sônia Maria Silva Corrêa de Souza Cruz

Pró-Reitoria de Graduação: Roselane Fátima Campos

Pró-Reitoria de Pós-Graduação: Joana Maria Pedro

Pró-Reitoria de Pesquisa: Jamil Assereuy Filho

Pró-Reitoria de Extensão: Edison da Rosa

Pró-Reitoria de Planejamento e Orçamento: Beatriz Augusto de Paiva

Pró-Reitoria de Administração: Antônio Carlos Montezuma Brito

Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis: Lauro Francisco Mattei

Secretaria de Aperfeiçoamento Institucional: Airtton Lisle Cerqueira Leite Seelaender

Secretaria de Cultura: Paulo Ricardo Berton

Secretaria Especial de Gestão de Pessoas: Neiva Aparecida Gasparetto Cornélio

Secretaria de Relações Internacionais: Luiz Carlos Pinheiro Machado Filho

Centro de Ciências da Educação: Nestor Manoel Habkost

Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas na Modalidade a Distância

Diretora Unidade de Ensino: Sonia Gonçalves Carobrez

Coordenadora de curso: Viviane Mara Woehl

Coordenadora de Tutoria: Leila da Graça Amaral

Coordenação Pedagógica: LANTEC/CED

Coordenação de Ambiente Virtual: Michel Kramer B. de Macedo

Comissão Editorial Viviane Mara Woehl, Alexandre Verzani Nogueira, Milton Muniz

Equipe de Desenvolvimento de Materiais

Laboratório de Novas Tecnologias - LANTEC/CED

Coordenação Pedagógica das Licenciaturas a Distância UFSC/CED/CFM

Coordenação Geral: Juliana Cristina Faggion Bergmann

Núcleo de Formação: Andréa Lapa

Núcleo de Criação e Desenvolvimento de Materiais: Juliana Cristina Faggion Bergmann

Material Impresso e Hipermídia

Coordenação Cíntia Cardoso

Adaptação do Projeto Gráfico Laura Martins Rodrigues, Thiago Rocha Oliveira

Diagramação Camila Piña Jafelice, Steven Nicolás Franz Peña, Laura Martins Rodrigues

Ilustrações Karina Silveira, Lissa Capeleto, Felipe Oliveira Gall, Gabriela Dal Toé Fortuna

Capa Steven Nicolás Franz Peña

Tratamento de Imagens Camila Piña Jafelice

Design Instrucional

Coordenação Sila Marisa de Oliveira

Designer Instrucional Mariana Coutinho Hennemann

Apoio Técnico Mariana Giraldo, Elaine Mitie Nakamura, Rubana Palhares Alves

Revisão gramatical Christiane Maria Nunes de Souza, Gustavo Andrade Nunes Freire, Jaqueline Tartari

Copyright © 2013 Licenciaturas a Distância BIOLOGIA/EAD/UFSC

Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada sem a prévia autorização, por escrito, da Universidade Federal de Santa Catarina.

In894 Introdução à Ecologia / Natalia Hanazaki...[etal]
2. ed. e 1. reimp. – Florianópolis : BIOLOGIA/EAD/UFSC, 2013.
86p.

ISBN 978-85-61485-22-1

1. Ecologia geral. 2. Ecossistema. I. Hanazaki, Natalia. II. Título

CDD 574.5

Sumário

Apresentação.....	7
1 Introdução e histórico da Ecologia.....	9
1.1 A Ciência Ecologia.....	11
1.2 Histórico.....	12
1.3 Níveis de Organização.....	16
<i>Bibliografia complementar comentada.....</i>	<i>20</i>
<i>Referências</i>	<i>20</i>
2 Conceitos e definições em Ecologia	21
2.1 Indivíduo.....	23
2.2 População	24
2.3 Comunidade.....	25
2.4 Ecossistema.....	27
2.5 Biomas	27
2.6 Fatores Limitantes	28
2.7 Hipótese de Gaia	30
2.8 Interações interespecíficas.....	32
<i>Bibliografia complementar comentada.....</i>	<i>35</i>
<i>Referências</i>	<i>35</i>
3 Ecologia de ecossistemas	37
3.1 Componentes e funções do ecossistema.....	39
3.2 O lago como um microcosmo	40
3.3 Biomas Brasileiros	42
3.4 Homeostasia e Estabilidade do ecossistema	45
<i>Bibliografia complementar comentada.....</i>	<i>48</i>
<i>Referências</i>	<i>48</i>

4 Estrutura trófica e fluxo de energia..... 49

4.1 Níveis tróficos	51
4.2 Energia e Termodinâmica.....	52
4.3 Fotossíntese e quimiossíntese.....	54
4.4 Produtividade primária e padrões de produtividade	55
4.5 Pirâmides de energia, de número e de biomassa	57
4.6 Cadeias e teias alimentares.....	59
<i>Bibliografia complementar comentada.....</i>	<i>62</i>
<i>Referências</i>	<i>62</i>

5 Ciclagem de nutrientes 63

5.1 Definições.....	65
5.2 Ciclo da água	67
5.3 Ciclo do carbono	68
5.4 Ciclo do nitrogênio.....	70
5.5 Ciclo do fósforo.....	72
5.6 Ciclo do enxofre.....	73
<i>Bibliografia complementar comentada.....</i>	<i>76</i>
<i>Referências</i>	<i>76</i>

6 Ecossistemas aquáticos continentais..... 77

6.1 Ecologia de lagos.....	79
6.2 Ecologia de rios.....	82
6.3 Ecologia de reservatórios	84
<i>Referências</i>	<i>85</i>

Apresentação

A disciplina Introdução à Ecologia tem como objetivo geral fornecer ao aluno um conhecimento básico sobre os fatores do ambiente físico e biótico e descrever as principais características que regem os padrões de organização das comunidades biológicas em ecossistemas naturais e artificiais. Para isso, estudaremos alguns marcos históricos da Ecologia e conceitos que fundamentam essa área de estudo, como por exemplo, os conceitos de níveis de organização, ciclagem de nutrientes, ciclos biogeoquímicos e fluxo de energia por meio das comunidades nos ecossistemas.

Analisaremos os efeitos das atividades humanas sobre os ecossistemas, com ênfase nas alterações dos ciclos biogeoquímicos e nas comunidades biológicas.

A Ecologia é hoje uma área das Ciências Biológicas extremamente vasta. Hoje, há muitas subdivisões com diferentes enfoques dentro da Ecologia: ecologia de comunidades, ecologia de populações, ecologia animal, ecologia vegetal, modelagem ecológica, macroecologia, ecologia da paisagem, ecologia humana, limnologia, ecologia marinha, só para citar alguns poucos exemplos. Diferente de outras áreas, que têm a tendência de afunilar o conhecimento, aprofundando-se na compreensão de um determinado tema, o aprofundamento na Ecologia é construído por meio da compreensão dos padrões gerais que organizam a estrutura e o funcionamento das populações e das comunidades bióticas nos ecossistemas.

A disciplina está organizada em conteúdos teóricos, conteúdos práticos e práticas como componente curricular (PCC). O principal norteador de conteúdos é este livro texto. O desenvolvimento das aulas práticas será efetuado a partir do material disponível no ambiente virtual de aprendizagem (AVEA). O material on-line, disponível no AVEA, traz também conteúdos complementares a este livro texto. Muitas atividades práticas desta disciplina dependem da vivência no ambiente e serão realizadas em campo, com o apoio dos tutores da disciplina.

Introdução e histórico da Ecologia

Este Capítulo tem por objetivo estabelecer um posicionamento teórico da Ecologia como Ciência, bem como discutir diferentes formas de abordagem da ecologia.

1.1 A Ciência Ecologia

Nos dias atuais, o termo “Ecologia” não corresponde a um bloco homogêneo e compacto de pensamento. Inseridos nesse termo, podemos encontrar os mais variados pontos de vista e posições políticas. É fundamental, então, posicionar a Ecologia no âmbito de uma Ciência.

A Ecologia começou a se tornar Ciência em 1900. No entanto, suas raízes estão na história natural, que é tão antiga quanto a própria humanidade. O interesse dos seres humanos pelo ambiente está arraigado desde os primeiros tempos da nossa existência. Uma das condições fundamentais para a sobrevivência da espécie humana desde os seus primórdios era o conhecimento sobre o seu ambiente. Embora tal conhecimento não fosse um estudo acadêmico, ele era útil para fazer associações entre o clima e as plantas ou sobre os locais de ocorrência dos animais.

Nas sociedades primitivas, esse conhecimento foi fundamental para suprir as necessidades básicas do ser humano, como por exemplo, a alimentação, por meio da caça de animais e da coleta de vegetais e, mais adiante, por meio da agricultura. Se nossos ancestrais não soubessem como utilizar os recursos do ambiente, certamente não estaríamos aqui hoje.

Até a década de 1960, a Ecologia não era considerada uma disciplina relevante para a sociedade. Mas, à medida que a civilização se tornou complexa, nossas necessidades acompanharam essa

complexidade e também se diversificaram. Se antes necessitávamos de recursos basicamente para a alimentação, hoje precisamos de uma gama muito maior de recursos naturais. Paralelamente, o nosso entendimento sobre o ambiente também se tornou mais complexo, além de fundamental, e a Ecologia passou a ser uma Ciência com enorme relevância.

Ecologia e ambiente são termos que aparecem com frequência na mídia e em publicações de divulgação. É inquestionável que grande parte dessas discussões da mídia sobre ecologia e ambiente é gerada pelos efeitos da ação humana sobre os elementos e processos naturais. Entretanto, alguns autores defendem que a ciência básica da ecologia não é sinônimo do estudo dos efeitos da humanidade sobre o ambiente e sobre os outros organismos, pertencendo este tema à Ciência Biologia da Conservação. Porém, existe um consenso de que, para compreender e evitar esses problemas relacionados à crise ambiental, o estudo dos princípios ecológicos básicos é de fundamental importância.

Biologia da Conservação

A Biologia da Conservação é uma ciência multidisciplinar que foi desenvolvida como resposta à crise com a qual a diversidade biológica se confronta atualmente. Possui dois objetivos: primeiro, entender os efeitos da atividade humana nas espécies, comunidades e ecossistemas, e, segundo, desenvolver abordagens práticas para prevenir a extinção de espécies e, se possível, reintegrar as espécies ameaçadas ao seu ecossistema funcional.

1.2 Histórico

A ciência da ecologia foi bastante influenciada pela tradição dos historiadores naturais dos séculos XVIII e XIX, como Buffon, Lineu, Darwin, Wallace, Humboldt, entre muitos outros. Nesse mesmo período, surgiram também obras que tiveram grande impacto na formação da Ecologia, como os trabalhos de Malthus sobre crescimento populacional e demografia. Muito tempo antes, porém, podemos encontrar obras de natureza claramente ecológica entre os filósofos clássicos da cultura grega, pois estes

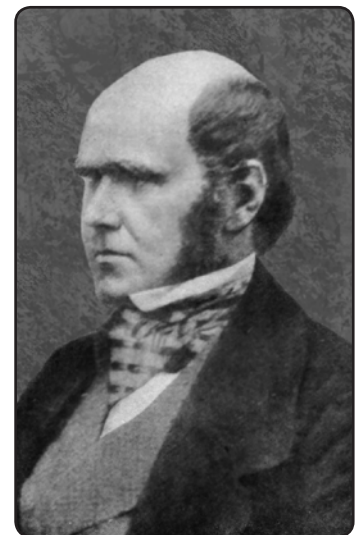


Figura 1 - Charles Darwin.

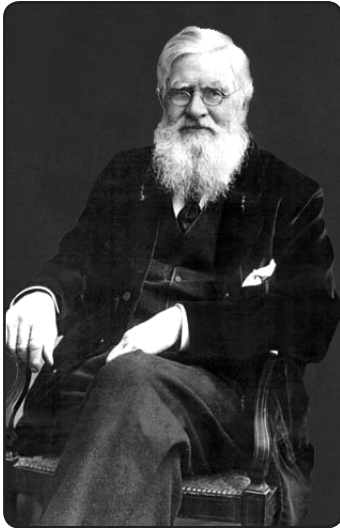


Figura 2 - Alfred Russel Wallace.

Etologia diz respeito ao estudo do comportamento animal. Dois pesquisadores que foram importantes na consolidação dessa área de estudo são o zoólogo austríaco Konrad Lorenz (1903 - 1989), que estudou o comportamento de gansos, e o ornitólogo holandês "Niko" Tinbergen (1907 - 1988).

compreendiam o ambiente de forma integrada. Entre eles podemos citar nomes como Aristóteles e Hipócrates. Aristóteles era um verdadeiro naturalista, mas foi seu sucessor, Theophrastus, quem começou o estudo sistemático e formal do ambiente.

Dois naturalistas e uma teoria: a seleção natural

Charles Darwin (1809 - 1882) é mundialmente conhecido por sua obra "A Origem das espécies", fruto de suas observações como naturalista de bordo do navio H. M. S. Beagle. Darwin demorou mais de vinte anos para publicar seu primeiro manuscrito sobre a seleção natural. Contemporâneo a Darwin, um jovem naturalista chamado Alfred Russel Wallace (1823 - 1913) concebeu, independentemente, a ideia de seleção natural. Wallace baseou-se em observações e coletas de espécies na Malásia e na América do Sul.

Além dessa forte influência da história natural, a Ecologia se diferencia de outras ciências que tendem à análise e que tentam circunscrever e dividir seu campo de trabalho. A Ecologia é uma ciência de síntese, de confluência de diferentes disciplinas. Quatro disciplinas que guardam uma relação direta com essa ciência são a genética, a evolução, a fisiologia e a **etologia** (Figura 3).

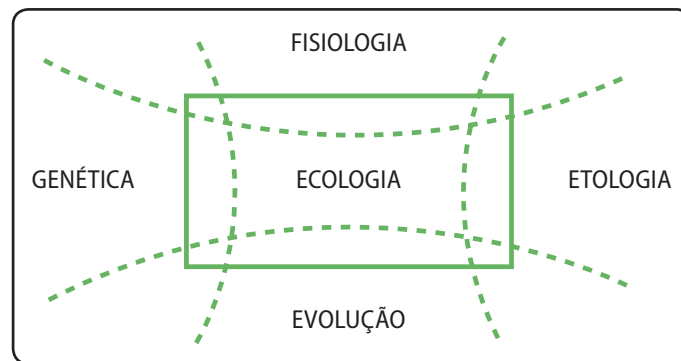


Figura 3 - Posicionamento esquemático da Ecologia e de quatro disciplinas relacionadas
Fonte: modificado a partir de Krebs (1972).

Devido à influência da história natural, no início do seu desenvolvimento, a Ecologia era fundamentalmente descritiva, pormenorizando a descrição e classificação de diferentes elementos ecológicos de sistemas como a tundra, os desertos, as florestas tropicais, as savanas, entre outros.

Esse enfoque forneceu o embasamento necessário para entender e explicar, em termos gerais, a origem e os mecanismos das interações dos organismos entre si e com o mundo abiótico.

Para a elaboração dessas teorias gerais da natureza, os ecólogos procuram construir modelos da realidade que geram previsões sobre o que acontece na natureza. A grande complexidade dos sistemas ecológicos requer o uso de modelos gráficos e matemáticos, de modo que os ecólogos geralmente necessitam tanto da Matemática quanto da Biologia.

O termo “Ecologia” é atribuído ao biólogo alemão Ernst Haeckel (1834 - 1919), em 1869. Segundo Haeckel, a ecologia é o estudo científico das interações entre organismos e seus ambientes orgânico e inorgânico. A palavra é derivada dos termos gregos “*Oikos*”, significando “casa” ou “lugar onde se vive”, e “*logos*”, significando “estudo”. Assim, a Ecologia pode ser compreendida como o estudo do “lugar onde se vive”, com ênfase sobre “a totalidade ou padrão de relações entre os organismos e o seu ambiente”.

Com o desenvolvimento da ciência da Ecologia, surgiram outras definições. Em 1927, Charles Elton definiu a ecologia como a história natural científica. Em 1935, Arthur G. Tansley cunhou o termo Ecossistema para incluir os organismos e todos os fatores abióticos do habitat. Em 1942, Raymond Lindeman introduziu a ideia do ecossistema como um sistema transformador de energia e forneceu uma notação formal para o fluxo nos níveis tróficos e eficiência ecológica. Na década de 1950, Eugene Odum definiu a ecologia como o estudo das relações dos organismos ou grupos de organismos com o seu ambiente, ou a ciência das inter-relações que ligam os organismos vivos ao seu ambiente. Sob esse enfoque, a Ecologia compreende o estudo das relações entre os organismos e a totalidade dos fatores físicos, químicos e biológicos que afetam ou são afetados por eles, buscando compreender como o organismo afeta seu ambiente e como este, por sua vez, afeta o organismo.

Durante as décadas de 1950 a 1960, o estudo da energética dos ecossistemas dominou a Ecologia, principalmente devido à influência de Eugene Odum e Howard Odum. Esses autores maximizaram o emprego da energia como a moeda para descrever a estrutura e a função do ecossistema.

O termo “Oikos” é a mesma raiz da palavra Economia, na qual “nomia” refere-se a manejo, gerenciamento. Assim, a economia traduz-se como “o manejo da casa”, ou o estudo do processo de produção, distribuição, circulação e consumo da riqueza. A Economia e a Ecologia, devido às suas raízes de origem, deveriam ser “disciplinas companheiras”. No entanto, no curso da história, essas áreas ficaram bem distantes, distância esta influenciada pelos modelos adotados de uso dos recursos naturais. Atualmente, devido às grandes alterações antrópicas, existe uma nova tendência de aproximação das áreas da Economia e da Ecologia em busca de um modelo de crescimento que se aproveite dos bens e serviços da natureza de maneira mais racional.

Odum e a ecologia sistêmica

Eugene P. Odum (1913 - 2002) é um dos ecólogos mais influentes do século XX. Em 1953, Odum publicou um livro chamado “Fundamentos de Ecologia”, que influenciou diversas gerações de ecólogos.

Antes de Odum, a ecologia tinha sido estudada basicamente dentro de disciplinas individuais. Odum defendeu a ecologia como uma nova ciência integrativa, e ficou conhecido como o “pai da ecologia de ecossistemas moderna”.

Uma definição bastante aceita atualmente é utilizada por Charles J. Krebs, que define a Ecologia como o estudo científico das interações que determinam a distribuição e a abundância dos organismos.

O ambiente de um organismo é composto não apenas pelas plantas e animais com os quais ele interage diretamente ou indiretamente, mas também por processos puramente físicos e por substâncias inorgânicas. As flutuações diárias de temperatura e as concentrações de oxigênio e dióxido de carbono também fazem parte do ambiente.

Um tema importante na Ecologia é a complementaridade entre duas visões, a primeira influenciada pelas definições de Odum e com uma **abordagem Holística** ou Sistêmica; e a segunda influenciada pela definição de Charles Krebs e com uma abordagem Evolutiva, na qual as interações são a força motriz do sistema.

Facilmente percebemos que o componente biótico do ambiente da maior parte dos organismos pode ser extremamente complexo. Esse componente pode incluir diversas relações interespecíficas (com indivíduos de espécies diferentes) e intraespecíficas (com indivíduos da própria espécie), e tanto interações positivas como antagonicas. Soma-se a essa grande complexidade o ambiente físico com múltiplas facetas, e veremos que a Ecologia é um campo extremamente amplo. A amplitude da Ecologia, combinada com a sua aplicabilidade aos problemas ambientais recentes, fazem da mesma um campo fascinante e com grande potencial de crescimento. Soma-se a esse potencial a possibilidade de integrar perspectivas de cunho estritamente ecológico a perspectivas socioambientais para a gestão de recursos naturais.

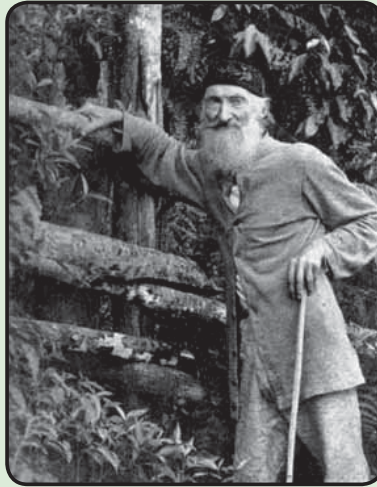
Abordagem Holística

A abordagem holística busca compreender o todo, o sistema na sua totalidade, em oposição à análise cartesiana, isto é, a separação das partes componentes do sistema. Em outras palavras, na abordagem holística, o todo não é visto como a soma das partes.

Fritz Müller: um naturalista no Brasil

No ano de 2009 comemoram-se o bicentenário do nascimento de Charles Darwin e os 150 anos da publicação do livro "A origem das espécies". Mas o que poucos sabem é sobre a existência e a importância sem precedentes dos trabalhos do naturalista chamado Fritz Müller, que viveu boa parte de sua vida em Santa Catarina. Fritz Müller nasceu na Alemanha, em 1821 e faleceu em Blumenau, em 1897. Durante a sua vida em Blumenau e em Desterro (antiga Florianópolis), Fritz Müller trocava correspondências com pesquisadores importantes da sua época, como o próprio Darwin, além de Ernst Haeckel, reportando muitas de suas observações que contribuí-

ram para fundamentar e enriquecer teoria da evolução das espécies por seleção natural de Darwin. Incrivelmente, Fritz Müller e seu legado ainda são pouco conhecidos no Brasil.



1.3 Níveis de Organização

Uma das maneiras de delimitar a Ecologia é considerá-la em termos do conceito de níveis de organização. Na Figura 4, os termos gene, célula, tecido, órgão, organismo, população e comunidade são amplamente utilizados para os principais níveis bióticos, apresentados em um arranjo hierárquico, do menor para o maior.

A Ecologia ocupa-se principalmente da parte direita desse espectro apresentado na Figura 4, em especial dos três últimos níveis de organização: organismos, populações e comunidades. Cada nível de organização representado no esquema depende dos outros níveis. Além disso, todos os níveis de organização dependem de matéria, energia e de outros componentes abióticos, tais como regime climático, temperatura e umidade.

A análise dos níveis bióticos em termos de níveis de organização reflete a importância do pensamento sistêmico na ecologia. Cada nível de organização possui propriedades emergentes em relação ao nível hierarquicamente inferior. Em outras palavras, cada nível de organização é mais do que a soma das partes dos níveis anteriores.

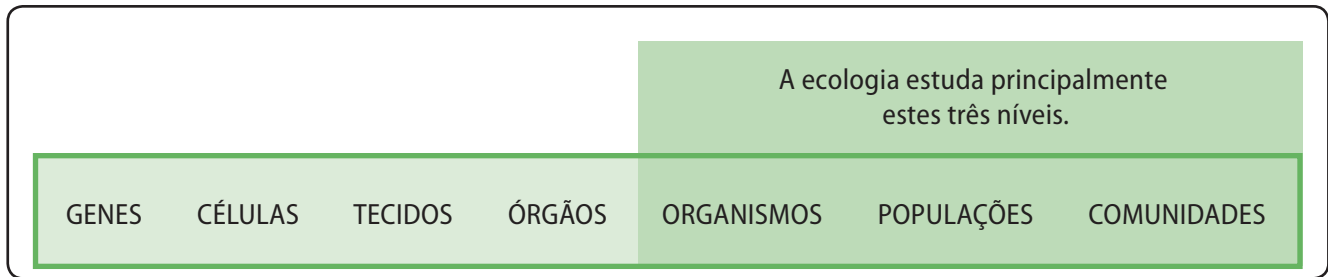


Figura 4 - Esquema ilustrando os principais níveis de organização da vida.

Por exemplo, uma população possui características de dinâmica espacial e temporal e taxas de natalidade e mortalidade, que não existem no nível de organismos individuais. Uma comunidade, por sua vez, possui características como diversidade, interações entre espécies e padrões de sucessão, que não fazem sentido quando analisamos populações isoladamente.

A ecologia pode, ainda, ser estudada à luz de diversas abordagens. Em geral denomina-se **autoecologia** o estudo da ecologia de um organismo individual ou de uma determinada espécie. O termo **sinecologia** é usualmente empregado quando o foco do interesse reside na comunidade ou na população. Um estudo autoecológico, por exemplo, pode estar interessado em analisar as interações entre o mandacaru (*Cereus jamacaru*, Cactaceae) e as espécies a ele associadas, ou mesmo as adaptações dessa espécie de Cactaceae ao clima árido da caatinga. Já um estudo com enfoque sinecológico estaria interessado em analisar o ecossistema da caatinga, onde o mandacaru é comum.



Figura 5 - *Cereus jamacaru*.

Seguindo esse raciocínio, a Ecologia pode ser subdividida em três grandes áreas: ecologia de **indivíduos**, de **populações** e de **comunidades**. Cada subdivisão possui enfoques distintos e complementares.

No nível de indivíduos, a ecologia procura saber como os organismos são afetados por seu ambiente, e também como eles o afetam. No nível de população, a ecologia ocupa-se da presença ou ausência de espécies, da sua abundância ou raridade e das tendências e flutuações em seus números. A ecologia de comunidades, então, trata da composição ou estrutura de comunidades ecológicas.

Podemos, também, focalizar as rotas de movimento seguidas pela energia e pela matéria por meio de elementos vivos e não vivos de uma quarta categoria de organização: ecossistemas (compreendendo a comunidade junto com o seu ambiente físico).

Alguns livros básicos de Ecologia optam por subdividir a ecologia segundo o tipo de ambiente ou habitat. Segundo essas subdivisões, podemos então estudar a ecologia marinha, a ecologia de água doce, a ecologia de florestas tropicais, a ecologia de desertos, entre outras. Essas divisões implicam, muitas vezes, em um certo grau de arbitrariedade, mas são úteis para a apresentação de dados descritivos do ambiente.

O enfoque principal, neste curso, será a ecologia de ecossistemas ou comunidades. Algumas definições úteis, que transcendem a ecologia de ecossistemas, serão fornecidas no Capítulo 2.

Como estudam os ecólogos (modificado de Townsend, Begon e Harper, 2006)

O objeto de interesse dos ecólogos são os ambientes naturais, no sentido mais amplo do termo. As evidências usadas nos estudos ecológicos são provenientes de diferentes fontes. Muitos estudos são feitos a partir da observação dos fenômenos naturais e dos organismos em seus ambientes, mas em várias situações os estudos ecológicos necessitam de manipulações experimentais para obter evidências seguras.

Podemos elencar diferentes perfis de estudos ecológicos. Primeiro, os estudos que envolvem a observação e o monitoramento cuidadosos em campo, que permitem acompanhar mudanças na abundância de uma ou mais espécies, tanto no tempo como no espaço. Por exemplo, um ecólogo pode estudar como varia a distribuição de vegetação ao longo de um gradiente ambiental.

Para obter explicações mais satisfatórias de alguns padrões observados é preciso buscar as causas desses padrões e, muitas vezes, essa busca necessita de um segundo tipo de abordagem, que são os experimentos de manipulação em campo. Por exemplo, tratar experimentalmente uma área pouco fértil com fertilizantes permitirá detectar se os padrões observados na vegetação estão associados a alterações na fertilidade.

Em terceiro lugar, muitas vezes, os ecólogos necessitam se voltar para experimentos laboratoriais, onde o controle de variáveis é possível. Os experimentos em campo geralmente são dispendiosos e de difícil execução. No exemplo citado anteriormente, a experimentação em campo não permitiria detectar objetivamente as diferenças de sensibilidade das várias espécies de plantas em relação à alteração na fertilidade. Além disso, podem existir outras variáveis que interferem nos resultados, além da fertilidade, como, por exemplo, a umidade do solo ou mesmo as variações na sua composição. Um experimento controlado em casa de vegetação poderia auxiliar no controle das diferentes variáveis.

Por fim, em algumas situações, a análise de modelos matemáticos é extremamente útil em estudos ecológicos, pois permite simplificar a complexidade observada na natureza e, assim, tornar mais fácil o entendimento dessa complexidade. Os modelos matemáticos permitem também efetuar projeções sobre o que poderia acontecer com o sistema ecológico em estudo, caso as variáveis atuais fossem mantidas, e o que poderia acontecer se essas variáveis fossem alteradas.

(TOWNSEND, C.; BEGON, M.; HARPER, J. **Fundamentos em ecologia**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.)

Bibliografia complementar comentada

Ecologia

MARGALEF, R.

O capítulo inicial desse livro traz um histórico da Ecologia, com ênfase para os estudos limnológicos ou estudos sobre ambientes aquáticos continentais.

MARGALEF, R. **Ecologia**. Barcelona: Omega, 1989. 951p.

Fundamentos de Ecologia

ODUM, E. P.

Níveis e organização, propriedades emergentes e fundamentos da ecologia ecossistêmica são abordados por esse volume.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 4. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971. 927p.

Referências

BEGON, M.; HARPER, J. L.; TOWNSEND, C. R. **Ecology**: individuals, populations and communities. 3. ed. Oxford: Blackwell, 1996. 1068p.

KREBS, C. J. **Ecology**: the experimental analysis of distribution and abundance. Nova Iorque: Harper & Row, 1972. 694p.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 4. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971. 927p.

RICKLEFS, R. E. **Ecology**. 3. ed. Nova Iorque: Freeman, 1990. 896p.

Conceitos e definições em Ecologia

Este Capítulo tem por objetivo fornecer definições e conceitos básicos em Ecologia. Alguns desses conceitos e definições serão aprofundados nos Capítulos seguintes, principalmente aqueles que dizem respeito a comunidades e ecossistemas.

2.1 Indivíduo

Ontogênese, ou ontogenia, estuda as transformações sofridas por um organismo desde sua origem e ao longo do seu desenvolvimento.

A noção mais intuitiva de indivíduo traz a ideia de um organismo individual ou um ser vivo individual. O organismo é a unidade mais fundamental da ecologia, o sistema ecológico elementar. Para uma boa parte dos organismos, podemos determinar algumas características que nos possibilitam definir claramente o que é um indivíduo.

Entre essas características, estão aspectos morfológicos e **ontogenéticos**, como, por exemplo, o número de olhos e de membros de um tamanduá. Espera-se que um tamanduá tenha dois olhos e quatro membros e, por mais longa que seja a sua vida, ele não desenvolverá um terceiro olho. É um tipo de organismo facilmente individualizável ou unitário. Porém, para alguns tipos de organismos, essa noção pode não ser muito clara.

Pense, por exemplo, em uma planta. Para algumas plantas, a noção de unidade é facilmente alcançada: uma árvore isolada é, provavelmente, um indivíduo. Duas árvores muito próximas já podem representar dois indivíduos ou um mesmo, caso elas tenham se desenvolvido a partir da brotação de um mesmo indivíduo e continuem, de alguma maneira, unidas por suas partes subterrâneas.

Muitas árvores, arbustos, ervas, corais e esponjas não são facilmente individualizáveis, sendo considerados, então, organismos **modulares**, pois crescem, em geral, a partir de ramificações e da produção de módulos. O seu desenvolvimento morfológico é, até certo ponto, previsível, mas não da maneira como o desenvolvi-

mento de organismos unitários é previsível. Diferente do tamanduá, que esperamos que tenha sempre quatro patas, não é possível prever o número de ramificações de uma árvore.

Segundo Townsend *et al.* (2006, p. 185), “o genete é o indivíduo que inicia a vida como um simples zigoto unicelular e vive até que todos os seus componentes modulares estejam mortos. Um módulo inicia a sua vida como um organismo multicelular independente de outra estrutura modular e completa seu ciclo de vida, da maturidade à morte, mesmo que a forma e o desenvolvimento do genete como um todo sejam indeterminados (por exemplo, folhas de uma gramínea têm um determinado tempo de existência ou longevidade). Geralmente, pensamos em organismos unitários quando escrevemos ou falamos a respeito de populações, talvez porque nós mesmos sejamos organismos unitários e também porque há mais espécies formadas por organismos unitários do que modulares. No entanto, os organismos modulares não são incomuns. A maioria da biomassa viva da Terra, e boa parte da existente nos oceanos e mares, é formada por organismos modulares: florestas, campos, recifes de coral e turfeiras. Nesses e em muitos outros casos, distinguir indivíduos pode não ser uma tarefa fácil.”

2.2 População

As populações são entidades conceituais mais abstratas do que as células ou organismos, entretanto, são reais. Uma população pode ser definida como um conjunto de indivíduos que compartilham uma determinada área geográfica, com uma alta probabilidade de cruzamentos entre si, em comparação com a probabilidade de cruzamentos com indivíduos de outra população. Portanto, o termo população refere-se a um agrupamento de indivíduos de uma mesma espécie.

Na prática, pode ser muito difícil definir os limites entre *populações*. Considerando uma escala de tempo não muito longa, muito provavelmente as populações de cedro (*Cedrela fissilis*, Meliaceae - ver Figura 6) do Sudeste brasileiro não trocam genes

As características das populações são geralmente descritas por parâmetros que, com frequência, constituem-se de valores como médias, variâncias e taxas. Esses parâmetros são impossíveis de serem definidos para um nível de organização inferior, como, por exemplo, indivíduos isoladamente.



Figura 6 - *Cedrela fissilis*
 Fonte: LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 1992. p. 25.

O termo *estrutura trófica* refere-se às relações alimentares existentes entre as populações de espécies de uma comunidade ou ecossistema.

com as populações de cedro da Região Sul do país. A probabilidade de que isso ocorra é remota, devido à separação geográfica. Entretanto, é muito mais provável que a população de juçara (*Euterpe edulis*, *Arecaceae*) de uma área remanescente de Mata Atlântica no estado de Santa Catarina troque genes com as populações de juçara de outra área remanescente próxima, se não há barreiras geográficas, para essa espécie, entre estas duas Regiões.

2.3 Comunidade

Assim como as populações possuem atributos que transcendem aos dos indivíduos que as compõem, as comunidades possuem estrutura e propriedades que não são apresentadas por suas populações componentes isoladamente. Por exemplo, as comunidades possuem *estrutura trófica*, fluxo de energia, diversidade de espécies, processos de sucessão, entre outros componentes e propriedades.

O conceito de comunidade é uma abstração, pois as comunidades raramente possuem limites bem definidos. Essa dificuldade em delimitar comunidades também está relacionada ao fato de que as interações entre as populações que compõem uma comunidade geralmente estendem-se além de limites arbitrários. Por exemplo, as migrações de aves entre regiões temperadas e tropicais representam ligações entre as comunidades dessas duas áreas.

Padrões gerais na distribuição de tipos de comunidades podem ser reconhecidos em uma escala global, naquilo que convencionalmente chamamos de biomas. Nessa escala, os ecólogos usualmente reconhecem o clima como o principal fator que determina os tipos vegetacionais.

É bom lembrar que uma comunidade pode ser definida em qualquer tamanho, escala ou nível dentro de uma hierarquia de habitats. A floresta tropical brasileira no litoral atlântico é um exemplo.

Em uma escala mais fina, podemos identificar uma comunidade em uma porção mais localizada da floresta tropical atlântica brasileira, como, por exemplo, os manguezais da região litorânea da floresta atlântica, caracterizada pela presença de algumas espécies de árvores e de um grande número de espécies de animais e micro-organismos. O estudo da comunidade pode ser focado em uma escala ainda mais fina, como, por exemplo, as características dos invertebrados que habitam o sedimento do manguezal na zona entre-marés.

Em outras palavras, uma comunidade pode ter seus limites definidos de acordo com características que signifiquem algo para nós, investigadores humanos. Mas ela também pode ser definida a partir da perspectiva de um determinado organismo da comunidade. Por exemplo, para uma lagarta em uma árvore, a única comunidade que pode interessar são algumas folhas ou galhos e os predadores e competidores que ela possa encontrar. A visão de um organismo de uma comunidade na qual ele vive irá diferir de espécie para espécie.

Um enfoque sobre as relações homem-ambiente

Dentro da Ecologia, a ecologia humana pode ser entendida como o estudo das relações entre populações humanas e o ambiente e dos fatores que afetam essas relações. A ecologia humana desenvolveu-se a partir de várias áreas, como a Geografia, a Antropologia, a Sociologia, a Psicologia e a Biologia, podendo, então, ter diferentes enfoques. Nos estudos sobre ecologia humana, é importante ressaltar a necessidade de integração das abordagens antropológicas e biológicas, para compreender como as populações humanas adaptam-se aos diferentes ambientes, integrando os domínios ecológico e social.

É importante lembrar que as relações entre o ser humano e o ambiente são mediadas pela cultura, pelas experiências acumuladas por qualquer população ao longo de gerações e pelos valores sociais e políticos que a sociedade impôs a tais relações.

Sob um ponto de vista antropocêntrico, o sucesso adaptativo da espécie humana é inegável. Desde o

nosso surgimento sobre a face da Terra, a nossa espécie habitou praticamente todos os biomas existentes na superfície terrestre. Conseguimos direcionar os recursos naturais para as nossas necessidades com um sucesso enorme, refletido no próprio crescimento populacional humano.

Entretanto, precisamos nos questionar: até que ponto somos vítimas desse sucesso? Esse questionamento é gerado principalmente pela crise ambiental e pelos desequilíbrios nos processos naturais causados pela ação humana. Nesse contexto, existe certa confusão entre ambientalismo e ecologia humana. Em muitos livros de Ecologia, quando as discussões se voltam para a espécie humana – geralmente em um Capítulo conclusivo –, estas se tornam um lamento pela tragédia ecológica humana.

Assim, as abordagens baseadas na ecologia biológica são fundamentais para que possamos perceber de fato como os humanos são parecidos com as demais espécies em suas interações com o ambiente.

2.4 Ecossistema

O ecossistema é a unidade fundamental da organização ecológica, onde ocorre a reciclagem de matéria e o fluxo de energia. As definições mais modernas de ecossistema consideram esse termo como sinônimo de comunidade. Inicialmente, considerava-se que o ecossistema seria constituído pelo clima, pelo solo, pelas bactérias, pelos fungos, pelas plantas e pelos animais de qualquer lugar definido, ou seja, um ecossistema teria componentes bióticos e abióticos. Por sua vez, os componentes bióticos de um ecossistema, ou todos os organismos vivos que nele habitam, em conjunto, constituíam uma comunidade ecológica.

Entretanto, em termos ecológicos não faz sentido separar os componentes abióticos das comunidades essencialmente bióticas. Por esse motivo, o estudo das comunidades pode ser sentido como o estudo dos ecossistemas e vice-versa.

2.5 Biomas

Os biomas são geralmente definidos como comunidades maiores de animais e plantas, características de determinadas regiões geográficas e condicionadas por condições climáticas ou **edáficas** amplas.

Por exemplo, a existência de florestas tropicais está em grande parte associada a regiões de clima tropical, assim como a tundra está restrita a regiões polares e os bosques de coníferas são predominantes em regiões com clima temperado.

Edáficas :
Condições edáficas :
são aquelas relativas ao solo. :

Consulte, como material complementar, o Capítulo 5 de RICKLEFS, R. E. **Comunidades Biológicas**: o conceito de bioma. In: Economia da Natureza. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

2.6 Fatores Limitantes

Vários fatores influenciam a distribuição, a sobrevivência, o crescimento e a reprodução dos organismos, entre eles, as condições e os recursos. Condições são fatores ambientais abióticos, físico-químicos, aos quais os organismos respondem e que podem ser modificados por eles. As condições não são consumidas e nem esgotadas, portanto não há competição pelas mesmas. Recursos são fatores requeridos pelos organismos, os quais, uma vez utilizados, tornam-se menos disponíveis para outros organismos. A escassez de recursos pode gerar competição entre os organismos. Para classificarmos os fatores em condições ou recursos, devemos responder a uma pergunta: para quem? A radiação solar, por exemplo, pode ser considerada como uma condição para animais ectotérmicos ou um recurso para vegetais de uma floresta, por afetar diretamente suas taxas fotossintéticas.

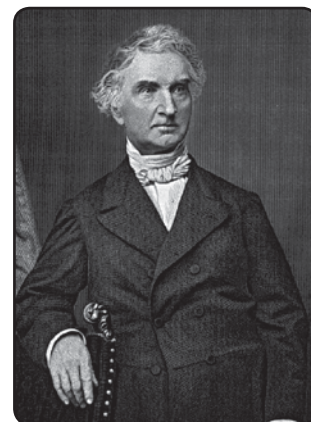
Os sucessos ecológicos e suas consequências, como o crescimento, a reprodução, a fotossíntese e o tamanho da população, estão muitas vezes regulados pela disponibilidade de poucos fatores ou por necessidades pouco abundantes. Esse princípio é conhecido como a “lei do mínimo de *Liebig*”.

Por exemplo, em climas áridos a produção primária está fortemente correlacionada com a precipitação, pois a água é o fator limitante predominante nesses ambientes.

Com frequência, entre os muitos fatores que podem ser limitantes, estão os nutrientes, a água e a temperatura. Em nível populacional, muitas vezes os fatores limitantes podem ser o alimento, a abundância de predadores ou o próprio clima.

Um conceito relacionado à “lei do mínimo” é o “limite de tolerância de *Shelford*”. Segundo esse conceito, tanto a escassez como a demasia de um determinado fator podem ser prejudiciais a um organismo.

Por exemplo, para um lagarto em um ambiente desértico, a temperatura pode ser um fator limitante. O seu limite de tolerância está restrito a algumas poucas horas do dia, pois durante



Justus von Liebig (1803 - 1873)
foi um químico alemão.



Victor Shelford (1877 - 1968)
foi um influente ecólogo
animal norte americano.

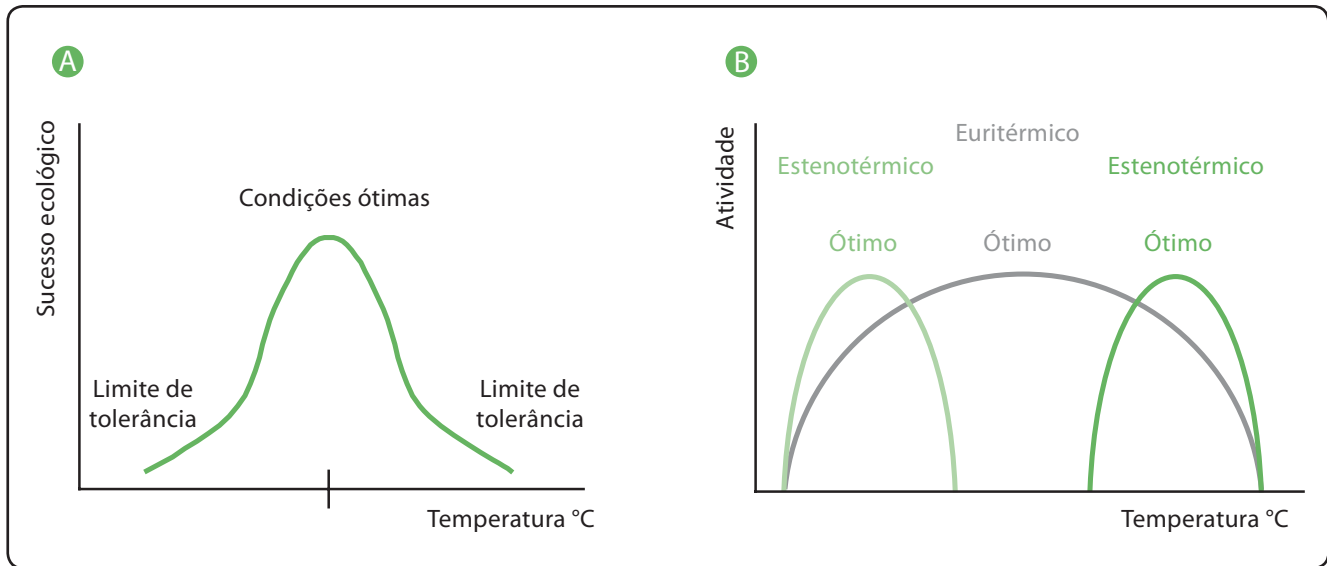


Figura 7 - (A) Limites de tolerância para um organismo hipotético, relacionados à temperatura; (B) Representação esquemática das curvas de tolerância para organismos estenotérmicos, euritérmicos e estenotérmicos.

a noite e no início da manhã a temperatura do deserto é demasiadamente baixa, enquanto que na maior parte do dia a temperatura é muito alta. O lagarto compensa essas variações de temperatura passando as primeiras horas da manhã em lugares ensolarados, e, mais tarde, a maior parte de suas atividades têm lugar à sombra.

As curvas de rendimento, ou curvas de tolerância, tipicamente, têm forma de sino e são unimodais, nas quais os picos representam as condições ótimas para determinado processo fisiológico (Figura 7 (A)).

Alguns indivíduos e espécies apresentam curvas de tolerância com picos muito estreitos, enquanto outras apresentam curvas com picos mais alargados. Estas últimas são descritas com o prefixo euri- (por exemplo, euritérmicas, que são tolerantes a uma amplitude maior de temperatura; eurihalinas, que são tolerantes a uma amplitude maior de salinidade; Figura 7(B)), enquanto que as primeiras são descritas com o prefixo esteno- (por exemplo, estenotérmicas, ou tolerantes a uma amplitude menor de temperaturas; estenohialinas, ou tolerantes a uma amplitude menor de salinidade).

Cabe lembrar que essas curvas podem ser alteradas durante a vida de um organismo, à medida que variam as condições externas, em um processo comumente conhecido por **aclimação**. Além

Aclimação é o processo de um organismo de se ajustar a mudanças no seu habitat. O processo pode ser algo bem discreto ou ser parte de um ciclo periódico, como troca da pelagem de inverno de mamíferos para uma pelagem mais leve no verão.

disso, as condições e os recursos definem conjuntamente os ambientes onde os organismos podem potencialmente ocorrer, o resumo das suas tolerâncias e necessidades, isto é, o seu nicho ecológico.

2.7 Hipótese de Gaia

No final da década de 1960, James Lovelock, um especialista em química da atmosfera, foi contratado pela Agência Espacial Norte-Americana (NASA) para desenvolver tecnologias que permitissem comprovar ou não a existência de vida no planeta Marte. A intenção da NASA, na época, era desenvolver aparelhos que pudessem ser lançados em uma sonda décadas depois.

Lovelock, entretanto, não precisou esperar décadas para concluir que não havia vida em Marte, pelo menos não na forma em que a vida na Terra está estruturada. Ele partiu de uma análise da composição química da atmosfera de Marte, feita utilizando os mais avançados telescópicos disponíveis na época, e percebeu que todas as reações químicas entre elementos e compostos presentes na atmosfera de Marte estavam em equilíbrio. E essa situação é bem diferente da atmosfera terrestre, na qual encontramos a coexistência de compostos que deveriam se combinar, como o metano e o oxigênio, ou seja, uma atmosfera que não está em equilíbrio químico.

Lovelock concluiu, então, que é a existência da vida no planeta Terra que mantém essas concentrações de compostos na atmosfera terrestre. A química da atmosfera e o ambiente físico fortemente tamponado da Terra são completamente diferentes das condições reinantes em qualquer outro planeta do nosso sistema solar, fato que levou à Teoria ou *Hipótese de Gaia*, que sustenta que os organismos evoluíram junto com o ambiente físico, formando um sistema complexo de controle, o qual mantém favoráveis à vida as condições da Terra (Lovelock, 1979). As pesquisas da microbiologista Lynn Margulis forneceram os fundamentos biológicos para a Teoria de Gaia, a partir de estudos sobre a produção e remoção de gases pela microbiota do solo. Segundo essa teoria, os organismos individuais não somente se adaptam ao ambiente físico, mas, por meio de sua ação conjunta nos ecossistemas, também adaptam o

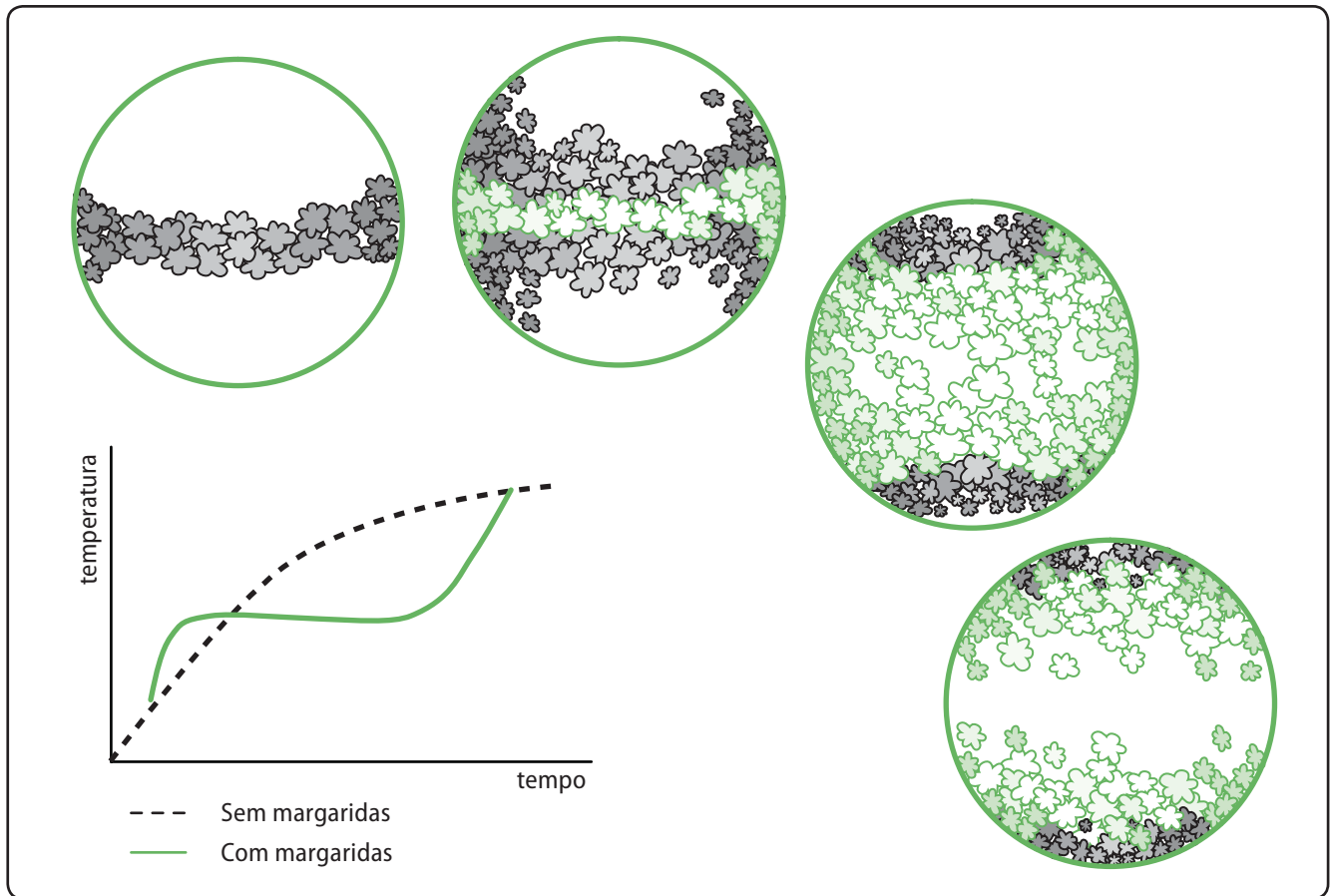


Figura 8 - A sucessão das margaridas pretas e brancas ao longo do tempo no modelo hipotético do mundo das margaridas.

ambiente geoquímico segundo suas necessidades biológicas. Portanto, as comunidades de organismos e seus ambientes de entrada e saída desenvolvem-se em conjunto, como os ecossistemas.

Embora todos saibam que o ambiente abiótico (fatores físicos e químicos) controla as atividades dos organismos, nem todos se dão conta de que os organismos influenciam e controlam o ambiente abiótico de muitas maneiras importantes.

Por muito tempo, a hipótese de Gaia foi rejeitada como teoria no sentido mais estrito do termo, inclusive sendo tratada como anti-científica. Gaia se tornou uma noção mais adotada por grupos ambientalistas e religiosos do que pela comunidade científica. Entretanto, o desenvolvimento de modelos matemáticos na década de 1980 forneceu embasamento científico para essas ideias. O modelo mais conhecido é o modelo do “*Mundo das Margaridas*”, desenvolvido por Watson e Lovelock, em 1983.

O Mundo das Margaridas é um planeta de tamanho aproximadamente igual a Terra. No começo, ele está inteiramente coberto por sementes de margaridas brancas e pretas em igual proporção. As margaridas pretas absorvem mais calor, enquanto que as brancas refletem-no, evitando o superaquecimento. A temperatura do Mundo das Margaridas sobe gradualmente. As margaridas não crescem abaixo de 5°C e acima de 40°C, apresentando um crescimento ótimo a 22,5°C. Conforme a temperatura sobe, as sementes podem germinar.

Como as margaridas pretas absorvem melhor o calor, são competidoras mais eficazes do que as brancas. No começo, forma-se um cinturão de margaridas pretas ao longo do equador. À medida que a temperatura sobe, fica quente demais no equador e as pretas são substituídas pelas brancas, que refletem melhor o calor excessivo (possuem maior **albedo**).

Aos poucos, as margaridas pretas são deslocadas para os pólos, sendo substituídas pelas brancas. Em um dado momento, o planeta fica muito quente e a vida colapsa. Mas até então, a temperatura é autorregulada pela presença da vida (Figura 8). Percebe-se, então, nesse modelo, um acoplamento de características bióticas e abióticas.

Para fundamentar esta discussão, consulte o artigo “Um olhar epistemológico sobre a transposição didática da teoria de Gaia” de autoria de Marina de Lima-Tavares e Charbel Niño El-Hani, publicado na Revista Investigações em Ensino de Ciências, vol. 6, n. 3, 2001 e disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol6/n3/v6_n3_a4>.

- **Albedo**
- Medida da capacidade que um
- corpo ou uma superfície tem de
- refletir a radiação incidente. É
- definido como a razão entre a
- quantidade de radiação refletida
- pelo corpo e a quantidade
- recebida.

2.8 Interações interespecíficas

Duas ou mais populações podem ou não se afetar mutuamente. Se existe interação entre populações, esta pode ser neutra, benéfica ou adversa.

Os principais tipos de interações possíveis estão representados na Tabela 1, em que os zeros indicam uma interação neutra, os sinais positivos indicam uma interação benéfica e os sinais negativos indicam uma interação adversa. Cabe lembrar que na natureza

existem muitas exceções para qualquer categorização, sendo que muitas interações não podem ser classificadas como totalmente benéficas ou totalmente adversas.

Interação	Espécie A	Espécie B
Competição	-	-
Neutralismo	0	0
Mutualismo	+	+
Protocooperação	+	+
Predação	+	-
Parasitismo	+	-
Comensalismo	+	0
Amensalismo	-	0

Tabela 1 - Resumo dos tipos principais de interações entre populações. Fonte: Baseado em Pianka (1982) e Odum e Barrett (2006).

Na **competição**, as duas populações se inibem mutuamente. Não raro, a competição ocorre porque ambas as populações necessitam de um mesmo recurso, que é pouco abundante.

No **neutralismo**, embora as populações interajam, nenhuma afeta a outra. É provável que o verdadeiro neutralismo seja muito raro ou inexistente, já que provavelmente existem interações indiretas entre todas as populações de uma dada comunidade.

As interações duplamente benéficas podem ser os chamados **mutualismo** e **protocooperação**. A diferença entre essas interações reside na sua obrigatoriedade ou não para a sobrevivência de uma ou de ambas as populações.

A protocooperação é uma interação que beneficia a ambas as espécies, mas não é uma interação indispensável para a sobrevivência de ambas. É possível existir a vida isolada dos indivíduos de cada espécie; entretanto, acontece a associação sempre que possível. Por exemplo, os caranguejos e os celenterados (invertebrados aquáticos, como as anêmonas) com frequência se associam em interações de protocooperação. As anêmonas crescem no dorso dos caranguejos, proporcionando-lhes camuflagem e proteção; em contrapartida, são transportadas e aproveitam partículas de alimentos quando os caranguejos capturam suas presas.

O mutualismo é, portanto, uma interação obrigatória, mas que não precisa envolver uma associação física próxima. Por exemplo, muitas plantas dependem de animais para dispersar suas sementes, oferecendo ao animal dispersor uma recompensa na forma de frutos comestíveis. Outras plantas, por sua vez, asseguram a polinização cruzada oferecendo um recurso (néctar) aos insetos visitantes.

Quando ocorre uma associação física entre dois organismos mutualistas, essa interação é chamada de **simbiose**. Um exemplo de simbiose é a interação obrigatória entre micro-organismos digestores de celulose e animais: muitas espécies de cupins não seriam capazes de digerir a celulose se não tivessem organismos flagelados especializados dentro do seu trato intestinal. Outro exemplo de simbiose é a associação íntima entre alguns fungos e algas, que, de tão especializada, praticamente formou outro grupo de organismos, os líquens.

A **predação** ocorre quando uma população afeta a outra de modo adverso, mas se beneficia dessa interação. Os predadores removem indivíduos da população de presas à medida que os consomem. Dependendo dos tamanhos relativos dos predadores e de suas presas, o comportamento predatório pode abranger desde uma perseguição ativa a uma determinada presa até o consumo de um grande número de pequeninos organismos por filtragem. Geralmente, isso ocorre mediante o consumo de uma presa, em parte ou inteiramente. Entretanto, a predação também pode ser benéfica para a população predada: por exemplo, a ação de um predador pode ser fundamental para a manutenção da densidade populacional da presa, evitando a sua superpopulação e a competição intraespecífica.

O **parasitismo** é, em essência, muito similar à predação, exceto pelo fato de que o hospedeiro (um membro da população que é afetado deletariamente) normalmente não é eliminado completamente, podendo ser explorado durante um certo período de tempo. Por analogia, a **herbivoria** pode pertencer a esse tipo de interação.

Quando uma população se beneficia enquanto a outra não recebe nenhum efeito, a relação é chamada de **comensalismo**. Por exemplo, quando em quantidades reduzidas, as cracas aderidas às nadadeiras

O conceito de simbiose primeiramente foi considerado como uma relação benéfica entre indivíduos de diferentes espécies, associados fisicamente de modo obrigatório, ou seja, a vida isolada de cada indivíduo seria impraticável. Atualmente, entende-se o termo simbiose como toda associação íntima entre duas espécies, seja ela benéfica ou desarmônica a ambas (abrangendo até o parasitismo).

Dependendo da parte da planta que os herbívoros comem, eles podem agir tanto como predadores quanto como parasitas. Do ponto de vista das relações consumidor-recurso, os herbívoros funcionam como predadores quando consomem plantas inteiras e como parasitas quando consomem tecidos vivos sem matar suas vítimas.

de grandes cetáceos como as baleias podem estar se beneficiando e não estar surtindo nenhum efeito sobre a população de baleias.

Já no **amensalismo**, uma população é afetada de modo adverso por outra, mas esta última não é beneficiada nem prejudicada. Um exemplo dessa interação é o que ocorre entre fungos *Penicillium notatum*, produtores de penicilina, que afetam adversamente muitos organismos; alguns desses organismos afetados podem refletir em um benefício para o fungo, mas outros podem resultar em nenhum benefício ou prejuízo imediato para o fungo.

Bibliografia complementar comentada

A Teia da Vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos.

CAPRA, F.

Esse livro traz uma discussão sobre o surgimento da Teoria de Gaia. Recomendamos, também, as discussões sobre ecologia sistêmica, fractais em ecologia e dinâmicas caóticas em sistemas ecológicos.

CAPRA, F. *A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos*. São Paulo: Cultrix, 1996. 256p.

A Economia da Natureza.

RICKLEFS, R.E.

Os Capítulos 17, 19 e 20 aprofundam a discussão sobre interações interespecíficas.

RICKLEFS, R. E. *A economia da natureza*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 503p.

Referências

BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J. L. **Ecologia**: De indivíduos a ecossistemas. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. 752p.

KREBS, C. J. **Ecology**: the experimental analysis of distribution and abundance. Nova Iorque: Harper & Row, 1972. 694p.

PIANKA, E. R. **Ecologia evolutiva**. Barcelona: Omega, 1982. 365p.

Ecologia de ecossistemas

Neste Capítulo, serão discutidos os principais componentes e funções dos ecossistemas e também serão analisados os grandes ecossistemas brasileiros. O funcionamento dos ecossistemas será detalhado nos Capítulos subsequentes.

3.1 Componentes e funções do ecossistema

Sob o ponto de vista funcional, um ecossistema pode ser analisado no âmbito das seguintes características e processos:

- evolução;
- homeostase;
- fluxo de energia;
- cadeias ou teias alimentares;
- ciclos biogeoquímicos;
- padrões de diversidade.

Para fins descritivos, os componentes do ecossistema são:

- **substâncias inorgânicas**, envolvidas nos ciclos de materiais (carbono, nitrogênio, gás carbônico, água, entre outras);
- **compostos orgânicos**, que ligam o biótico ao abiótico (proteínas, hidratos de carbono, lipídeos, entre outros);
- **regime climático e outros fatores físicos e químicos**, incluindo temperatura, acidez ou alcalinidade (pH), luminosidade, pressão atmosférica, entre outros;
- **produtores**, ou organismos autótrofos, como, por exemplo, as plantas, que são capazes de captar a energia solar e transformá-la em energia química por meio da fotossíntese;

- **consumidores**, ou organismos heterótrofos, como, por exemplo, os herbívoros e os carnívoros, que dependem direta ou indiretamente dos produtores para obter energia; e
- **decompositores**, ou organismos microconsumidores ou saprófitos, como, por exemplo, as bactérias e fungos, que decompõem a matéria orgânica morta e liberam nutrientes inorgânicos.

Para complementar os conteúdos deste Capítulo, estude os Capítulos 2 (“O ambiente físico”) e 4 (“As variações no ambiente físico”) do livro “A Economia da Natureza”, de autoria de Robert E. Ricklefs, disponível no seu pólo. Esses Capítulos tratam de componentes abióticos dos ecossistemas, incluindo as variações no ambiente físico.

3.2 O lago como um microcosmo

Um lago ou lagoa é um modelo clássico de ecossistema, popularizado por Odum (1971), um dos mais influentes ecólogos de ecossistemas. Segundo Odum, não só a lagoa é um local onde vivem plantas e animais, como as plantas e os animais fazem da lagoa o que ela é. Apesar de sua complexidade, o ecossistema lagoa pode ser reduzido a algumas unidades básicas (veja a Figura 9).

Nesse modelo de lagoa, podemos identificar os seus componentes, bem como analisar processos e características do ecossistema.

A lagoa está sujeita a um **regime climático**, dentro de uma determinada faixa de temperatura, pH, e sob uma determinada quantidade de precipitação pluviométrica anual. Também como parte desse regime climático, há a radiação solar, o principal fator que determina a produtividade primária.

As **substâncias abióticas** são os compostos orgânicos e inorgânicos que se encontram em solução ou, na sua maior parte, ficam armazenados nas partículas do sedimento de fundo ou nos próprios organismos. Exemplos dessas substâncias são a água, o dióxido de carbono, o oxigênio, o nitrogênio, os aminoácidos, os ácidos húmicos, entre outras.

Os organismos **produtores**, ou autótrofos, são as plantas enraizadas nas margens da lagoa e as plantas flutuantes (ambas chamadas de macrófitas), bem como o **fitoplâncton**.

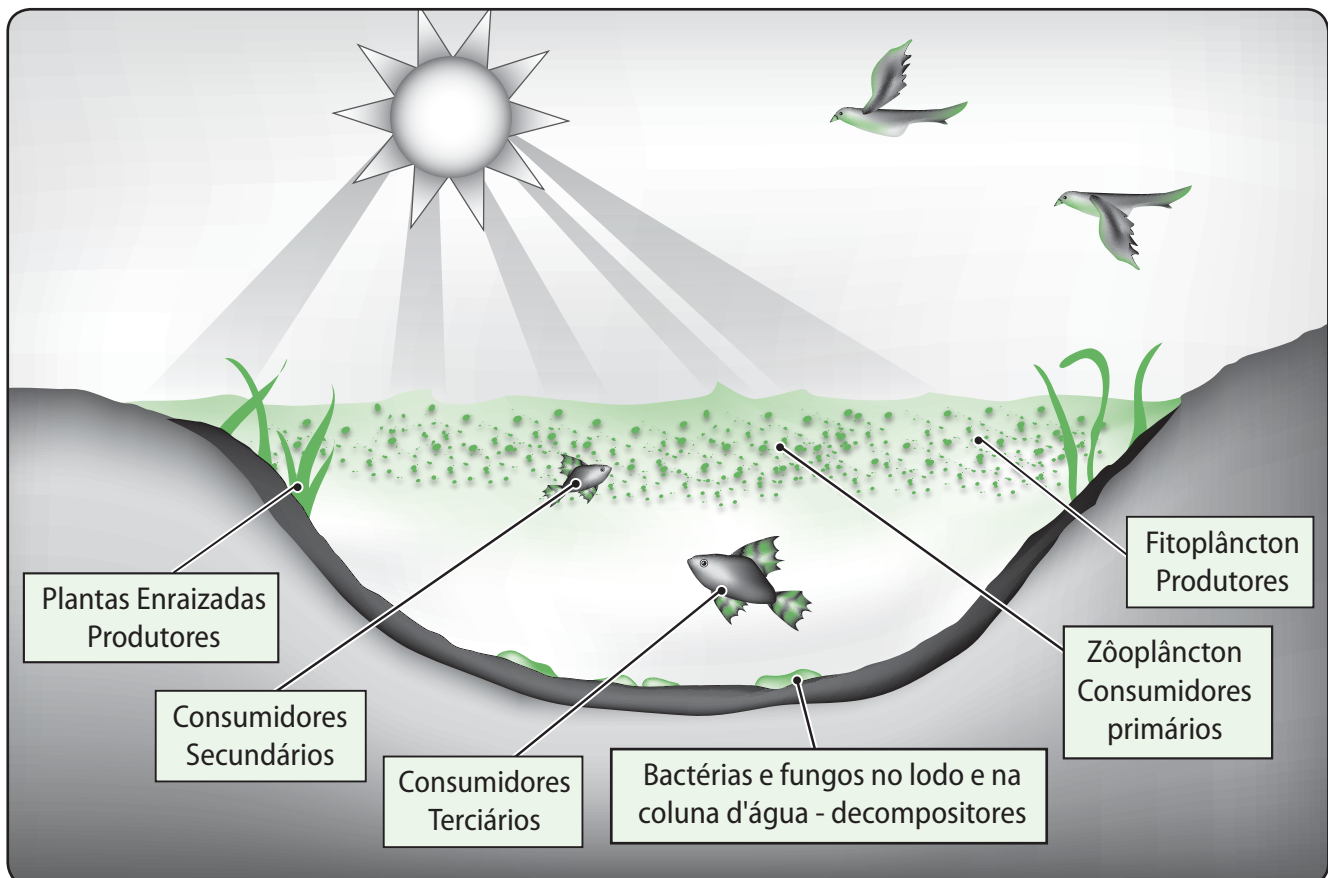
O fitoplâncton é composto principalmente por algas microscópicas, que estão distribuídas por toda a lagoa.

Os organismos **consumidores**, ou heterótrofos, estão representados pelas larvas de insetos, zooplâncton, organismos de fundo, insetos e peixes, entre outros. Eles se alimentam dos organismos produtores ou de outros consumidores.

Os organismos **decompositores**, ou saprótrofos, estão representados pelas bactérias aquáticas, pelos flagelados e fungos, que se encontram distribuídos por toda a lagoa, embora sejam especialmente abundantes na interface do sedimento com a água, por toda a área do fundo da lagoa onde se acumula matéria orgânica morta.

No exemplo da figura a seguir, a lagoa pode ser considerada como um sistema que aparentemente é fechado. Entretanto, na natureza é raro encontrar sistemas que são de fato fechados. Além das entradas e saídas de energia (a energia entra na forma de radiação solar e sai do sistema na forma de calor, em função da

Figura 9 - Representação da lagoa como um ecossistema modelo (modificado a partir de Odum (1971)).



respiração e do metabolismo dos organismos), há entradas e saídas de água e nutrientes devido à evaporação e chuvas. Também, sob o ponto de vista da biota, o sistema não é completamente fechado. Um pássaro, por exemplo, pode se utilizar dos peixes dessa lagoa ocasionalmente, retirando nutrientes do local. A saída desses peixes, além de representar uma redução na quantidade total de nutrientes e energia nesse ecossistema, também pode ter efeitos na estruturação trófica da lagoa e na sua diversidade.

3.3 Biomas Brasileiros

Os principais ecossistemas ou biomas brasileiros estão representados na Figura 10.

- A **Floresta Amazônica** é a maior floresta tropical úmida do planeta, ocupando cerca de 6 milhões de km², dos quais mais da metade estão em território brasileiro. Na maior parte do ano, as temperaturas estão em torno de 26°C a 27°C e a pluviosidade é elevada, atingindo mais de 2000 milímetros de precipitação anual. A Floresta Amazônica é uma denominação que

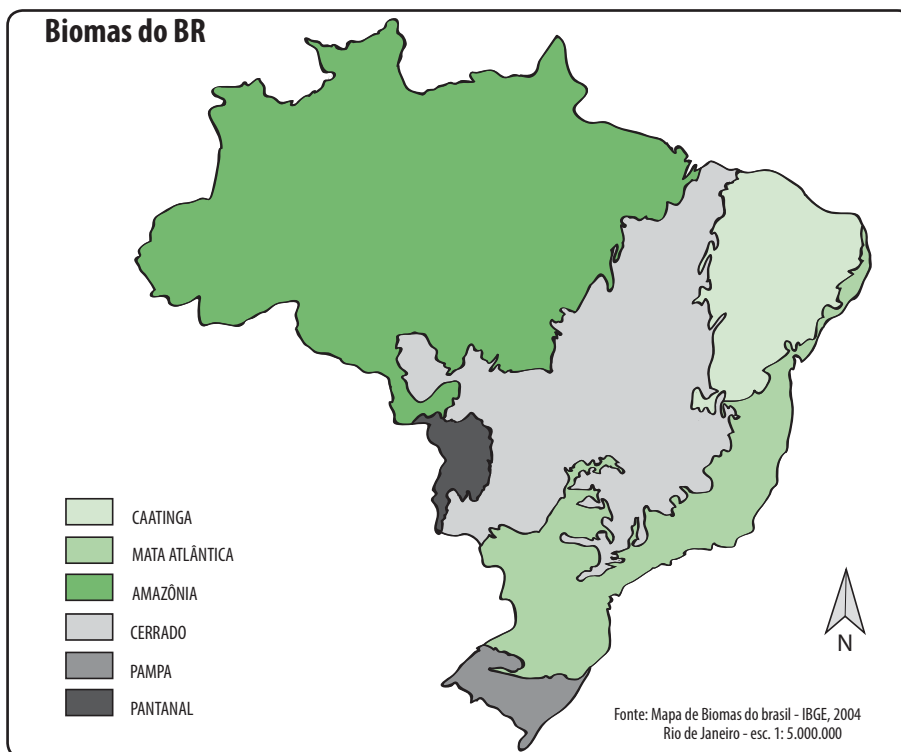


Figura 10 - Principais biomas brasileiros. Fonte: Modificado a partir de IBGE (2004).

engloba diferentes tipos de floresta úmida, tais como a mata de terra firme, a mata de várzea, a mata de igapó e a campinarana. A mata de terra firme ocupa a maior parte da bacia amazônica, onde pode ser encontrada uma grande diversidade de espécies de animais e plantas.

- A **Mata Atlântica** é a outra floresta tropical úmida brasileira, que originalmente se localizava sobre a longa cadeia de montanhas que ocorre paralelamente ao oceano Atlântico, desde o Rio Grande do Sul até o Rio Grande do Norte, concentrando-se entre os estados de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. Atualmente, restam menos de 8% de sua cobertura original. É também um ecossistema que abriga uma elevada diversidade de espécies, muitas delas endêmicas. Muitos autores consideram que o **Domínio Mata Atlântica** abrange diversos subtipos de ecossistemas, como as florestas de araucárias, os manguezais, as restingas e outros tipos de formações litorâneas. Nesse sentido, o que neste item está sendo chamado de Mata Atlântica, corresponderia à Mata Atlântica *sensu strictu*, ou floresta pluvial de encosta atlântica, ou, ainda, Floresta Ombrófila Densa.
- As **Florestas de Araucárias** ocorrem na Região Sul do país e em pontos isolados da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira. Nos últimos, geralmente ocorrem acima dos 1.600m de altitude. São formações vegetais caracterizadas pela presença da araucária (*Araucaria angustifolia*; ver Figura 11), em áreas com clima permanentemente úmido. Alguns autores consideram que as florestas de araucárias, assim como os manguezais e as áreas de restinga, pertencem ao domínio Mata Atlântica.



Figura 11 - *Araucaria angustifolia*

Fonte: Lorenzi, H. **Árvores Brasileiras**: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 1992.

- O **Manguezal** é um tipo de vegetação litorânea que caracteriza um ecossistema de grande importância ecológica. O manguezal ocorre em áreas de água salobra, em zonas de transição entre a terra e o mar, sofrendo a influência da amplitude de marés. A vegetação apresenta adaptações para tais condições, como as raízes aéreas – ou pneumatóforos –, por meio das

quais o oxigênio é absorvido. No litoral brasileiro, os manguezais estendem-se desde Santa Catarina até o limite com a Guiana Francesa. As espécies vegetais que predominam são a *Avicennia schaueriana*, *Rhizophora mangle* (Figura 12) e a *Laguncularia racemosa*. Apesar da pequena diversidade vegetal, há uma grande diversidade de espécies animais que habitam o manguezal ou que dele se utilizam durante alguma etapa de suas vidas.

- A **Caatinga** é a vegetação característica de grande parte do interior do Nordeste brasileiro e da região do Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais. Consiste em um mosaico de vegetação xerófila (adaptada à condição de baixa umidade), que perde suas folhas. É predominantemente composta por plantas lenhosas e por um grande número de cactos e bromélias. A vegetação rasteira, como ervas e capins, desenvolve-se apenas durante os curtos períodos chuvosos.
- O **Pantanal** não é propriamente um pântano, mas, sim, uma área alagadiça que corresponde à região de planície aluvional localizada na parte central da América do Sul, drenada pela bacia do Rio Paraguai. A altitude da planície do pantanal oscila entre 100 e 200 m, e grande parte de sua área é coberta pelas águas no período das chuvas. O Pantanal é uma região relativamente nova sob o ponto de vista geológico, dominada por uma mistura complexa de formações vegetais com características de áreas xerófitas, de áreas de cerrados e elementos amazônicos. Sua fauna exuberante também possui características de várias comunidades bióticas vizinhas.
- **Campo** é uma designação genérica para uma área coberta por vegetação de baixo porte, como gramíneas e subarbustos. Essa designação inclui diferentes tipos de formações vegetais, como por exemplo, o campo limpo, encontrado em algumas regiões do estado de Roraima; os campos de altitude, associados à algumas áreas serranas, como, por exemplo, a região do alto do Parque Nacional do Itatiaia, no estado do Rio de Janeiro; os pampas ou campos de planície, da metade sul do Rio Grande do Sul; e os campos inundáveis, como é o caso do Banhado do Taim, no Rio Grande do Sul.

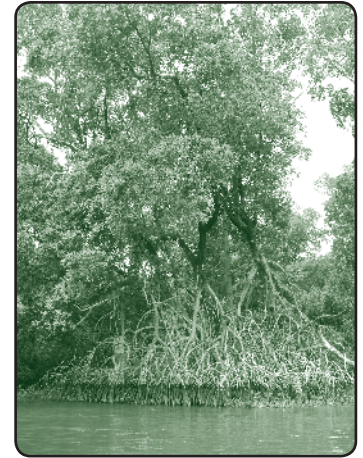


Figura 12 - *Rhizophora mangle*
Fonte: foto do acervo pessoal de Natalia Hanazaki.

- O termo **Cerrado** é uma denominação genérica para designar áreas com formações vegetais, como os campos cerrados, os cerrados *strictu sensu* e o cerradão. São formações vegetais com características de savanas. A estrutura da vegetação dessas áreas é caracterizada por um estrato arbóreo, com árvores geralmente tortuosas, de pequeno e médio porte e com cascas espessas, e um estrato formado por gramíneas e pequenos arbustos. Apesar da aparência árida do cerrado, esta não está relacionada às condições climáticas secas, mas sim às condições do solo da região, ácido e com excesso de alumínio.

3.4 Homeostasia e Estabilidade do ecossistema

O termo *homeostase* deriva dos radicais *homeo*, que significa igual, e *stasis*, que significa estado. Esse termo é geralmente utilizado para traduzir a tendência que os sistemas biológicos têm para resistir a alterações e permanecer em estado de equilíbrio.

A homeostase é um princípio fundamental da fisiologia. Corresponde à manutenção de um estado interno relativamente estável em uma gama muito ampla de condições ambientais externas. A homeostase diz respeito não apenas às condições fisiológicas, mas também às respostas adequadas de comportamento.

Em outras palavras, a homeostase refere-se à capacidade de autorregulação.

Os ecossistemas, assim como as populações e os organismos que os compõem, possuem a propriedade de automanutenção e de autorregulação. É importante analisar essas propriedades, pois o ser humano tende, de forma crescente, a romper esses controles naturais ou, ainda, a tentar substituir os mecanismos naturais por outros artificiais.

A homeostasia em termos de organismo é um conceito bem conhecido e fundamentado pelos fisiólogos. Por exemplo, possuímos uma série de respostas fisiológicas que resultam na manutenção da temperatura corpórea em torno dos 36°C.

O equilíbrio entre os organismos e o seu ambiente também pode se manter por fatores que resistam à alteração do sistema como um todo. Por exemplo, algumas populações são reguladas pela sua densidade, seja por meio da redução ou aumento no ritmo da reprodução, ou pela competição entre os indivíduos dessa população por algum recurso limitado. Outras populações podem ser controladas por fatores externos, como predadores. De maneira bastante simplificada, dentro de uma comunidade, uma população de predadores pode regular o tamanho de uma população de presas e vice-versa (Figura 13).

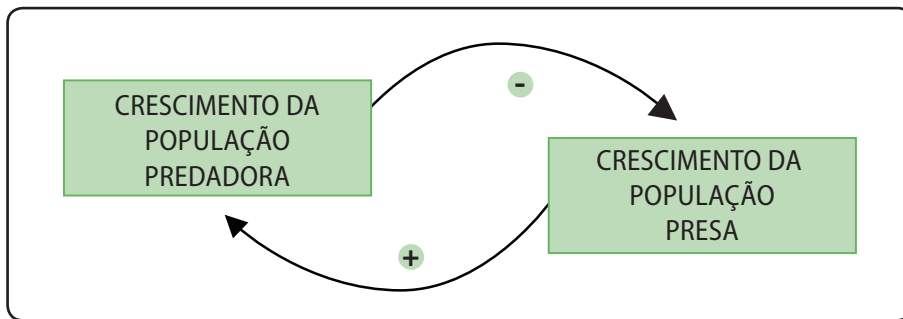


Figura 13 - Interação dos sistemas de retroalimentação positiva "+" e negativa "-" em um sistema predador-presa. O crescimento na população de predadores reduz a população de presas; o crescimento da população de presas aumenta a população de predadores.

Entretanto, a redução da população de presas pode acarretar em uma redução na população de predadores, que não mais encontrarão alimento em abundância. Reduzindo a população de predadores, a população de presas pode aumentar, e o sistema pode retornar a uma situação próxima ao equilíbrio inicial.

Em muitas situações, os mecanismos de controle homeostático desenvolveram-se após um longo histórico evolutivo entre os fatores envolvidos nesse mecanismo.

Se a homeostase relaciona-se com a tendência de um sistema biológico permanecer em estado de equilíbrio, é necessário compreender alguns conceitos, como equilíbrio e estabilidade biológica (Figura 14).

Diferenciar resiliência de resistência é a primeira distinção que pode ser feita entre componentes da estabilidade. **Resiliência** corresponde à capacidade de uma comunidade retornar a um estado referencial após uma perturbação que a deslocou desse estado.

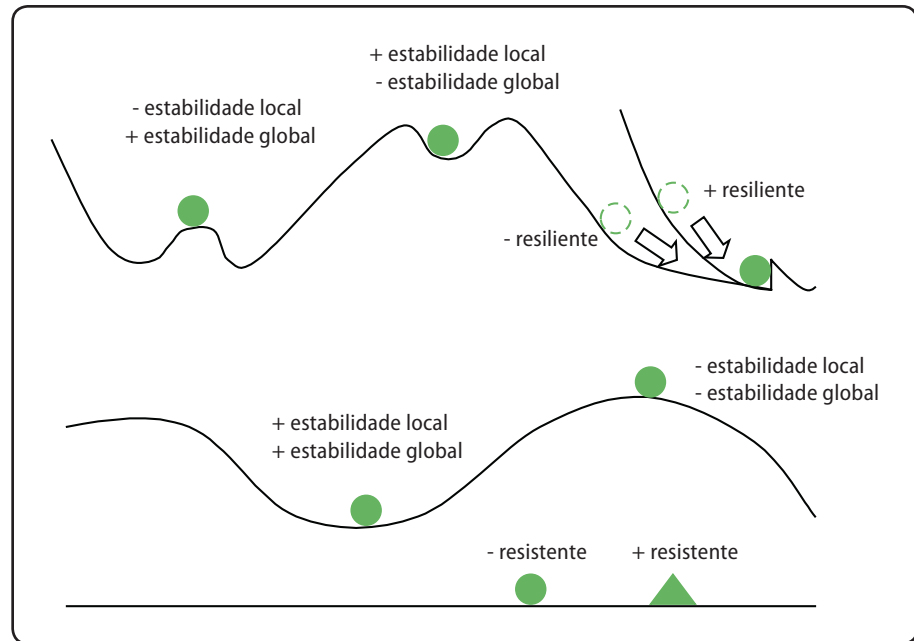


Figura 14 - Vários aspectos da estabilidade. Veja no texto para maiores detalhes
 Fonte: Modificado a partir de Begon *et al.* (2007).

Resistência descreve a capacidade de uma comunidade em evitar o deslocamento de seu estado original. Na Figura 14, uma situação de maior resistência é ilustrada pelo objeto triangular, com base plana. Uma situação de menor resistência é ilustrada pela esfera, que é facilmente deslocada de sua posição original. Na mesma figura, a posição mais resiliente da esfera (representada pelo círculo tracejado) é aquela na qual ela retorna mais rapidamente à condição estável anterior ao seu deslocamento.

Em Ecologia há uma discussão sobre os fatores que aumentam ou reduzem a estabilidade.

Em geral, eles estariam associados à produtividade primária, à complexidade das relações tróficas e à diversidade de espécies.

Entretanto, não há uma tendência única que associe essas várias características de uma comunidade. Em alguns casos, a maior estabilidade está positivamente relacionada com a maior diversidade ou com a maior produtividade primária, mas isso não é uma regra geral.

Quando falamos em **estabilidade**, podemos também estar fazendo referência a uma escala local ou a uma escala global. A estabilidade de uma comunidade irá depender da magnitude da perturbação e pode diferir em escalas globais e locais. Na Figura 14, são ilustradas várias situações com maior ou menor estabilidade local e global. Supondo que em cada situação um pequeno deslocamento da esfera representa uma perturbação, é possível prever o comportamento da esfera. Em alguns casos, a esfera tende a retornar à sua posição inicial; em outros, ela tende a se distanciar da sua posição inicial.

O que ocorre com frequência é que as comunidades naturais não são estáticas, embora muitas vezes sejam estáveis. Seu equi-

líbrio é dinâmico; pequenas alterações nas condições ambientais podem não afetar esse equilíbrio. Alterações maiores podem deslocar o equilíbrio da comunidade, entretanto, dependendo da magnitude do deslocamento, a situação de estabilidade pode não ser encontrada novamente.

Bibliografia complementar comentada

Ecosistemas Brasileiros.

RIZZINI, C. T.; COIMBRA-FILHO, A.; HOUAISS, A.

Volume ricamente ilustrado sobre os principais ecossistemas brasileiros.

RIZZINI, C. T.; COIMBRA-FILHO, A.; HOUAISS, A. Ecosistemas brasileiros. Rio de Janeiro: Index, 1991. 159p.

A Economia da Natureza.

RICKLEFS, R. E.

Como já foi mencionado anteriormente, o conteúdo deste Capítulo deve ser complementado com a leitura dos Capítulos 2 e 4 deste livro.

RICKLEFS, R. E. A economia da natureza. 5.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 503p.

Referências

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia:** De indivíduos a ecossistemas. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. 752p.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia.** 4. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971. 927p.

Estrutura trófica e fluxo de energia

Os caminhos da energia e dos nutrientes dentro dos ecossistemas são os pontos centrais deste Capítulo.

4.1 Níveis tróficos

Os componentes bióticos dos ecossistemas podem ser categorizados em diferentes níveis tróficos. A sequência de relações tróficas pelas quais a energia passa, por meio de um ecossistema, é chamada de cadeia alimentar. Essa cadeia possui muitos elos (ex.: plantas, herbívoros e carnívoros), chamados de níveis tróficos.

O primeiro nível trófico é representado pelos produtores primários ou **autótrofos**. Como seu próprio nome revela, os autótrofos são os organismos capazes de produzir o seu próprio alimento.

Na sua grande maioria, os produtores primários correspondem às plantas, que utilizam a energia solar para produzir substâncias químicas ricas em energia, por meio da fotossíntese. Na produção fotossintética total do planeta, é importante destacar a participação essencial das cianobactérias e protistas fotossintéticos (algas) presentes na enorme superfície dos oceanos.

Portanto, os produtores primários constituem uma parte essencial da comunidade, já que todos os demais organismos dependem direta ou indiretamente deles para obter energia.

Os organismos que não são produtores primários representam os demais níveis tróficos, e são chamados de **heterótrofos**. Esse grupo inclui os consumidores e os decompositores.

Os herbívoros, ou consumidores primários, constituem o segundo nível trófico. Já os carnívoros, que se alimentam de consumidores primários, constituem o terceiro nível trófico, sendo também chamados de consumidores secundários. Os carnívoros que se alimen-

tam de consumidores secundários constituem o quarto nível trófico e são chamados de consumidores terciários, e assim sucessivamente.

Porém, muitos animais denominados onívoros alimentam-se tanto de vegetais quanto de animais e, portanto, predam em níveis tróficos distintos, simultaneamente. Muitas vezes é impossível considerá-los como pertencentes a um nível trófico concreto. Uma solução é atribuir a esses organismos uma representação parcial em diferentes níveis tróficos, em proporção à composição de sua dieta.

Um componente essencial de qualquer ecossistema são os organismos decompositores, ou redutores, que operam devolvendo materiais ao conjunto de nutrientes, disponibilizando-os novamente para a teia alimentar.

É importante ressaltar que a matéria pode circular de modo contínuo entre diferentes compartimentos do ecossistema, entretanto, a energia só pode ser usada uma única vez. Por isso, todos os ecossistemas dependem de um fluxo contínuo de energia.

4.2 Energia e Termodinâmica

A radiação tem dois componentes muito importantes: a quantidade, que se refere ao quanto de energia chega em determinada região da superfície do planeta, e que varia bastante com o passar do dia e das estações do ano; e a qualidade, que está diretamente relacionada aos diferentes tipos de radiação que podem ser expressos pelos seus comprimentos de onda. Assim, podemos ter a luz ultravioleta, a luz visível, que é a mais importante para a produção primária, e o infravermelho.

O comportamento da radiação será diferente em um ambiente terrestre e em um ambiente aquático (Figura 15).

Tal como em qualquer sistema sujeito às leis da Física, o comportamento da energia nos sistemas naturais está regido pelas leis da termodinâmica.

A primeira lei da Termodinâmica afirma que a energia se conserva, podendo ser transformada de um tipo em outro, mas não podendo ser criada ou destruída.

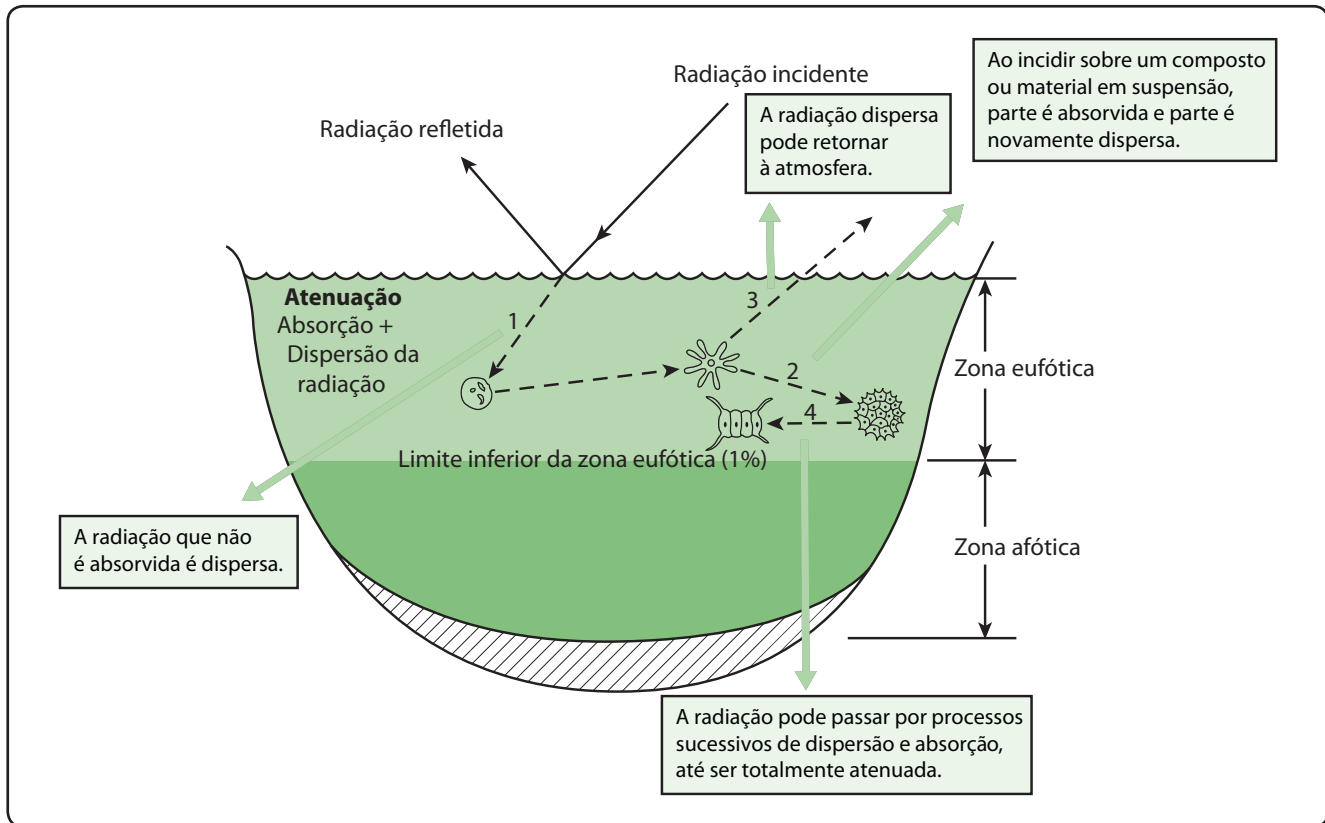


Figura 15 - Comportamento da radiação em um ambiente aquático. A zona eufótica se estende até onde há penetração de luz
 Fonte: Modificado a partir de ESTEVES (1998).

Entropia é a medida da desordem, ou a quantidade de energia não disponível em um sistema.

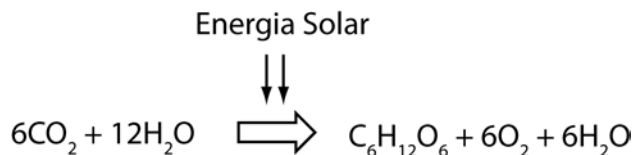
De acordo com a segunda lei da Termodinâmica, nos processos irreversíveis, a **entropia** do universo sempre tende a aumentar. Nenhum processo de transformação espontânea de energia é 100% perfeito, isto é, em transformações que ocorrem espontaneamente, sempre ocorre a perda de uma parcela de energia para uma forma menos organizada (calor).

Algumas vezes a vida tem sido qualificada como de “entropia inversa”, dado que os organismos mantêm estados complexos e organizados de energia em comparação com os seus arredores. Apesar disso, os organismos também obedecem ao segundo princípio da Termodinâmica, assim como qualquer outro sistema formado por matéria e energia.

Todos os organismos devem trabalhar continuamente para construir e manter a energia e a matéria de forma organizada, e, para isso, precisam de energia. Sem um fluxo contínuo de entrada de energia, um organismo não pode sobreviver por muito tempo.

4.3 Fotossíntese e quimiossíntese

A fotossíntese é o processo fundamental do qual depende a grande maioria dos organismos vivos para captar energia e pode ser representada pela equação química:



na qual $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ é uma molécula de glicose rica em energia.

A fotossíntese consiste, basicamente, em transformar moléculas de dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O) em moléculas orgânicas mais complexas (glicose), água e oxigênio (O_2), na presença de clorofila e luz solar. Esse processo resulta no armazenamento de energia solar em energia química, que ficará disponível para os outros níveis tróficos.

Assim, a fonte primordial de toda a energia dos ecossistemas é o Sol. Entretanto, menos de 1% da radiação solar que incide sobre o planeta é efetivamente utilizada pelos organismos vivos, sendo captada pelos organismos fotossintetizantes e armazenada como energia química.

Outro grupo de organismos que ocasionalmente é considerado como produtor é o das bactérias quimiossintetizantes, ou quimioautótrofas. Esses organismos ocupam uma posição intermediária entre os autótrofos e os heterótrofos.

As bactérias quimiossintetizantes, em geral, vivem no solo e podem armazenar energia sem utilizar a energia da radiação solar. Elas obtêm sua energia a partir da oxidação química de compostos inorgânicos simples. Por exemplo, oxidando amoníaco em nitrito, nitrito em nitrato, sulfureto em enxofre. Essas bactérias, é importante destacar, podem desenvolver-se na ausência de luz, mas a maioria necessita de oxigênio.

Em comparação com a fotossíntese, a quimiossíntese é responsável por uma fração muito pequena do armazenamento de ener-

gia na forma de moléculas de carbono mais complexas. Porém, esse processo é fundamental no ciclo do nitrogênio (apresentado no próximo Capítulo), transformando compostos nitrogenados não assimiláveis pelas plantas em compostos nitrogenados assimiláveis.

4.4 Produtividade primária e padrões de produtividade

A produtividade primária corresponde à energia solar armazenada pela atividade fotossintética ou quimiossintética de organismos produtores na forma de substâncias orgânicas passíveis de utilização por outros organismos não produtores.

A produtividade primária líquida (PPL) corresponde à energia que os produtores armazenam a partir da fotossíntese menos o que é gasto na respiração e no metabolismo. A produtividade primária bruta (PPB), por sua vez, corresponde à taxa fotossintética total. Em outras palavras, o que ficará disponível para os consumidores primários é a produtividade primária líquida.

No meio terrestre, a produtividade primária global líquida é estimada em torno de 110 a 120 x 10⁹ toneladas de peso seco por ano. No mar, a produtividade primária líquida deve estar entre 50 a 60 x 10⁹ toneladas por ano. Podemos perceber que, embora os oceanos cubram dois terços da superfície terrestre, eles são responsáveis por apenas um terço de toda a produtividade primária global.

É importante ressaltar que a distribuição da produtividade primária não é homogênea (Tabela 2). Ela depende principalmente da radiação solar. De maneira geral, as zonas tropicais são as regiões onde ocorrem as maiores taxas de produtividade primária. Entretanto, existem outros fatores que limitam a produtividade primária, como a água, os nutrientes e as temperaturas adequadas. Muitas áreas continentais recebem radiação solar abundante, mas carecem de água (como, por exemplo, muitas regiões desérticas). Com exceção das zonas de *ressurgência*, a maior parte das áreas oceânicas é deficiente em nutrientes minerais.

A produtividade secundária pode ser definida como a taxa de produção de biomassa nova por organismos heterótrofos.

A ressurgência é um fenômeno que ocorre em algumas zonas dos oceanos e que consiste na subida de massas de água de zonas mais profundas do oceano para zonas mais superficiais. Essas massas de água transportam uma grande quantidade de nutrientes presentes nas zonas mais profundas e frias para zonas mais superficiais, resultando em um aumento na produção primária do fitoplâncton, que serve como alimento para organismos de outros níveis tróficos, como o zooplâncton e os peixes.

Tipo de Ecossistema	Área (10 ⁶ km ²)	PPL por unidade de área (g/m ² ou ton/Km ²)	Varição Média	PPL mundial (10 ⁹ ton)	Biomassa por unidade de área (Kg/m ²)	Varição Média	Biomassa mundial (10 ⁹ ton)
Floresta tropical pluvial	17,0	1000–3500	2200	37,4	6–80	45	765
Floresta tropical sazonal	7,5	1000–2500	1600	12,0	6–60	35	260
Floresta temperada pluvial	5,0	60–2500	1300	6,5	6–200	35	175
Floresta temperada sazonal	7,0	600–2500	1200	8,4	6–60	60	210
Floresta boreal	12,0	400–2000	800	9,6	6–40	20	240
Bosques/arbustos	8,5	250–1200	700	6,0	2–20	6	50
Campos temperados	9,0	200–1500	600	5,4	0,2–5	1,6	14
Tundra e alpino	8,0	10–400	140	1,1	0,1–3	0,6	5
Desertos/semi-desertos	18,0	10–250	90	1,6	0,1–4	0,7	13
Desertos extremos/rocha/ areia/gelo	24,0	0–10	3	0,07	0–0,2	0,02	0,5
Áreas cultivadas	14,0	100–3500	650	9,1	0,4–12	1	14
Pântanos e alagados	2,0	800–3500	2000	4,0	3–50	15	30
Lagos/rios	2,0	100–1500	250	0,5	0–0,1	0,02	0,05
Total continental	149		773	115		12,3	1837
Oceano aberto	332,0	2–400	125	41,5	0–0,005	0,003	1,0
Zonas de ressurgência	0,4	400–1000	500	0,2	0,005–0,1	0,02	0,008
Plataforma continental	26,6	200–600	360	9,6	0,001–0,04	0,01	0,27
Bancos de algas e corais	0,6	500–4000	2500	1,6	0,04–4	2	1,2
Estuários	1,4	200–3500	1500	2,1	0,01–6	1	1,4
Total marinho	361		152	55,0		0,01	3,9
Total geral	510		333	170		3,6	1841

Tabela 2 - Estimativas da produtividade primária líquida (PPL) e biomassa para comunidades contrastantes no mundo (a partir de WHITTAKER (1975)).

Construa um gráfico utilizando as informações da Tabela 2, com os valores médios de Biomassa por unidade de área (Kg/m^2) no eixo x e os valores médios de PPL por unidade de área (g/m^2 ou ton/Km^2) no eixo y. Plote, nesse gráfico, os tipos de ecossistema listados na tabela. O que você pode observar?

Os heterótrofos dependem dos autótrofos direta ou indiretamente para o seu suprimento de matéria e energia. Em outras palavras, a produtividade secundária depende da produtividade primária.

Grandes investimentos estão sendo feitos para desenvolver modelos globais de vegetação que possam fazer previsões sobre a produtividade primária. Ao incorporar os fatores que limitam a produtividade primária líquida, esses modelos podem acessar os efeitos das mudanças climáticas globais. Algumas das alterações associadas às mudanças climáticas são o aumento da temperatura, o aumento da precipitação e o aumento da concentração de gás carbônico. Todos estes fatores podem alterar a produção primária terrestre. De maneira bastante generalista, se a produção primária tende a aumentar, então as florestas possuem um importante papel na absorção do gás carbônico atmosférico excedente.

4.5 Pirâmides de energia, de número e de biomassa

Um mecanismo de expressão da estrutura de uma comunidade são as pirâmides, como, por exemplo, as pirâmides de energia, de número ou de biomassa.

Uma **pirâmide de energia** consiste em representar graficamente as taxas de fluxo energético entre vários níveis tróficos (Figura 16(A)). O fluxo de energia através de cada nível trófico sempre deve diminuir conforme o nível trófico aumenta. Portanto, a pirâmide de energia nunca pode estar invertida.

Por vários motivos, a taxa de fluxo de energia através de um dado nível trófico *diminui* conforme aumenta o nível trófico. Analisando as pirâmides de energia, percebemos que a produtividade

Isso acontece porque as transferências de energia nunca são 100% eficientes, fazendo com que nem toda a energia contida em uma presa seja disponível para um predador. Parte dessa energia é perdida na conversão dos tecidos da presa em tecidos do predador.

dos herbívoros é invariavelmente menor do que a produtividade das plantas das quais eles se alimentam.

Parte da energia da presa não é sequer assimilada pelo predador, que corresponde ao material não digerível que será disponibilizado para os decompositores. A eficiência da transferência de energia entre níveis tróficos também é reduzida devido a táticas de fuga da presa, ou de defesas químicas das plantas. Cada organismo de cada nível trófico consome boa parte de sua energia disponível em suas próprias atividades metabólicas, reduzindo a quantidade de energia disponível para os níveis tróficos superiores. Grande parte da energia de um sistema é simplesmente dissipada na forma de calor.

Este comportamento da energia determina muitas das propriedades de um ecossistema, tais como o número total de níveis tróficos e a proporção de predadores e de presas.

Calcula-se que apenas uma fração correspondente a 10-20% da energia existente em qualquer nível trófico estará disponível para o nível trófico imediatamente superior.

Um resultado dessa rápida redução na disponibilidade de energia é que os animais dos níveis tróficos mais altos são, em geral, muito mais raros do que aqueles de níveis tróficos inferiores. Além disso, a diminuição da energia disponível impõe um limite máximo para o número de níveis tróficos possíveis, que geralmente é de no máximo cinco ou seis níveis tróficos.

Outras representações de pirâmides ecológicas são a **pirâmide de número de indivíduos** (Figura 16(B) e (C)) e a **pirâmide de biomassa** (Figura 16(D) e (E)).

A pirâmide de número de indivíduos é composta pelo conjunto das densidades de indivíduos de cada nível trófico. Já a pirâmide de biomassa representa a quantidade de biomassa por metro quadrado ou por metro cúbico em cada nível trófico.

As unidades usuais das pirâmides de energia são calorias/m²/ano (Figura 16(A)), enquanto que as pirâmides de número de indivíduos são expressas por número/m² e as de biomassa por gramas de peso seco/m² ou m³. Perceba que as pirâmides de número

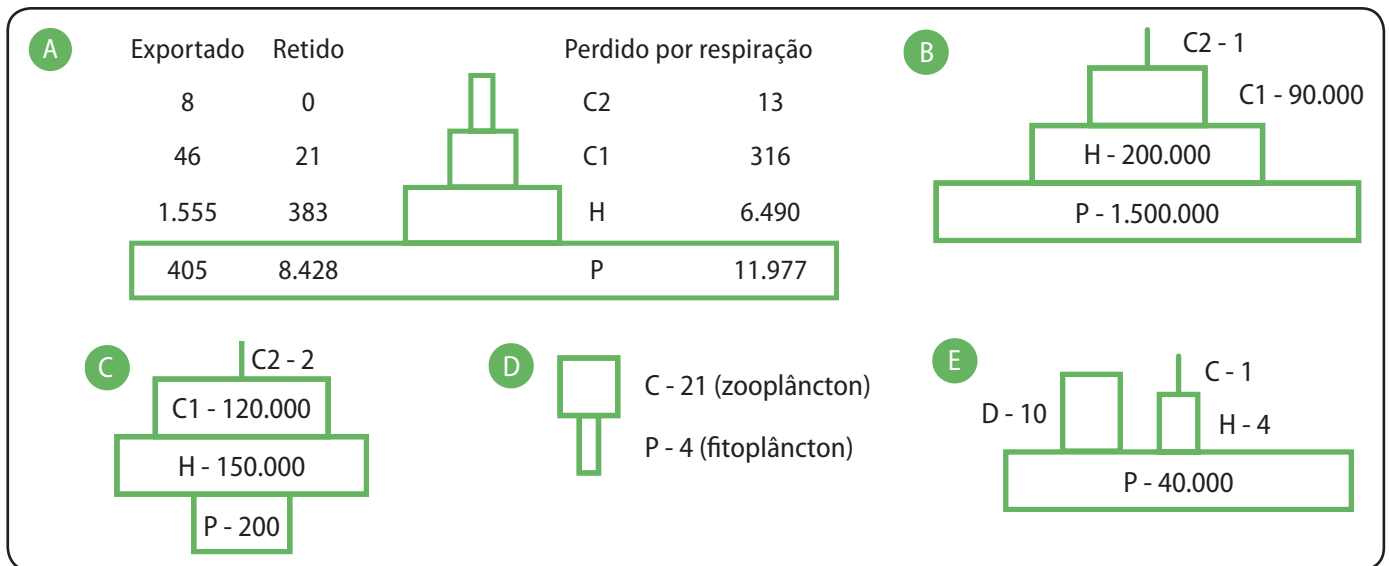


Figura 16 - C = consumidores; C1 = consumidores de primeira ordem; C2 = consumidores de segunda ordem; P = produtores; H = herbívoros; e D = decompositores. (A) Pirâmide de energia para Silver Springs, Florida, em Kcal/m²/ano; (B) Pirâmide de números para uma pradaria, em número de indivíduos para 0,1 hectare; (C) Pirâmide de números hipotética para uma floresta temperada, em número de indivíduos para 0,1 hectare; (D) Pirâmide de biomassa para o Canal da Mancha, em peso seco por m²; e (E) Pirâmide de biomassa para floresta tropical, em peso seco por m². Fonte: Modificado a partir de ODUM (1971).

Uma pirâmide invertida de número ocorre, por exemplo, quando uma única árvore suporta um número muito maior de insetos fitófagos.

e de biomassa representam medidas instantâneas, e não taxas, pois não apresentam uma dimensão temporal. Por isso, elas podem aparecer *invertidas*, e, portanto, podem apresentar as densidades e/ou biomassa mais baixas nos níveis tróficos inferiores.

Uma pirâmide invertida de biomassa pode ser observada quando uma biomassa pequena de presas com alta taxa de renovação suporta uma biomassa maior de predadores com taxa de renovação mais lenta. Esse tipo de pirâmide é comumente encontrada em ecossistemas aquáticos, nos quais os produtores primários (fitoplâncton) são pequenos e se multiplicam com rapidez, enquanto os consumidores primários (zooplâncton) são maiores e de vida mais longa (Figura 16(D)).

4.6 Cadeias e teias alimentares

Qualquer comunidade pode ser representada por uma teia alimentar. A teia alimentar é simplesmente um diagrama de todas as relações tróficas existentes entre as espécies componentes da comunidade.

Uma teia alimentar geralmente é composta por muitas cadeias alimentares, cada uma das quais representando uma única via da teia alimentar.

As teias alimentares descrevem relações funcionais entre as espécies de uma comunidade, enfatizando as conexões entre as populações. A análise das teias alimentares é útil, por exemplo, quando reconhecemos que nem todos os produtores são consumidos por todos os herbívoros da comunidade.

A Figura 17 apresenta uma teia alimentar hipotética e simplificada, bem como as relações tróficas existentes entre as espécies que compõem essa comunidade. Tal comunidade é composta por quatro espécies de plantas, oito espécies de insetos e quatro espécies de aves. As plantas correspondem ao primeiro nível trófico. Cinco espécies de insetos são herbívoras, correspondendo ao segundo nível trófico, junto com uma espécie de pássaro que se alimenta de grãos, sendo, portanto, herbívora. O terceiro nível trófico é constituído por três espécies de insetos que se alimentam dos insetos herbívoros. No quarto nível trófico, há dois pássaros insetívoros, e no quinto nível trófico, há uma ave de rapina, que é um predador de topo.

Nem sempre uma espécie preda em um único nível trófico. Os pássaros insetívoros, por exemplo, alimentam-se tanto de insetos do terceiro nível trófico como de insetos do segundo nível trófico.

A análise de teias alimentares pode mostrar particularidades nas relações funcionais entre as espécies. Na Figura 17, embora os insetos carnívoros 1 e 2 estejam no mesmo nível trófico, o primeiro depende de apenas uma espécie para a sua alimentação, enquanto que o segundo possui hábitos mais generalistas. Sendo assim, perturbações ambientais que causem alterações na abundância da espécie de inseto herbívoro 1 surtirão efeitos diferentes sobre essas duas espécies de insetos carnívoros.

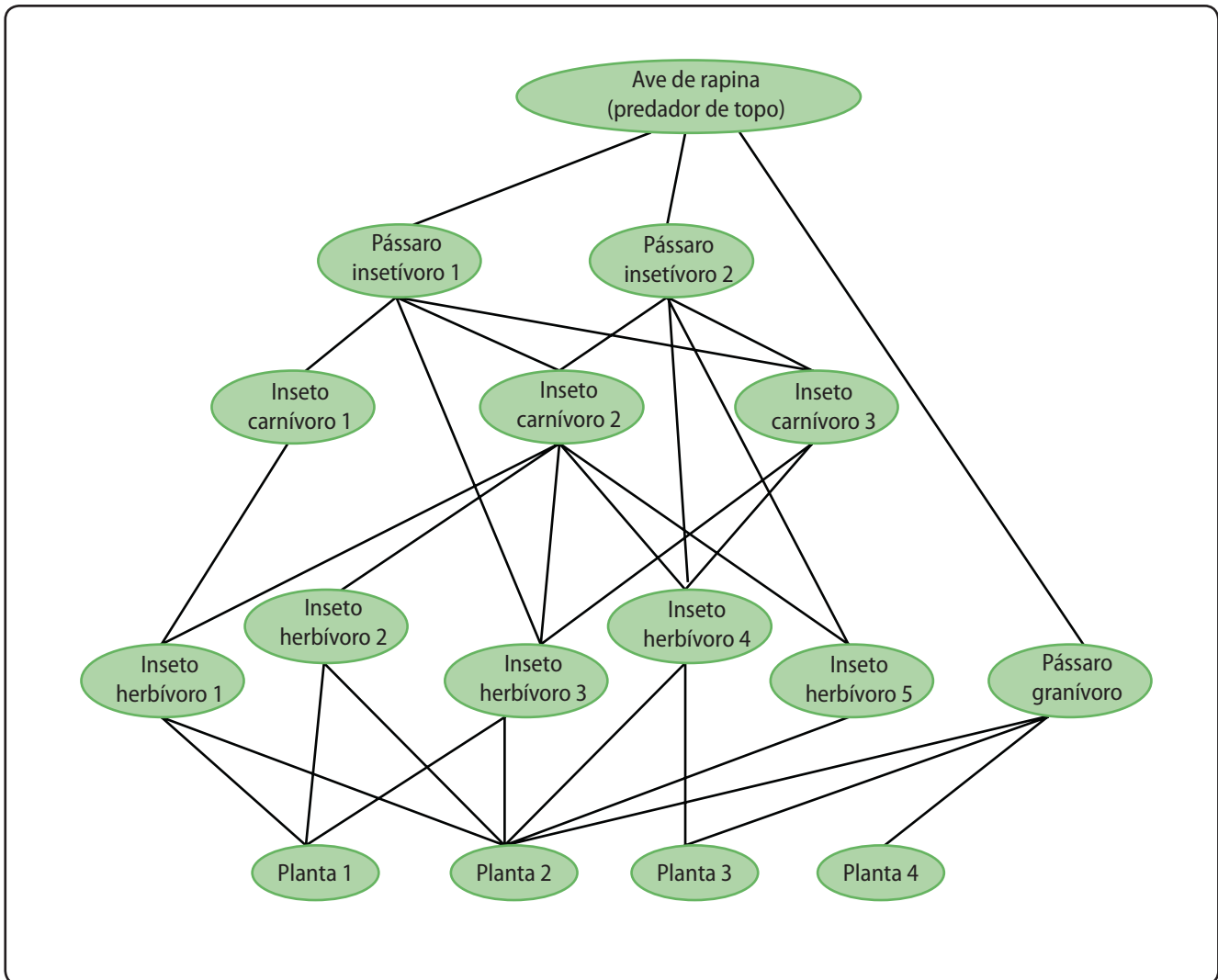


Figura 17 - Teia alimentar hipotética. Perceba as diferentes cadeias que estão formando a teia. Por exemplo: Planta 1 - Inseto herbívoro 3 - Pássaro insetívoro 1 - Ave de rapina.

Bibliografia complementar comentada

Fundamentos em ecologia.

TOWNSEND, C.R.; BEGON, M.; HARPER, J. L.

Recomendamos a leitura do item 9.5, que trata de teias alimentares, e dos itens 11.2 a 11.4, sobre fluxo de energia, produção e decomposição em ecossistemas.

TOWNSEND, C.R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. Fundamentos em ecologia. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 592p.

Fundamentos de Limnologia.

ESTEVES, F.A.

Recomendamos a leitura do Capítulo 9, que trata da radiação e de seus múltiplos efeitos em ecossistemas aquáticos.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 601p.

Referências

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia**: De indivíduos a ecossistemas. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. 752p.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 4. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971. 927p.

RICKLEFS, R.E. **A Economia da Natureza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 503p.

Ciclagem de nutrientes

O objetivo deste Capítulo é analisar os principais ciclos biogeoquímicos globais e os efeitos da ação humana sobre esses ciclos.

5.1 Definições

Na natureza, os nutrientes são movimentados ao longo de vastas distâncias, que transcendem os seus movimentos dentro das teias alimentares. Essa escala mais ampla de análise permite analisar os movimentos dos elementos químicos além dos limites locais ou de fronteiras políticas. A análise dos ciclos biogeoquímicos é bastante útil para a compreensão de processos, tais como o acúmulo de alguns poluentes e as mudanças climáticas globais.

O ser humano tem a característica única de utilizar quase todos os elementos existentes, seja para o seu metabolismo ou para as necessidades de nossa cultura complexa. A ação humana sobre os ciclos biogeoquímicos resultou em uma aceleração no movimento de muitos materiais, fazendo com que muitos processos cíclicos tendam a se tornar acíclicos. O objetivo da conservação dos recursos naturais, sob esse ponto de vista, é reduzir o impacto humano sobre os ciclos biogeoquímicos.

Dentre todos os elementos químicos existentes na natureza, cerca de 30 a 40 são necessários para os seres vivos. Alguns são necessários em grande quantidade, como o carbono, o oxigênio, o hidrogênio e o nitrogênio. Outros são necessários em quantidades bem menores, como o boro, o zinco, o magnésio, entre outros (Tabela 3).

Elemento	Ser humano adulto	Crosta terrestre	Água do mar
Carbono	48,43	0,03	0,003
Oxigênio	23,70	46,60	87,5
Nitrogênio	12,85	0,005	0,00005
Hidrogênio	6,60	0,14	10,80
Enxofre	1,60	0,05	0,09
Fósforo	1,58	0,12	0,000007
Sódio	0,65	2,8	1,05
Silício	0,65	27,7	0,0003
Alumínio	0,65	8,1	0,000001
Cloro	0,45	0,02	1,90

Tabela 3 - Abundância relativa de alguns elementos no organismo humano, na crosta terrestre e na água do mar, em porcentagem de peso seco.

Na natureza, encontramos esses elementos químicos de forma dinâmica, espalhados em diferentes compartimentos do ecossistema e muitos deles em constante movimento, embora eles possam estar mais concentrados em determinadas partes do planeta. De modo geral, podemos considerar os reservatórios de elementos químicos existindo em compartimentos.

Os elementos químicos podem existir na forma inorgânica em compartimentos localizados na atmosfera, outros na litosfera e outros na hidrosfera. Veja, a seguir, alguns exemplos:

- Reservatório na atmosfera: carbono na forma de CO_2 , nitrogênio na forma de nitrogênio gasoso.
- Reservatório na litosfera: cálcio como constituinte do carbonato de cálcio, potássio nos feldspatos.
- Reservatório na hidrosfera: nitrogênio dissolvido como nitratos, fósforo dissolvido como fosfatos, carbono como ácido carbônico.

Muitos fluxos geoquímicos ocorrem na ausência de vida, simplesmente devido à erosão e degradação de formações geológicas e atividade vulcânica. Por outro lado, os organismos alteram o fluxo de alguns elementos, extraindo ou reciclando esses elementos dos seus ciclos geoquímicos.

Organismos vivos e matéria orgânica morta podem ser considerados como compartimentos contendo elementos na forma orgânica. Por exemplo, o carbono na celulose e nas gorduras e o nitrogênio nas proteínas.

As relações dinâmicas entre os elementos nesses compartimentos são conhecidas como ciclos biogeoquímicos.

Existem dois grupos básicos de ciclos biogeoquímicos:

- Ciclos biogeoquímicos do **tipo gasoso**, nos quais o reservatório de depósito está na atmosfera ou na hidrosfera.
- Ciclos biogeoquímicos do **tipo sedimentar**, nos quais o reservatório de depósito está na litosfera.

5.2 Ciclo da água

O ciclo hidrológico é um ciclo de compreensão simples, ilustrado na Figura 18. A principal fonte de água são os oceanos. A radiação solar faz com que a água evapore para a atmosfera. Os ventos distribuem a água atmosférica pelo globo e a precipitação a traz de volta à superfície terrestre, onde a água ficará temporariamente estocada no solo, em lagos e na forma de gelo. As perdas a partir da

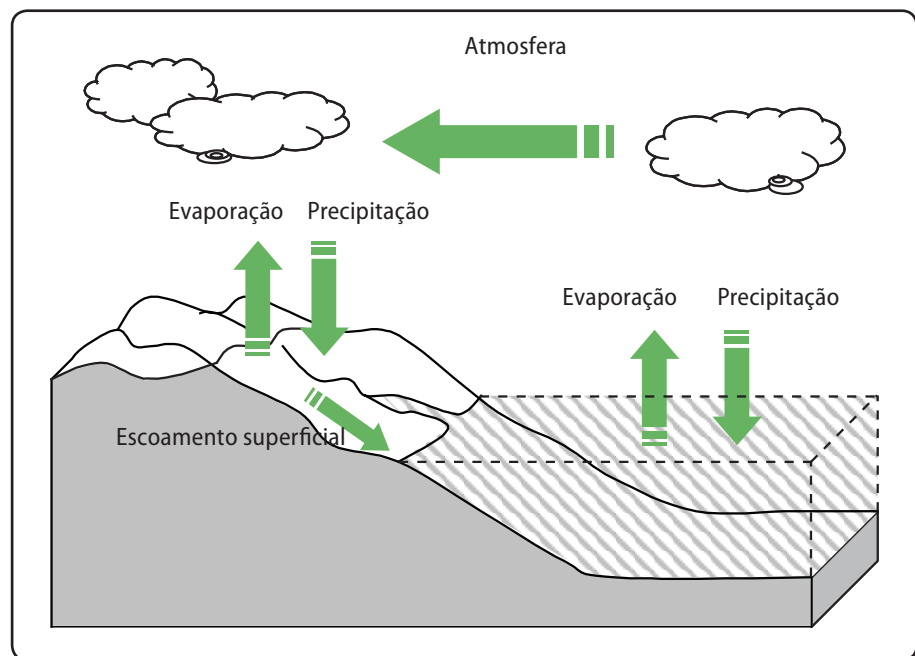


Figura 18 - O ciclo hidrológico.

superfície terrestre ocorrem devido à evaporação e transpiração, ou conforme a água flui a partir de reservatórios subterrâneos, por meio de rios, geralmente retornando para o mar.

Os maiores reservatórios de água são os oceanos (97,3% de toda a água do planeta), seguidos pelas calotas polares e pelo gelo retido em glaciares (2,06%), pelos reservatórios subterrâneos (0,67%) e pelos rios e lagos (0,01%). A proporção de água em trânsito é bastante reduzida (cerca de 0,08%), que corresponde basicamente à água de escoamento superficial e à água presente na atmosfera na forma de nuvens e vapor. Entretanto, essa pequena porcentagem desempenha um papel fundamental, pois supre os organismos vivos e a produtividade biológica terrestre, além de transportar muitos nutrientes.

O ciclo hidrológico pode ocorrer sem a presença dos organismos vivos. Porém, eles podem modificar significativamente os movimentos da água.

5.3 Ciclo do carbono

Compreender o ciclo do carbono (Figura 19) é essencial na análise de alguns dos fatores que podem ser responsáveis pelas mudanças climáticas globais.

O balanço do carbono atmosférico é extremamente dependente da ação dos organismos vivos. Os organismos fotossintetizantes retiram gás carbônico da atmosfera, transformando esse carbono em compostos orgânicos. Tais compostos orgânicos formam a biomassa vegetal que dá suporte à biomassa animal do planeta. Por sua vez, a respiração das plantas e dos animais libera gás carbônico para a atmosfera.

Historicamente, a litosfera desempenhou um papel menor no ciclo do carbono. O reservatório sedimentar do carbono, no início da Revolução Industrial, era de cerca de um quarto do tamanho do reservatório do carbono oceânico (Figura 20). A parte já utilizada desse reservatório pode parecer pequena, mas ela representa um deslocamento significativo do carbono que estava na forma sedimentar para carbono atmosférico.

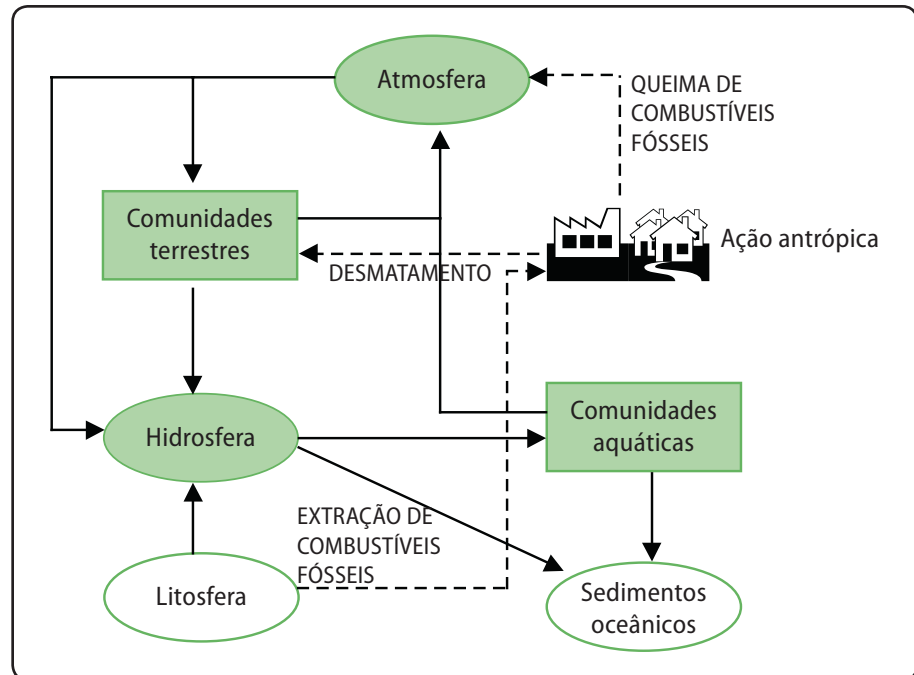


Figura 19 - Ciclo do carbono. Os principais compartimentos envolvidos no ciclo são aqueles preenchidos. As linhas tracejadas indicam as ações humanas sobre o ciclo
Fonte: Modificado a partir de Begon *et al.* 2007.

Os oceanos também são depósitos importantes do dióxido de carbono produzido pela queima de combustíveis fósseis. Como o dióxido de carbono (CO_2) atmosférico se dissolve rapidamente na água, a taxa de aumento do CO_2 na atmosfera, devido à queima de combustíveis fósseis e ao desmatamento, ainda é mais baixa do que ela poderia ser caso não houvesse essa troca ar-água.

Efeito estufa e o aquecimento global

Em pequenas proporções, o efeito estufa é um fenômeno natural que garante a existência de vida na Terra. Graças a esse efeito, a temperatura do planeta varia dentro de uma faixa pequena, quando comparada à variação de temperaturas que ocorreriam se esse efeito não existisse. Porém, o efeito estufa está se agravando com a queima de combustíveis fósseis, o que aumenta a concentração de gases como o gás carbônico na atmosfera. Procure saber como funciona o efeito estufa e quais são as consequências do seu agravamento.

Embora a situação ideal para evitar o aquecimento global seja a redução da emissão dos gases de efeito estufa, as florestas também são importantes nessa regulação. As florestas possuem um papel importantíssimo nas discussões sobre mudanças climáticas, pois podem absorver parte do carbono que está em excesso na atmosfera. Entretanto, o carbono liberado com o desmatamento e a queima de florestas pode exceder o carbono absorvido por elas.

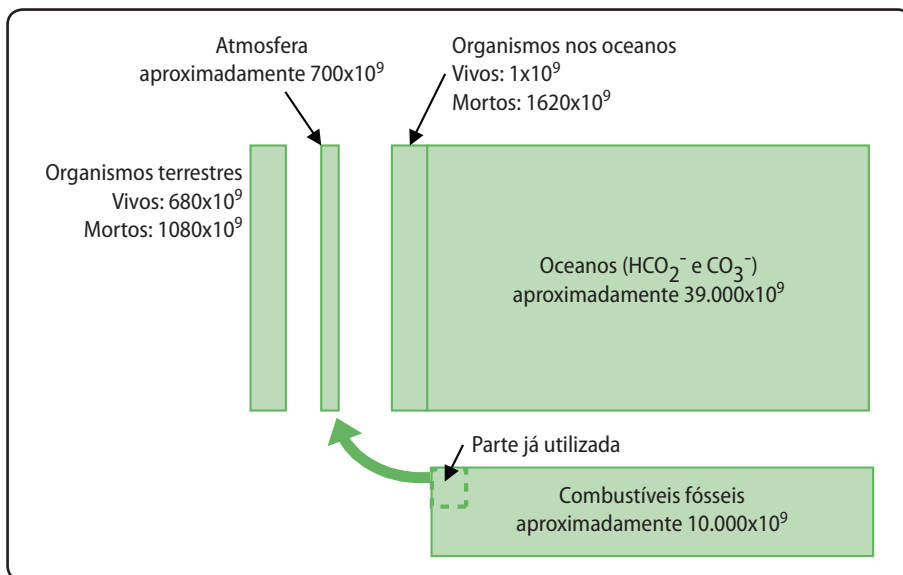


Figura 20 - Principais reservatórios do carbono, em toneladas. Escala aproximada. Fonte: Modificado a partir de Colinvaux (1986).

O balanço do carbono dissolvido nos oceanos é relativamente complexo e depende da regulação entre óxidos de carbono, carbonatos, bicarbonatos e ácido carbônico. Porém, pequenos aumentos na temperatura global podem alterar esse balanço, fazendo com que os oceanos também sejam fontes de carbono para a atmosfera.

5.4 Ciclo do nitrogênio

O nitrogênio é um gás inerte, responsável por cerca de 79% do volume da atmosfera. No ciclo do nitrogênio, a fase atmosférica é a predominante. Nesse ciclo, os organismos responsáveis pela fixação do nitrogênio atmosférico e pela denitrificação são de importância fundamental (Figura 21).

Cerca de 3 a 4% do nitrogênio atmosférico fixado deriva da ação de descargas elétricas durante tempestades, alcançando o solo como ácido nítrico dissolvido nas chuvas. A maior parte do nitrogênio atmosférico fixado ocorre devido à ação dos microorganismos fixadores de nitrogênio, como as bactérias *Azotobacter*, *Clostridium*, *Rhizobium* e as cianobactérias *Anabaena* e *Nostoc*.

As plantas utilizam o nitrogênio fixado por esses organismos na forma de nitratos. O cultivo de leguminosas, que possuem sim-

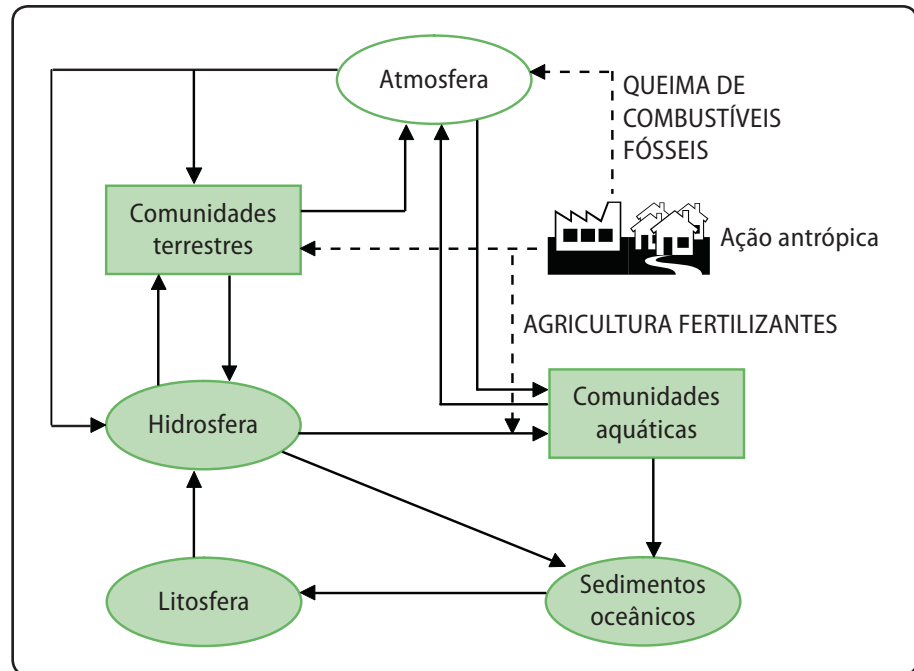


Figura 21 - Ciclo do nitrogênio. Os principais compartimentos envolvidos no ciclo são aqueles preenchidos. As linhas tracejadas indicam as ações humanas sobre o ciclo. Fonte: Modificado a partir de Begon *et al.*, 2007.

biose com bactérias fixadoras de nitrogênio, também contribui na fixação desse elemento.

As bactérias denitrificantes, como a *Pseudomonas denitrificans*, realizam o processo inverso, devolvendo o nitrogênio dos nitratos para a atmosfera.

O fluxo de nitrogênio das comunidades terrestres para as comunidades aquáticas se dá por meio dos rios. Apesar desse fluxo ser de magnitude pequena, ele é importante, pois devemos considerar que o nitrogênio, junto com o fósforo, são os dois principais nutrientes que limitam o crescimento das plantas. Ocorre também uma perda anual de nitrogênio para os sedimentos oceânicos.

A ação humana tem vários efeitos sobre o ciclo do nitrogênio. O desmatamento e a abertura de áreas com solo exposto levam a um aumento substancial no fluxo de nitratos carregados pelos corpos d'água e nas perdas de óxido nitroso para a atmosfera. Entretanto, é a produção de fertilizantes nitrogenados, como a ureia, que corresponde a cerca de 50.000.000 toneladas anuais, as quais são as que mais contribuem com alterações na quantidade de nitrogênio dos corpos d'água.

Também ocorre uma alteração na dinâmica do nitrogênio atmosférico, em consequência da liberação de óxidos de nitrogênio por meio da queima de combustíveis fósseis. Esses óxidos de nitrogênio são convertidos em ácido nítrico, que contribui com a acidificação das chuvas em regiões industrializadas.

5.5 Ciclo do fósforo

O principal reservatório do fósforo ocorre na água do solo, nos rios, lagos e oceanos, e nas rochas e sedimentos oceânicos. O ciclo do fósforo é um ciclo sedimentar, pois há uma tendência geral de o fósforo mineral ser carregado da terra para os oceanos, onde é incorporado aos sedimentos (Figura 22). O retorno do fósforo que foi sedimentado no fundo dos oceanos para a superfície terrestre é extremamente lento, ocorrendo com a atividade geológica de soerguimento de massas de terra.

A atividade humana altera esse ciclo de várias maneiras. A pesca marinha transfere cerca de 50.000.000 toneladas por ano, dos oceanos para a terra. Uma parte desse fósforo oriundo da pesca irá para os ambientes terrestres na forma de fertilizantes; outra parte, na forma de esgoto doméstico. Esse fluxo é relativamente pequeno, quando comparado ao reservatório total de fósforo, que é estimado em cerca de 120.000.000.000 toneladas.

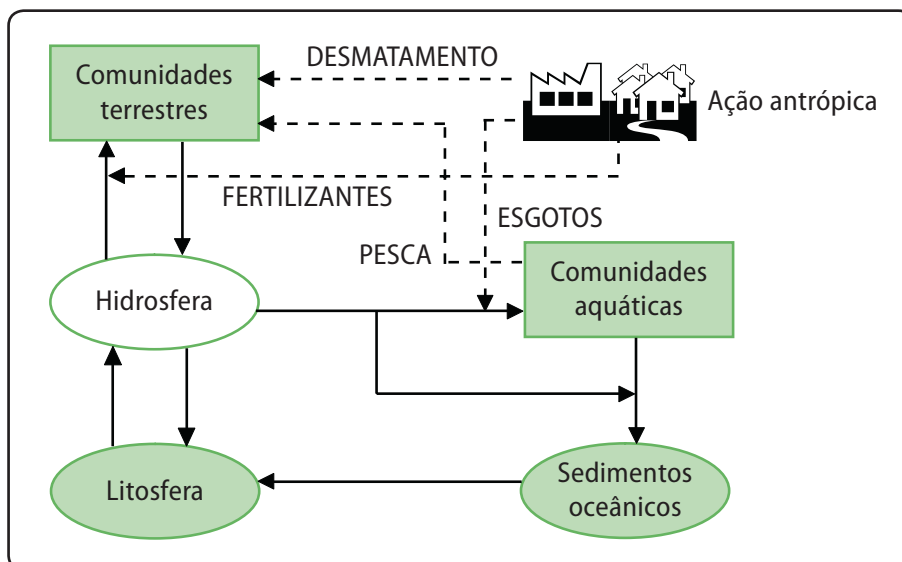


Figura 22 - Ciclo do fósforo. Os principais compartimentos envolvidos no ciclo são aqueles preenchidos. As linhas tracejadas indicam as ações humanas sobre o ciclo. Fonte: Modificado a partir de Begon *et al.*, 2007.

Porém, esse fósforo que vai para os ambientes terrestres eventualmente será transportado para os rios, podendo contribuir para um aumento significativo do fósforo dissolvido nas águas interiores. Mais de 13.000.000 toneladas de fósforo são usadas anualmente na agricultura como fertilizantes e uma boa parte desse fósforo não é aproveitado pelas plantas cultivadas, sendo carregado para os rios. Além disso, cerca de 3.000.000 toneladas de fósforo são usadas anualmente como aditivo para detergentes. Grande parte desse fósforo também contribui para o aumento da concentração do elemento nas águas interiores, o que pode estimular a produção primária e alterar o equilíbrio do ecossistema.

No total, as atividades humanas contribuem com quase dois terços do fósforo que entra nos oceanos por meio dos rios, anualmente.

5.6 Ciclo do enxofre

No ciclo do enxofre, o principal reservatório está localizado no solo e nos sedimentos. Um reservatório menor ocorre na atmosfera (Figura 23). Três processos biogeoquímicos naturais liberam enxofre para a atmosfera: a formação de aerossóis devido à ação das ondas do mar, a atividade vulcânica e a respiração anaeróbica de bactérias redutoras de sulfatos. Um fluxo inverso ocorre a partir da atmosfera, envolvendo oxidação dos compostos de enxofre para sulfatos, que retornam à superfície terrestre principalmente pela ação das chuvas. Cerca de 21.000.000 toneladas por ano retornam ao ambiente terrestre e 19.000.000 toneladas por ano retornam aos oceanos.

A erosão de rochas sobre a superfície terrestre contribui com cerca de 50% do enxofre que é drenado para os rios e lagos, o restante deriva de fontes atmosféricas. Ocorre também uma contínua incorporação de enxofre pelos sedimentos dos oceanos, principalmente por meio de processos abióticos que combinam o enxofre com o ferro.

A ação humana interfere no ciclo do enxofre principalmente por meio da queima de combustíveis fósseis. O dióxido de enxofre lançado na atmosfera é oxidado e convertido em ácido sulfúrico, concentrando a **precipitação** desse composto químico em áreas onde há maior atividade industrial.

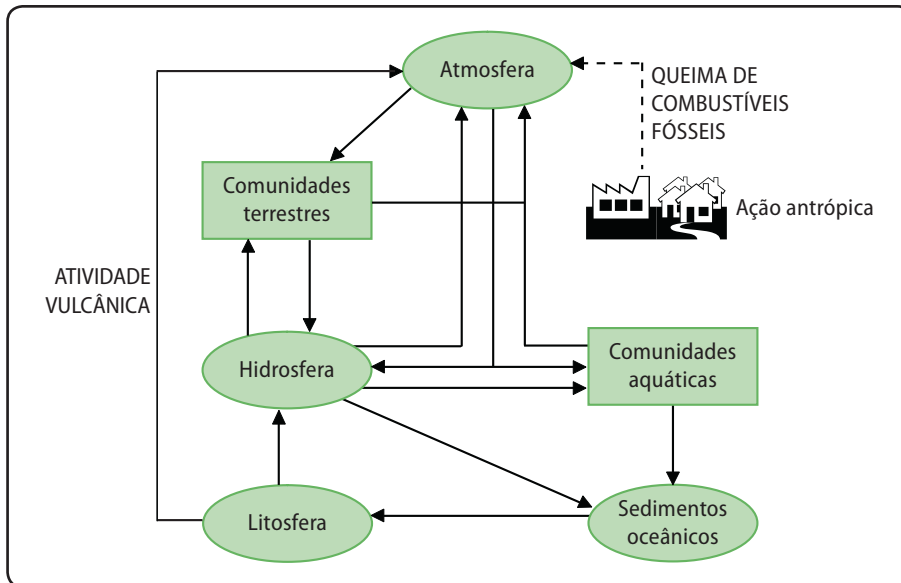


Figura 23 - Ciclo do enxofre. Os principais compartimentos envolvidos no ciclo são aqueles preenchidos. As linhas tracejadas indicam as ações humanas sobre o ciclo
 Fonte: Modicado a partir de Begon *et al.*, 2007.

Ligações entre a ciclagem de nutrientes e a reciclagem de materiais

Segundo Odum e Barrett (2007), a biogeoquímica pode nos ensinar muitas coisas em relação aos caminhos da reciclagem. De modo similar à ciclagem de nutrientes em sistemas naturais, podemos analisar a reciclagem de alguns materiais em sistemas urbano-industriais, como, por exemplo, a reciclagem de papel. Quando ainda havia fartura de áreas para o descarte de papéis usados e de fábricas de papéis, havia pouco incentivo para o investimento em instalações e energia para reciclar o papel. Com o passar do tempo, as áreas disponíveis para a produção de papel diminuíram, além de ter ficado cada vez

mais caro manter aterros sanitários ou locais para descarte. Esses fatores contribuíram para que a reciclagem começasse a ser considerada como uma alternativa mais interessante. Para que a reciclagem ocorra, é preciso que exista um mercado e usinas de reciclagem. As usinas, segundo Odum e Barrett (2007), “representam um mecanismo de reciclagem de economia de energia similar às estruturas dissipativas encontradas nos ecossistemas naturais, como as florestas e os recifes de coral”.

Fonte: ODUM, E. P.; BARRETT, G.W. **Fundamentos de Ecologia**. 5. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

Chuva Ácida

Uma precipitação ácida é definida como chuva ou neve com pH menor do que 5,6. A seguir, é demonstrado o processo que gera a chuva ácida. Esse processo pode trazer uma

série de prejuízos à saúde humana e aos outros seres vivos (reduzindo o pH do ambiente desses organismos), além de prejuízos econômicos, como a corrosão de edificações.



Bibliografia complementar comentada

Fundamentos de Limnologia

ESTEVES, F. A.

Recomendamos a leitura dos Capítulos 11, 12, 13, 14 e 15, que tratam dos ciclos em ecossistemas aquáticos.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 601p.

A Economia da Natureza

RICKLEFS, R.E.

Recomendamos a leitura do Capítulo 7, que trata sobre ciclos biogeoquímicos.

RICKLEFS, R.E. **A Economia da Natureza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 503p.

Referências

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 4. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971. 927p.

RICKLEFS, R.E. **A Economia da Natureza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 503p.

Ecossistemas aquáticos continentais

O objetivo deste Capítulo é enfatizar e integrar todos os conceitos de Ecologia que foram apresentados e demonstrar a sua aplicação nos ecossistemas usados como modelos mais simples para o estudo da Ecologia como, por exemplo, lagos, rios e reservatórios.

6.1 Ecologia de lagos

A ecologia de lagos cresceu bastante a partir do trabalho clássico do americano Stephen Forbes, em 1887, que descreveu o lago como um microcosmo. Segundo o autor, o lago forma um mundo dentro de si mesmo, onde todas as forças elementares estão em ação e o jogo da vida ocorre na sua íntegra, em uma escala tão reduzida que facilita o seu entendimento. Os clássicos trabalhos de ecologia surgiram na Europa no final do século XIX, principalmente em lagos da Suécia e Alemanha, de onde surgiram os principais pesquisadores e os princípios dessa Ciência.

No Brasil, assim como no resto do mundo, a ecologia de lagos avançou muito nos últimos anos e percebe-se, nas últimas décadas, o caráter mais experimental dos *trabalhos*, que visam cada vez mais a solução de problemas causados pelos usos inadequados dos ambientes aquáticos.

Em relação à origem dos lagos, existe uma grande diversidade de gêneses, que, muitas vezes, caracterizam as condições atuais de sua forma, funcionamento e composição de espécies. Existem lagos formados por movimentos diferenciais da crosta terrestre, como os movimentos epirogenéticos e de falhas tectônicas; lagos de origem vulcânica e glaciares, até eventos raros de lagos formados pelo impacto de meteoritos. No Brasil, podemos destacar, também, lagos formados pela atividade de rios e lagoas costeiras, que podem ter suas origens associadas às transgressões e regressões do oceano e à deposição de sedimentos marinhos, além de lagos formados pela ação de ventos em terrenos tipicamente arenosos.

A recuperação, preservação e conservação da diversidade biológica e da qualidade das águas têm sido foco das principais pesquisas em andamento.

Entre os principais compartimentos dos lagos, podemos destacar: **a)** a região litorânea, que se caracteriza por ser uma área de transição entre os sistemas terrestre e aquático; **b)** a interface entre o ar e a água, onde ocorrem importantes trocas gasosas; e **c)** a região do corpo central do ecossistema, que possui os organismos tipicamente aquáticos e que ainda pode ser subdividida em região superficial (zona limnética), caracterizada pela presença de luz, e região mais profunda (zona bentônica), que não possui incidência de luz e é muito dependente da produção primária das águas mais superficiais (Figura 24).

Os organismos também podem ser divididos de acordo com suas características e com a região em que vivem no lago. Os organismos planctônicos vivem na coluna d'água, não possuem capacidade natatória e podem ser divididos em produtores, chamados de

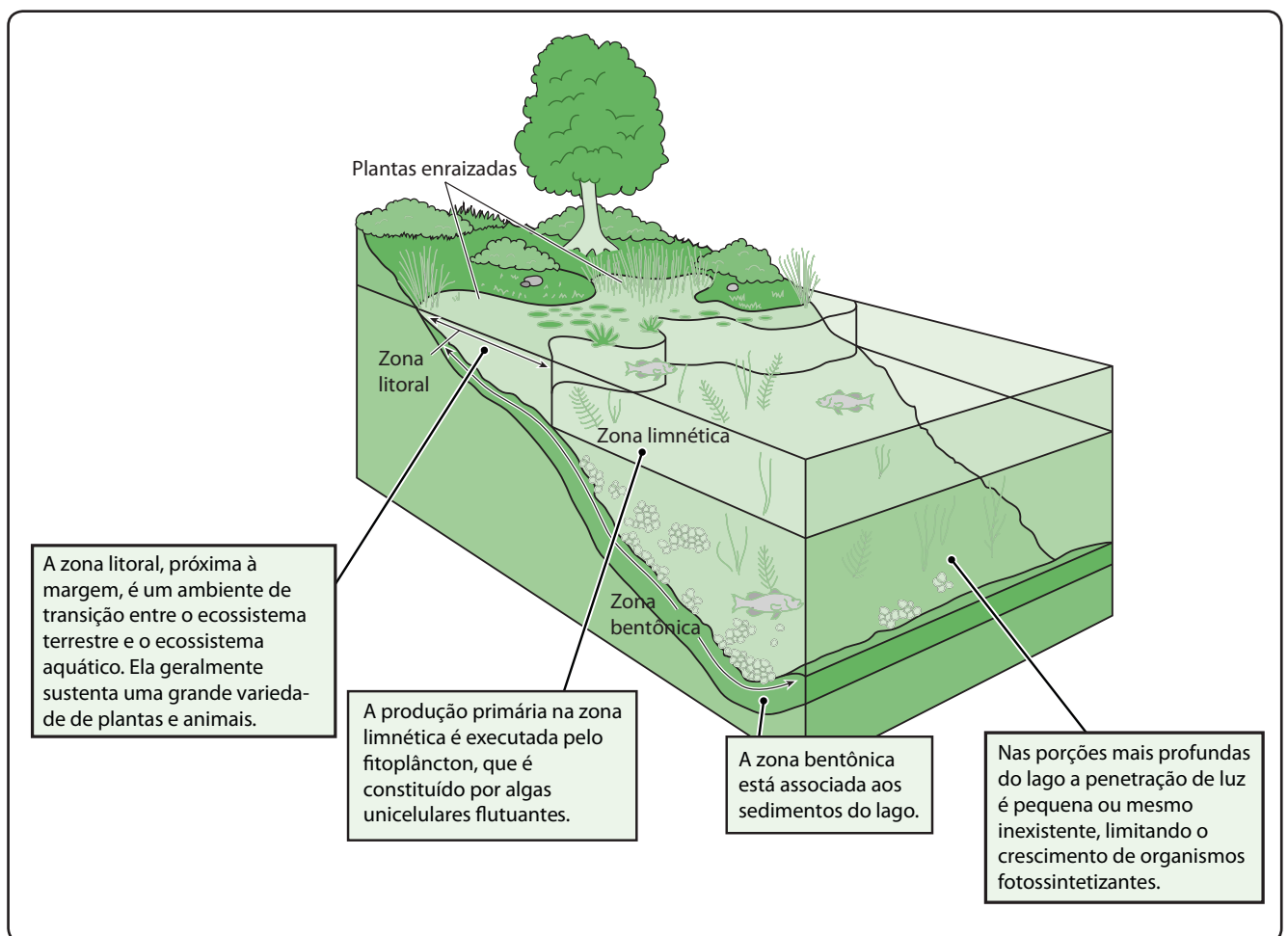


Figura 24 - Principais compartimentos de um lago.

fitoplâncton, e consumidores, chamados de zooplâncton. Os organismos bentônicos não necessariamente são sésseis, mas estão sempre associados a algum substrato que pode ser o fundo dos lagos, as plantas aquáticas ou pedras nas margens. Existem também os organismos nectônicos, que podem explorar mais o ambiente em virtude de sua capacidade natatória e que são comumente representados pelos peixes e pela comunidade de macrófitas aquáticas, que são espécies vegetais que vivem tipicamente na área de transição entre os lagos e os ambientes terrestres, as quais, juntamente com o fitoplâncton, são importantíssimas para a produção primária dos ecossistemas lacustres.

O metabolismo dos lagos pode ser compreendido como o estudo da estrutura e do funcionamento dos ecossistemas e possui três principais etapas: a produção, o consumo e a decomposição. Assim como para os organismos, que podem ser autotróficos e heterotróficos, os lagos, de acordo com a dinâmica da matéria orgânica, podem apresentar características mais autotróficas, quando existe um domínio das taxas de produção sobre o consumo e a respiração, e tendências heterotróficas, quando as taxas de consumo e respiração predominam sobre a produção. Nesse caso, o ambiente aquático fica dependente das fontes externas de matéria orgânica.

Eutrofização

A eutrofização é um processo natural de envelhecimento dos ecossistemas aquáticos, o qual se caracteriza pelo aumento das concentrações de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. O lago vai aumentando o seu grau de trofia, passando por estágios de oligotrofia, mesotrofia, chegando a ficar eutrófico. Com o uso desordenado dos recursos naturais e, principalmente, com o destino inadequado dos efluentes domésticos, industriais e agrícolas, os lagos passaram a aumentar as cargas de nitrogênio e fósforo e o processo de eutrofização foi acelerado em vários lagos, o que resultou em uma eutrofização artificial dos sistemas. As principais características de lagos eutrofizados são as grandes variações nas concentrações de oxigênio dissolvido na água, a diminuição da penetração de luz e da diversidade de espécies, além do grande aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo.

6.2 Ecologia de rios

Os estudos de ecologia de rios são bem recentes na literatura e visam, principalmente, a entender a estrutura e o funcionamento das comunidades biológicas para compreender as interações dos componentes bióticos e abióticos nos sistemas. Os rios são importantes fontes de recursos hídricos para as populações humanas e eram bem estudados apenas do ponto de vista da sua hidrologia e **geomorfologia**, que investigam basicamente os aspectos físicos da bacia hidrográfica, como a estrutura dos canais fluviais, o transporte de sedimentos e os regimes de flutuação da vazão.

Os sistemas **lóticos** são considerados ecossistemas abertos por estarem em íntima relação com ambientes terrestres e heterotróficos, em razão dos grandes aportes de matéria e energia. Assim, como os lagos, possuem regiões que são bem distintas em relação à composição de espécies e dos fatores abióticos.

As regiões de nascentes são geralmente mais dependentes do ambiente terrestre adjacente, apresentam canais mais estreitos e menor volume de água. As regiões de foz, além de maiores volumes de massa de água, possuem grandes quantidades de material em suspensão que foram trabalhadas e transformadas ao longo do canal fluvial.

Existem ainda as regiões de rápido e remansos, que são distintas principalmente pela vazão e velocidade de corrente. Esta, por sinal, é um dos principais componentes que regulam a estrutura de comunidades e os fatores abióticos nos rios.

Em relação aos estudos de rios, destacam-se os conceitos do pulso de inundação e do rio como um contínuo, que visam a explicar a estrutura e o funcionamento dos sistemas lóticos, mas possuem em comum a característica da unidimensionalidade, seja lateral ou longitudinal, na dinâmica do sistema. Atualmente, os estudos de rios devem levar em consideração as dimensões laterais, verticais, longitudinais, as modificações temporais e, principalmente, o componente humano, para se ter um correto entendimento sobre o funcionamento dos rios.

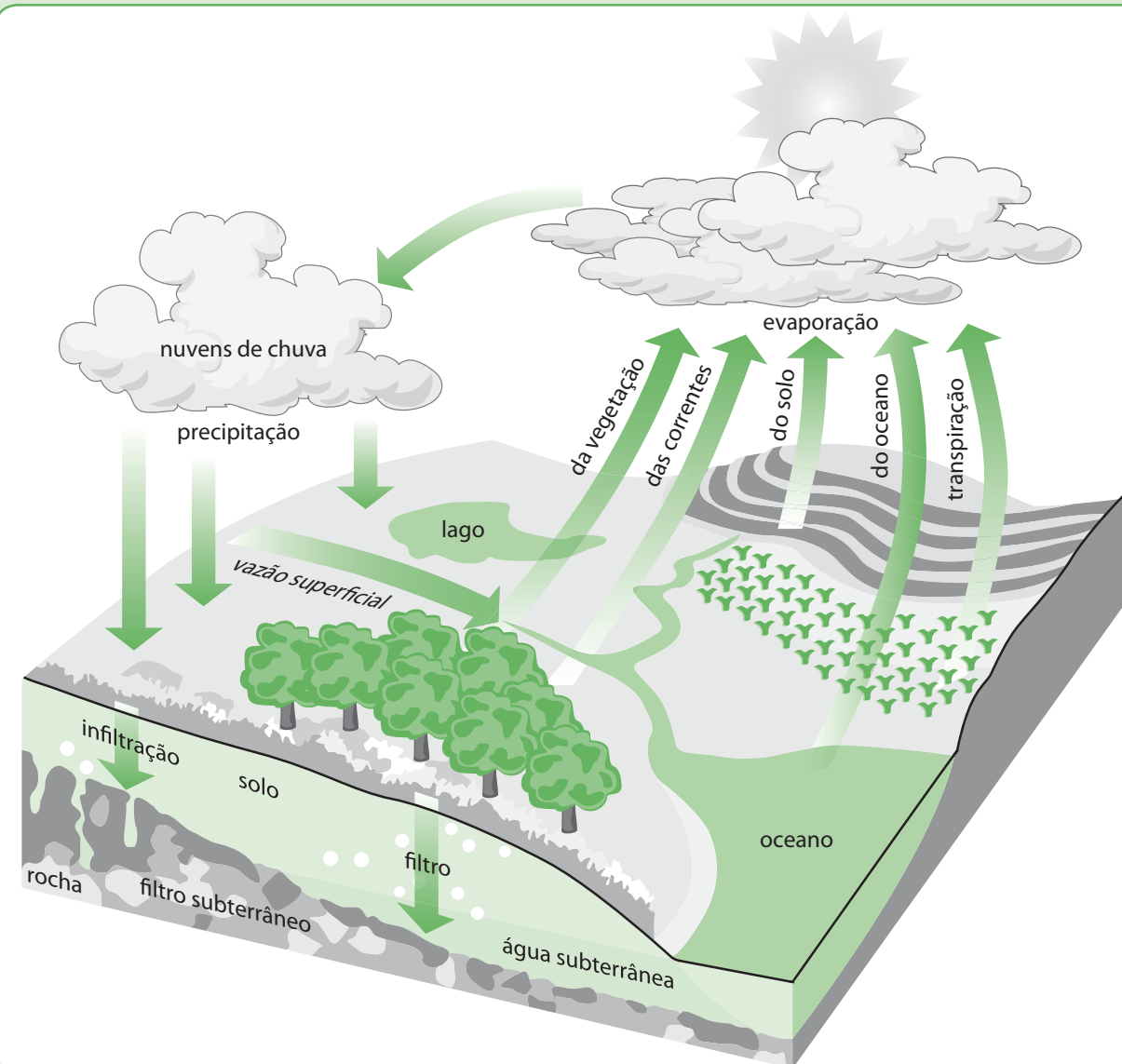
Além disso, é válido ressaltar que a bacia hidrográfica é a unidade fundamental para o correto planejamento ambiental e que os

estudos de ecologia de rios devem levar esse fato em consideração. Por serem ecossistemas que recebem grande influência dos sistemas adjacentes, qualquer alteração nos sistemas terrestres resulta em modificações na qualidade das águas de um rio.

Bacia Hidrográfica

É uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, em um determinado ponto de um canal fluvial. É o resultado da interação da água e dos outros recur-

sos naturais como a vegetação, a topografia e o clima. O limite de uma bacia hidrográfica é conhecido como divisor de drenagem ou divisor de águas.



6.3 Ecologia de reservatórios

Um reservatório é formado principalmente pelo represamento de rios, que visam a atender as principais demandas de recursos hídricos para as populações humanas. Entre elas, destacamos o abastecimento de água, a obtenção de energia elétrica, a irrigação, a navegação e a recreação. Atualmente, a prioridade no planejamento e na construção de reservatórios leva em consideração, principalmente, a questão dos usos múltiplos do recurso hídrico para as atividades acima destacadas.

Os estudos de ecologia em reservatórios são também mais recentes no Brasil. São sistemas que, dependendo do seu funcionamento e das características hidráulicas, podem funcionar como um ambiente intermediário entre os ecossistemas rios e lagos. No entanto, esses ambientes têm se demonstrado extremamente complexos, com vários compartimentos, uns mais semelhantes aos lagos, outros mais semelhantes aos rios, e são muito influenciados pelas características da bacia hidrográfica, pelo clima da região e pelas comunidades aquáticas que ali vivem.

O planejamento para novos reservatórios deve levar em consideração a localização, as características do clima, da vazão, da geologia e geomorfologia da bacia, a diversidade dos organismos aquáticos e as características dos rios que irão abastecer o reservatório e, principalmente, a interação do ambiente com os seus usos múltiplos. Fatores como o tempo de vida útil, o potencial para desenvolver a eutrofização e, principalmente, as questões socio-econômicas e de realocação de populações humanas são de extrema importância e estão previstas na legislação brasileira.

A dinâmica, o funcionamento e, principalmente, a gestão dos reservatórios devem ser entendidos a partir do conhecimento do ecossistema, levando em consideração a bacia de drenagem, de maneira integrada e fundamentalmente de maneira preditiva, pois os estudos de monitoramento devem antecipar os impactos e prevenir as alterações que o sistema possa vir a sofrer.

Referências

BRIGANTE, J. E.; ESPÍNDOLA, E. L.G. **Limnologia Fluvial: um Estudo no Rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: Rima, 2003. 255p.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 601p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2003. 248p.



A Ecologia é hoje uma área das Ciências Biológicas extremamente vasta. A Ecologia é uma ciência de síntese, na qual busca-se compreender os padrões gerais que organizam a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, das comunidades e das populações. Neste volume são abordados conteúdos básicos da Ecologia, tais como os marcos históricos da disciplina e os fundamentos dessa área de estudo, como os conceitos de níveis de organização, ciclagem de nutrientes, ciclos biogeoquímicos e fluxo de energia através das comunidades nos ecossistemas.

Introdução à Ecologia

