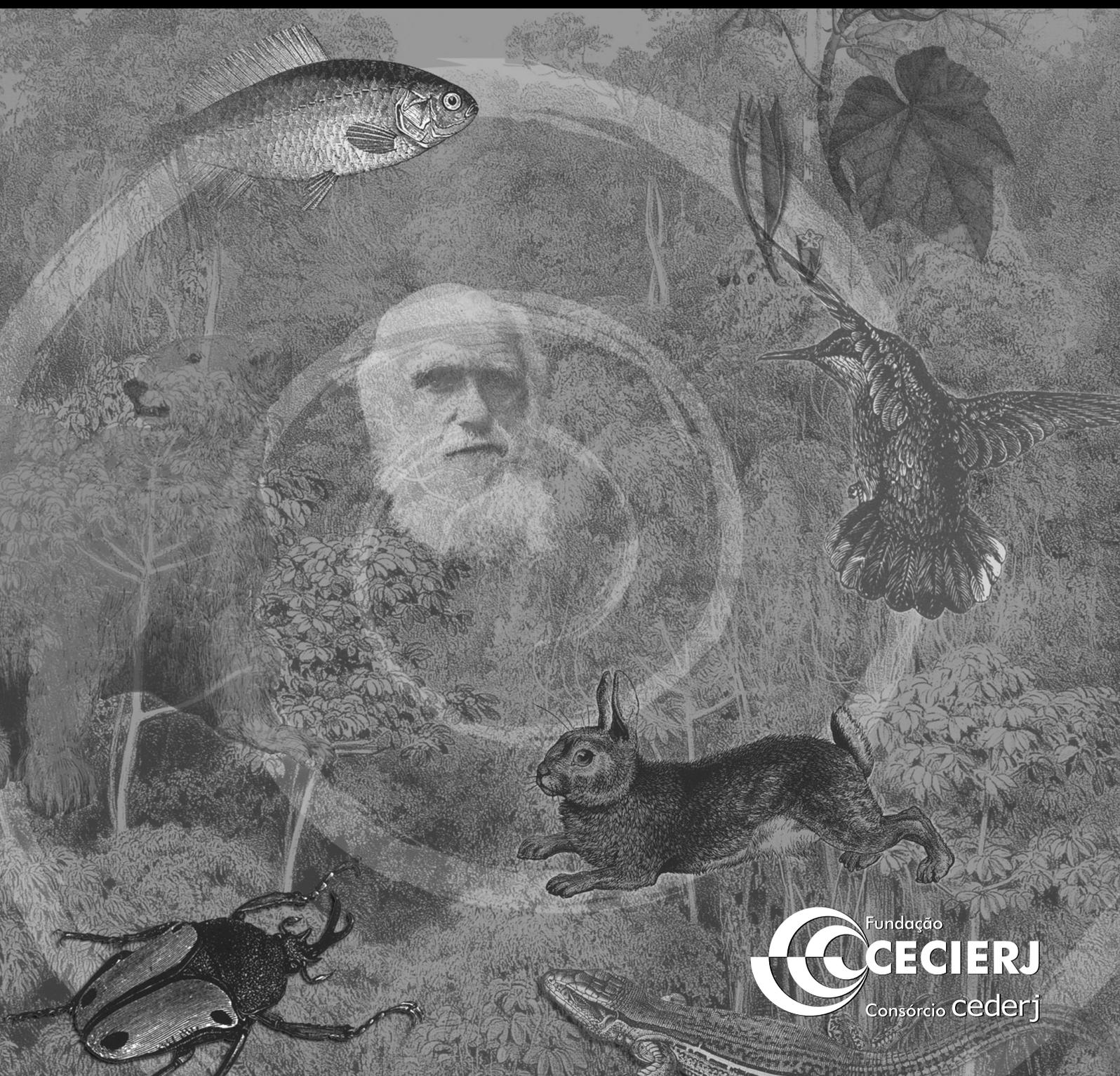


Benedita Aglai O. da Silva  
Deia Maria Ferreira  
Margarete Macedo  
Paulo Pedrosa Andrade

## Elementos de Ecologia e Conservação







Fundação

**CECIERJ**

Consórcio **cederj**

Centro de Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro

## Elementos de Ecologia e Conservação

Volume 1 - Módulos 1  
2ª edição

Benedita Aglai O. da Silva

Deia Maria Ferreira

Margarete Macedo

Paulo Pedrosa Andrade



**GOVERNO DO  
Rio de Janeiro**

**SECRETARIA DE  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

Ministério  
da Educação



Apoio:



# Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

Rua Visconde de Niterói, 1364 - Mangueira - Rio de Janeiro, RJ - CEP 20943-001

Tel.: (21) 2299-4565 Fax: (21) 2568-0725

## Presidente

Masako Oya Masuda

## Vice-presidente

Mirian Crapez

## Coordenação do Curso de Biologia

UENF - Milton Kanashiro

UFRJ - Ricardo Iglesias Rios

UERJ - Cibebe Schwanke

## Material Didático

### ELABORAÇÃO DE CONTEÚDO

Benedita Aglai O. da Silva

Deia Maria Ferreira

Margarete Macedo

Paulo Pedrosa Andrade

### COORDENAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL

Cristine Costa Barreto

### DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL E REVISÃO

Alexandre Rodrigueus Alves

Jane Castellani

Marcia Pinheiro

Márcio Paschoal

Marta Abdala

### COORDENAÇÃO DE LINGUAGEM

Maria Angélica Alves

## Departamento de Produção

### EDITORA

Tereza Queiroz

### COORDENAÇÃO EDITORIAL

Jane Castellani

### REVISÃO TIPOGRÁFICA

Patrícia Paula

### COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO

Jorge Moura

### PROGRAMAÇÃO VISUAL

Alexandre d'Oliveira

André Freitas de Oliveira

Bruno Gomes

Marta Strauch

Reinaldo Lee

### ILUSTRAÇÃO E CAPA

Alexandre d'Oliveira

Bruno Gomes

David Amiel

Eduardo Bordoni

Reinaldo Lee

### PRODUÇÃO GRÁFICA

Andréa Dias Fiães

Fábio Rapello Alencar

Copyright © 2007, Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada, por qualquer meio eletrônico, mecânico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização, por escrito, da Fundação.

S586e

Silva, Benedita Aglai O.da.

Elementos de ecologia e conservação. v. 1. / Benedita Aglai O. da Silva. 2 ed. – Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2008.

238p.; 19 x 26,5 cm.

ISBN: 85-7648-342-4

1. Ecologia. 2. Ecossistemas. 3. Fatores abióticos. 4. Transferência de energia 5. Ciclos biogeoquímicos. I. Ferreira, Deia.

Maria, II. Macedo, Margarete, III. Andrade, Paulo Pedrosa

IV. Título.

CDD: 519.5

# Governo do Estado do Rio de Janeiro

**Governador**  
Sérgio Cabral Filho

**Secretário de Estado de Ciência e Tecnologia**  
Alexandre Cardoso

## Universidades Consorciadas

**UENF - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO  
NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO**  
Reitor: Almy Junior Cordeiro de Carvalho

**UERJ - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO  
RIO DE JANEIRO**  
Reitor: Ricardo Vieiralves

**UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**  
Reitor: Roberto de Souza Salles

**UFRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
RIO DE JANEIRO**  
Reitor: Aloísio Teixeira

**UFRRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL  
DO RIO DE JANEIRO**  
Reitor: Ricardo Motta Miranda

**UNIRIO - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO  
DO RIO DE JANEIRO**  
Reitora: Malvina Tania Tuttman



# Elementos de Ecologia e Conservação

Volume 1 – Módulo 1

## SUMÁRIO

<b>Aula 1</b> – Ecologia: histórico _____	7
<i>Deia Maria Ferreira</i>	
<b>Aula 2</b> – O âmbito da Ecologia: definições e perspectivas _____	23
<i>Deia Maria Ferreira</i>	
<b>Aula 3</b> – Níveis de organização e o estudo ecológico _____	41
<i>Margarete Macedo</i>	
<b>Aula 4</b> – O meio ambiente: introdução aos fatores físicos e aos fatores limitantes _____	53
<i>Benedita Aglai O. da Silva</i>	
<b>Aula 5</b> – Fatores abióticos: luz e temperatura _____	67
<i>Benedita Aglai O. da Silva</i>	
<b>Aula 6</b> – Fatores abióticos: umidade e salinidade _____	83
<i>Benedita Aglai O. da Silva</i>	
<b>Aula 7</b> – Substratos sólidos: solos e sedimentos _____	99
<i>Paulo Pedrosa Andrade</i>	
<b>Aula 8</b> – Adaptações _____	117
<i>Benedita Aglai O. da Silva</i>	
<b>Aula 9</b> – Transferência de energia e biomassa I _____	131
<i>Benedita Aglai O. da Silva</i>	
<b>Aula 10</b> – Transferência de energia e biomassa II _____	149
<i>Benedita Aglai O. da Silva</i>	
<b>Aula 11</b> – Ciclos biogeoquímicos I _____	161
<i>Paulo Pedrosa Andrade</i>	
<b>Aula 12</b> – Ciclos biogeoquímicos II _____	181
<i>Paulo Pedrosa Andrade</i>	
<b>Aula 13</b> – Sucessão ecológica _____	201
<i>Benedita Aglai O. da Silva</i>	
<b>Pesquisa de campo</b> – Ecossistemas do Estado do Rio de Janeiro: Mata Atlântica _____	213
<i>Deia Maria Ferreira</i>	
<b>Referências</b> _____	231
<b>Gabarito</b> _____	201



## Ecologia: histórico

AULA

# 1

## objetivos

Ao longo da aula, vamos discorrer sobre as origens da Ecologia. Ao final da aula, você deverá ser capaz de:

- Reconhecer os fatores que diferenciam o Homem do restante do conjunto de seres vivos na Terra,
- Reconhecer os caminhos que tornaram possível a existência da Ecologia como ciência.



## O QUE É ECOLOGIA?

Esta é uma pergunta para a qual a maioria das pessoas tem uma resposta. Quase todos os dias, os jornais, a televisão, as revistas trazem alguma matéria sobre ecologia e meio ambiente. Os políticos, os professores, as secretárias, os artistas, o seu vizinho e, certamente você, todos devem ter a sua definição sobre ecologia. Assim, vamos começar tecendo um breve histórico do desenvolvimento dos conceitos em ecologia. Vamos buscar algumas das raízes da ecologia na Idade Antiga e no desenvolvimento da História Natural, que é tão antiga quanto a existência dos humanos.

Para situar melhor nossa história do desenvolvimento da ecologia, vamos falar um pouco sobre o que diferencia o homem dos outros animais, motivo pelo qual ele desenvolve conceitos, cultura, arte, ciência, tecnologia e implementa grandes mudanças na superfície da terra.

Há cerca de 10 mil anos, o homem já havia se estabelecido em quase todas as partes do mundo, tornando-se, assim, uma das espécies mais disseminadas do mundo vivo. Isto, em parte, deveu-se a sua capacidade de deslocamento, ao apoio de ferramentas, dos agasalhos e do fogo, que tornaram o homem um animal diferenciado dos demais. Sua capacidade de andar ereto e apoiado em apenas dois pés libertou as mãos (com polegar oponível), permitindo aperfeiçoar a caça, a pesca e a coleta. Essas características, associadas ao aumento do volume cerebral, tornaram o homem uma espécie que desenvolveu capacidade criadora e, ao mesmo tempo, a capacidade de modificar o ambiente, tornando-se um ser social e cultural.

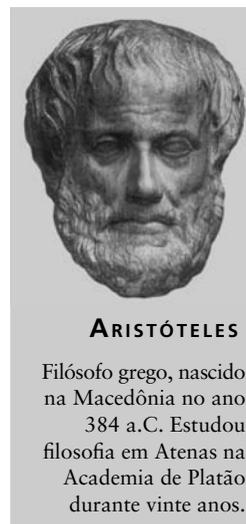
Com essas características que o diferenciaram dos outros animais, começam a surgir, então, os conhecimentos sobre a natureza e, simultaneamente, a capacidade de alterá-la. O homem adquire uma série de conhecimentos empíricos sobre seu entorno.

Tribos primitivas, que dependiam da caça, pesca e coleta, sabiam onde e quando podiam encontrar suas fontes de energia, que eram os seus alimentos. Construía-se seus conhecimentos sobre o meio em que viviam através da experiência de encontrar abrigo, local de acasalamento, descobrir a época dos frutos dos quais se alimentavam, as épocas de caça, de reprodução de suas presas.

Povos muito antigos, como os egípcios e os babilônios, por exemplo, temiam as **pragas** de gafanhotos que eram sempre atribuídas a causas sobrenaturais. O *Êxodus* (7,14-12,30), livro que conta a saída dos hebreus do Egito, descreve pragas que Deus invocava sobre os egípcios. O problema das pragas, a luta contra os insetos parasitas das culturas atrai a atenção dos primeiros escritores e surgem provavelmente associados à invenção da agricultura, que, já em 4.000 a.C, estava bem desenvolvida, inclusive com o uso do arado. No entanto, nessa época, as **divindades** ainda recebiam a responsabilidade pelas mudanças no ambiente. Não havia, contudo, conhecimentos científicos sobre os fenômenos naturais. Voltaremos a falar mais detalhadamente das pragas e outras alterações nas populações naturais nas próximas aulas.

## CONHECIMENTOS SOBRE A NATUREZA NA IDADE ANTIGA

No século IV a.C., **ARISTÓTELES**, um filósofo grego da época, escreveu a *Historia animalium*, uma enciclopédia ilustrada da vida animal. Pelas técnicas de descrição e ordenação das noções utilizadas na obra, é considerado um dos primeiros autores a sistematizar e a organizar conhecimentos sobre a natureza. Ele descreveu na obra muitas espécies animais e deu uma explicação para as pragas de gafanhotos e dos ratos do campo. Sobre os ratos do campo, escreveu que a taxa de reprodução desses animais produzia mais indivíduos do que seus predadores naturais ou os esforços de controle pelo homem eram capazes de eliminar. Para o filósofo, nada poderia deter a praga, somente fortes chuvas eram capazes de fazer os ratos desaparecerem. Numa época em que as divindades eram responsabilizadas pelas alterações na natureza, o filósofo atribui às fortes chuvas o possível controle das pragas de ratos do campo. Isso resultou de observações ao longo do tempo, e representa uma ruptura com o pensamento da época, que atribuía a causas sobrenaturais as possíveis alterações nos ecossistemas. Aristóteles fazia uma distinção entre os saberes desenvolvidos pela necessidade de sobrevivência e os saberes resultantes de investigação. Ele dizia que os caçadores e os pescadores não observavam os animais por amor à investigação, eles os observavam pela necessidade de sobrevivência. Completava seu pensamento dizendo que esses saberes, passados através das gerações, permaneciam no nível de manutenção das atividades básicas de sobrevivência, ou seja, não eram saberes científicos.



**ARISTÓTELES**

Filósofo grego, nascido na Macedônia no ano 384 a.C. Estudou filosofia em Atenas na Academia de Platão durante vinte anos.

Os trabalhos botânicos de **Teofrasto** se seguem à obra de Aristóteles, de quem foi discípulo. Em seu livro *Historia plantae*, como numa réplica dos livros de Aristóteles, aborda os lugares mais favoráveis para a existência de diversas plantas e sua distribuição em diferentes áreas geográficas.

Mais tarde, Plínio, o Velho, em Roma, extrai informações das obras anteriores para escrever a *Historia naturalis*, em 37 volumes (75 d.C.). A obra, a primeira enciclopédia de história natural, inclui observações zoológicas de valor, assim como animais muito pouco prováveis de terem existido. É um misto de reprodução da realidade e descrição de animais que têm origem apenas no imaginário.

Na Idade Antiga, então, os conhecimentos sobre a natureza foram compilados em livros de História Natural, que descreviam a fauna e a flora e sugeriam algumas poucas indagações sobre a ecologia de grupos de seres vivos.

## CONHECIMENTOS SOBRE A NATUREZA NA IDADE MÉDIA

Até os séculos XV e XVI, os livros de História Natural que continham conhecimentos mais próximos aos de ecologia se constituíam principalmente em **BESTIÁRIOS** ou **HERBÁRIOS** ilustrados, muitos dos quais refletindo uma mistura de mito, folclore e fato. Os herbários e bestiários eram confeccionados a partir de observações em jardins e no entorno dos castelos.

A ciência pouco progrediu na Idade Média, um período prejudicado pelas invasões bárbaras, no qual a igreja possuía o monopólio da cultura e controlava todo o acesso à escrita, um mundo sem universidade, onde apenas a Corte ou uma escola da igreja oferecia oportunidade de ensino. Apesar da estagnação da produção do conhecimento em geral durante a Idade Média, os avanços no conhecimento registrados durante a Idade Antiga pelos gregos são recuperados através das atividades dos monges copistas, que reproduziam as obras, em várias réplicas. Estes feitos impediram que obras importantes tivessem desaparecido por completo.

### HERBÁRIO

Coleção de plantas e partes de plantas conservadas para estudo.

### BESTIÁRIO

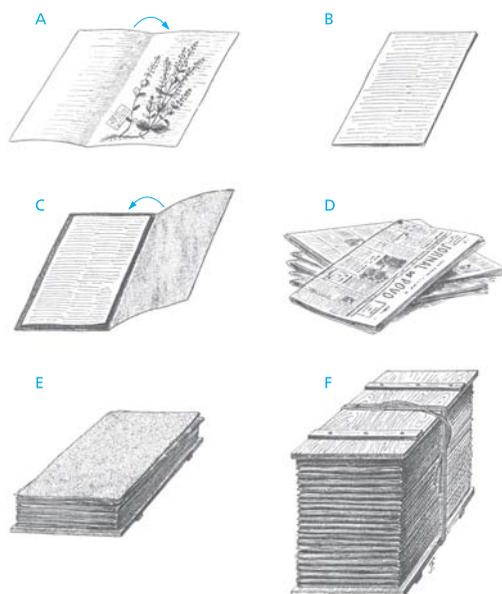
Coleção medieval de fábulas em que se descreviam animais fictícios ou reais e seus costumes.

## CONHECIMENTOS APÓS A IDADE MÉDIA

Os séculos XV e XVI caracterizam-se pelo desejo de elaborar um amplo inventário da natureza. Isso se relaciona à conquista de novos mundos, os tropicais, inclusive o Brasil, e caracteriza o projeto enciclopédico, para o qual concorrem os gabinetes científicos. Vocês estão lembrados que é nessa época que se desenvolve o método científico e que as atividades científicas eram promovidas em academias de ciência? Caso não se lembre, volte ao Volume 1 da disciplina de Grandes Temas em Biologia.

Nessa época, os registros feitos por escrivães, cartógrafos e naturalistas, levam a cultura ocidental a tomar conhecimento da diversidade biológica tropical.

Na América, a contribuição dada à História Natural resulta de diferentes formas de olhar a natureza. Ainda no século XVI, André Thevet, acompanhando a expedição de Villegagnon, chega a Cabo Frio, em 1555, onde seria fundada a colônia França Antártica. Sua obra *Les singularités de la france antarticque* (1557) traz observações de animais existentes na Baía de Guanabara, como a preguiça, o quati, o moleiro e a arara canindé. Essa obra contém inúmeras informações botânicas sobre o Brasil. Além da descrição, o livro traz ilustrações perfeitamente reconhecíveis, como, por exemplo, do caju e do abacaxi. Os ecossistemas litorâneos tropicais brasileiros cedem suas primeiras contribuições ao mundo científico.

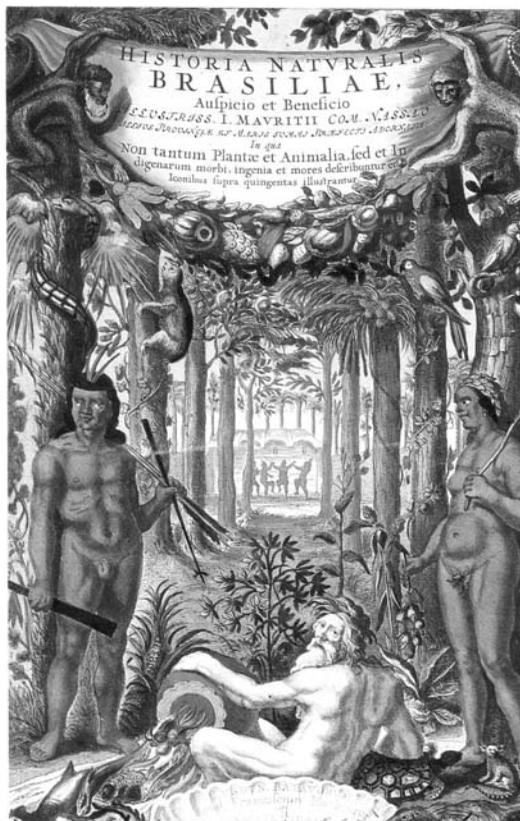


**Figura 1.1:** Herbario: local onde são conservadas coleções de plantas desidratadas que se destinam à pesquisa científica e de onde, constantemente se utiliza, extrai e adiciona informações sobre cada espécie (data, local de coleta, coletor, observação sobre o habitat, etc.).



**Figura 1.2:** Bestiário: gênero literário, bastante popular na Idade Média, em prosa ou verso, que combina recursos da fábula e descrição de animais reais ou lendários.

Ainda no século XVII, a experiência dos artistas holandeses, por exemplo, fixa um momento peculiar do conhecimento da natureza americana. A obra da comitiva dos sábios e artistas que veio ao Brasil durante o governo de Nassau destaca-se pelo caráter pioneiro e pela abrangência das observações dos astrônomos, naturalistas e cartógrafos. Espécimes coletados, desenhos e registros originam no Brasil um museu de História Natural, um jardim botânico e um jardim zoológico, mantidos junto ao palácio de Nassau. Trazidos por Maurício de Nassau, chegaram ao Brasil Marcgrave e Guilherme de Piso. O primeiro escreveu a *Historia naturalis brasiliae*, publicada por João de Laet, em 1648. Esse trabalho representa a primeira contribuição para os estudos florísticos do Nordeste. As plantas herborizadas, suas descrições e desenhos foram usados no século XIX pelo naturalista von Martius, autor da *Flora brasiliensis*.



**Figura 1.3:** Um retrato do Brasil Holandês do século XVII. Prancha 1 *Historia naturalis brasiliae*, folha de rosto. Fonte: *Historia Naturalis Brasiliae*. Prancha 1. In: WHITEHEAD, Peter James Palmer; BOESEMAN, Martin. *Um retrato do Brasil holandês do século XVII: animais, plantas e gente*, pelos artistas de Johan Maurits de Nassau. Rio de Janeiro: Kosmos, 1989. 358 p., il. color.

## SÉCULO XVIII

**GEORGE LOUIS BUFFON**, um naturalista francês, publica, em 1756, *Historia natural* e contesta a idéia de Aristóteles sobre a diminuição das densas populações de ratos do campo pelas chuvas torrenciais. Buffon pensava que as populações eram controladas por agentes biológicos, como doenças ou aumento do número de predadores. Afirmava, ainda, que os coelhos poderiam transformar um campo num deserto pela ausência de predadores e dessa forma tratou de problemas de regulação de populações, problemas que ainda hoje constituem objeto de inúmeros estudos em Ecologia. Vejam que até o momento algumas poucas suposições surgiam como eventuais causas para alterações nos ambientes naturais, mas nenhuma delas se utilizava de uma metodologia para comprovar tais suposições. Os estudos sobre os ambientes naturais priorizavam, ainda, a descrição da flora e da fauna.

Esta descrição de flora e fauna é uma forma de perceber, entender o mundo vivo. Nomear, dar nome às coisas, aos animais e às plantas dá um passo decisivo, no âmbito do conhecimento científico, com a obra de **CARL VON LINNÉ**, que propõe um sistema universal de catalogação de plantas, animais e minérios – o *Systema Naturae*. A obra é um marco nas ciências naturais, pois cria condições que viabilizam o intercâmbio científico, dada a utilização de uma linguagem universal para registro e catalogação dos seres vivos e minerais. Essa obra reúne todas as espécies conhecidas à época e lhes confere um sistema de classificação escrita em língua latina ou em forma alatinizada e com regras claras. A obra de Lineu, como é conhecido no mundo científico brasileiro, inclui informações sobre o Brasil, originária de informações obtidas pelos holandeses.

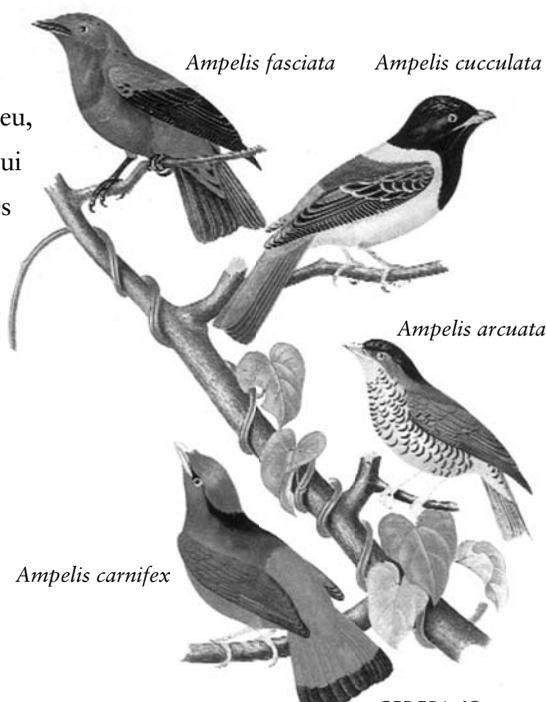
**GEORGE LOUIS  
LECLERC BUFFON  
(1707-1778)**

Naturalista francês  
nascido na Borgonha.



**CARL VON LINNÉ  
(1707-1778)**

Médico e naturalista  
sueco. Professor  
de botânica e  
organizador de uma  
classificação universal  
de plantas, animais  
e minerais utilizada  
ainda na atualidade.



**Figura 1.4:** A nomenclatura científica criada por Lineu aplicada na litografia de Jean Théodore Descourtilz (naturalista e ilustrador de aves, Espírito Santo). Fonte: DESCOURTILZ, Jean Théodore. *Ampelis fasciata*, *Ampelis cucullata*, *Ampelis arcuata*, *Ampelis carnifex* 1852. In: MARTINS, Carlos. *O Brasil redescoberto*. Rio de Janeiro: Paço Imperial / Minc /IPHAN, 1999.



**ALEXANDER VON HUMBOLDT**  
(1769-1859)

Cientista e explorador alemão. Viaja à América espanhola ainda não explorada e traz importantes contribuições a todos os ramos das ciências naturais. Sua obra mais importante é uma síntese secular das ciências naturais.



**KARL PHILIPPE VON MARTIUS**  
(1794-1868)

Naturalista alemão. Reuniu valiosos dados sobre a flora brasileira e publicou, entre outras obras, *Flora brasiliensis*, o maior monumento da fitologia contemporânea, em 40 volumes.

Já na segunda metade do século XVIII, multiplicam-se as expedições científicas aos trópicos, sob o impulso dos soberanos europeus e das academias científicas. **ALEXANDER VON HUMBOLDT** viaja durante cinco anos nos trópicos sul americanos e, mais tarde, em Paris, expõe resultados científicos em Botânica, Zoologia, Geologia, Astronomia e inclui dois atlas. Ele se distancia dos botânicos tradicionais, que se preocupavam apenas com a descoberta e a classificação das plantas, e considera a **vegetação** segundo as associações locais em diferentes climas. Ao longo da obra de Humboldt, denota-se a visão de totalidade quando relaciona plantas e animais, temperatura, pressão atmosférica, assim como a diversidade em cada localidade. Percebe-se uma forma ecológica de descrever o mundo.

Até o século XVIII, os estudos sobre a natureza limitavam-se a descrever e compilar informações sobre a flora e a fauna. Humboldt dá um passo a mais em direção à moderna Ecologia. A nova concepção de paisagem criada por Humboldt motiva grande número de viajantes, incluindo **KARL PHILIPPE VON MARTIUS**, Alfred Wallace, Charles Darwin, entre muitos outros. Com Humboldt, surgem os primeiros registros de relação entre o mundo vivo e o mundo inanimado, os fatores bióticos e abióticos e a diversidade que resultava em diferentes paisagens.



**Figura 1.5:** Plantas prensadas – Alexander von Humboldt.  
Fonte: HUMBOLDT, Alexander Von. Plantas prensadas. *Revista Humboldt*, ano 33, n.63, 1992.

## SÉCULO XIX

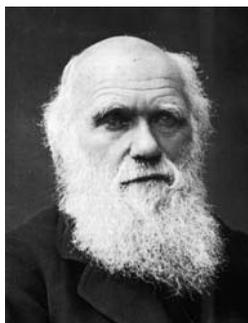
Uma parte significativa do que se conhece hoje em dia sobre os distintos ecossistemas é resultado das expedições científicas do século XIX. Cartógrafos e desenhistas acompanhavam cientistas, que procuravam retratar com fidelidade as imagens encontradas em outros mundos, em especial, no mundo tropical. As grandes viagens revelam, concretamente, a imensa diversidade das floras e das faunas de mundos até então desconhecidos. Como forma de registro, essas viagens foram estimuladas pelo novo, pelo desconhecido, principalmente pelos trópicos, por sua riqueza e por sua beleza e porque representavam novas conquistas.

No Brasil, a partir de 1808, com a vinda da corte portuguesa e a consequente abertura dos portos às nações estrangeiras, iniciou-se o ciclo das grandes viagens científicas ao continente sul-americano, base de enorme progresso no campo da História Natural.

Karl Frederich Phillip von Martius chegou ao Rio de Janeiro em 1817, integrando uma comissão de sábios que acompanhava Dona Leopoldina. Visitou as matas de Santa Teresa, Tijuca e Niterói e coletou material e informações em São Paulo, Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Piauí, Maranhão, Pará e Amazonas, em viagens cuja duração foi de três anos.



**Figura 1.6:** MARTIUS, Karl F.P. von. *Flora Brasiliensis*. vol 1. In: Agenda UFRJ/ 1999. Rio de Janeiro: UFRJ, 1999.



**CHARLES ROBERT  
DARWIN**  
(1809-1882)

Naturalista inglês.  
Formulou a Teoria  
da Seleção Natural  
após viagem pela  
América Tropical;  
desembarcou no  
Brasil em 1832.

Von Martius publicou sua mais importante obra – *Flora Brasiliensis* – entre meados do século XIX e início do século XX. A obra contém 130 fascículos reunidos em quarenta volumes, com aproximadamente vinte mil espécies catalogadas, das quais quase seis mil eram novas para a ciência. Ilustrada com mais de três mil estampas, a flora completa precisou de 66 anos para ser publicada e colaboraram 65 botânicos de diversos países. No Volume 1, Parte 1, Von Martius descreveu o conjunto das paisagens brasileiras em 59 pranchas. O volume apresenta dois mapas, apontando as rotas seguidas por vários naturalistas. Essa obra é, ainda hoje, considerada pelos botânicos como a mais importante de nossa flora. As cinquenta e nove pranchas que abrem a obra registram paisagens dos diferentes ecossistemas brasileiros. Em todas elas é possível detectar a presença do homem.

**CHARLES DARWIN**, autor de *A origem das espécies*, viajando a bordo do *Beagle*, desembarcou pela primeira vez na América do Sul – no Brasil – em 28 de fevereiro de 1832, no estado da Bahia. Com a teoria da seleção natural, a Biologia, e, em particular a Ecologia, tem um grande avanço. Todas as atribuições em relação à criação das espécies estavam até Darwin e Wallace vinculados ao sobrenatural. A partir de então os cientistas admitem a evolução dos seres vivos pela seleção natural.

Darwin, acompanhado de mais cinco pessoas, saiu para uma marcha a cavalo de três semanas de duração, período em que viajou pelo atual Estado do Rio de Janeiro. Em uma ocasião de ida e volta a Macaé, teve a oportunidade de conhecer distintos ecossistemas no Rio de Janeiro. Em sua rotina de trabalho, a cada dois dias dedicava um à coleta de objetos para sua coleção, enquanto passava os outros dias guardando e etiquetando as amostras e lendo. Apesar de seu interesse pela Geologia, fazia diariamente observações de história natural, com especial atenção aos coleópteros (besouros). O *Beagle* deixa o Rio de Janeiro em 5 de julho de 1832, em direção ao sul da América do Sul.

Iglesias (1999) considera Darwin como o fundador da moderna Ecologia, pois, na primeira edição de *A origem das espécies*, o cientista utiliza com frequência a expressão “economia da natureza”, que pode ser perfeitamente compreendida como ecossistema. Os “lugares” e as “vagas” que as espécies ocupam na “economia da natureza” podem ser traduzidas por “nicho” e “nicho vago”, conceitos que vamos abordar num futuro próximo. O autor também identifica em diversas partes do livro de Darwin referências explícitas ao “princípio de exclusão competitiva”, formulado matematicamente e confirmado (em laboratório) pelo biólogo **G. F. GAUSE**. Observou, além disso, uma ênfase na obra de Darwin à importância das interações entre os seres vivos (competição e mutualismo) e da influência dos fatores não biológicos: “As espécies interagem umas com as outras e com o ambiente”. Esta é uma frase típica de Darwin. De acordo ainda com Iglesias, se juntarmos estes conceitos básicos definidos por Darwin aos modelos matemáticos criados pelo austríaco Alfred Lotka (1880-1949) e pelo italiano Vito Volterra no início do século passado, nos quais se baseia a ecologia de populações, teremos algo muito semelhante à Ecologia moderna.

**ALFRED RUSSEL WALLACE** permaneceu no Brasil por quatro anos e no Arquipélago Malaio por oito anos. A influência da natureza tropical foi marcante para este naturalista por ter formulado independente e simultaneamente a Darwin a hipótese da seleção natural para a origem das espécies.

Referindo-se a Darwin, o zoólogo **ERNEST HAECKEL**, em 1869, introduziu o termo **ecologia**, definindo-a como sendo a “ciência das relações entre o organismo e o mundo externo circunvizinho”. Haeckel escreveu:

Por ecologia, nós queremos dizer o corpo de conhecimentos relativo à economia da natureza – a investigação de todas as relações do animal, tanto com seu ambiente orgânico quanto com seu ambiente inorgânico, incluindo acima de tudo suas relações amigáveis e não amigáveis com aqueles animais e plantas com os quais ele entra em contato direto ou indireto –; em outras palavras, Ecologia é o estudo de todas as complexas relações referidas por Darwin como as condições da luta pela existência (RICKLEFS, 1996 p. 1).

#### **G. F. GAUSE**

Ecólogo que formulou matematicamente o “princípio da exclusão competitiva”.

#### **ALFRED RUSSEL WALLACE (1823-1913)**

Naturalista inglês.

Formulou, independentemente de Darwin, a hipótese da seleção natural para a origem das espécies.

#### **ERNEST HAECKEL (1834-1919)**

Naturalista alemão.

Adotou a teoria da evolução de Charles Darwin de quem foi o mais ardoroso defensor. Introduz o termo ecologia em sua obra *Generelle morphologie der organismen*.

A palavra “ecologia” deriva das raízes gregas *oikos* com o sentido de “casa”, o nosso ambiente mais próximo) e *logos* (estudo, ciência). O vocábulo ecologia significava, para Haeckel, a ciência da casa, das relações do organismo com o meio ambiente.

No final do século XIX, evoluem, paralelamente, em publicações científicas, a ecologia americana, a européia e a russa. **KARL MÖBIUS**, em 1877, escreve em alemão sobre comunidades de organismos num recife de coral como uma “biocenose”. Até esse momento, a ciência não tinha uma palavra que pudesse designar uma comunidade de seres vivos “na qual a soma das espécies e dos indivíduos, sendo mutuamente limitada e selecionada pelas condições médias de vidas exteriores, continuou, via reprodução, a ocupar um território dado”. Assim, Möbius define biocenose. Em 1887, o americano **S. A. FORBES** escreveu seu ensaio clássico *The lake as a microcosm*, sobre o lago como um “microcosmo”. Forbes define assim seu trabalho: “um lago (...) constitui um pequeno universo em si mesmo, um microcosmo no seio do qual intervêm todas as forças elementares e onde o jogo da vida se desenvolve na sua totalidade, mas numa escala tão pequena que o pensamento o apreende facilmente”. Forbes sugeriu que o conjunto de espécies em um lago constituía um complexo orgânico, no qual, ao se afetar uma espécie, podia-se exercer algum tipo de influência sobre todo o conjunto.

A pesquisa médica sobre doenças infecciosas, como a malária, em 1890, impulsiona o estudo da epidemiologia e da propagação da doença em uma população. Antes de poder controlar a malária, foi necessário conhecer a ecologia do mosquito transmissor. Em uma dada área, a propagação da malária é determinada por dois processos contínuos e simultâneos: 1) o número de novas infecções depende do número e da capacidade de infecção dos mosquitos; 2) a capacidade de infecção dos mosquitos depende do número de pessoas que existem em uma localidade. Esses trabalhos desenvolveram modelos que permitiam analisar e prever novas situações da doença, porque estudavam as populações de mosquitos.

**H. C. COWLES**, em 1899, descreveu a sucessão de plantas sobre dunas de areia no extremo sul do Lago Michigan.

#### **KARL MÖBIUS**

Pesquisador alemão, que em 1877, escreve sobre comunidades de organismos num recife de coral e introduz o termo biocenose.

#### **S. A. FORBES**

Pesquisador americano que descreve em 1877 um lago como um microcosmo, um universo de trocas e relações.

#### **H. C. COWLES**

Pesquisador americano que descreveu a sucessão ecológica de plantas em dunas de areia no Lago Michigan.

Dessa maneira, por volta de 1900, a Ecologia estava no caminho de se converter numa ciência que permitisse compreender os inúmeros problemas das populações e das comunidades. As raízes da Ecologia, se apóiam, pois, na História Natural, na demografia humana, na biometria e nos problemas aplicados da agricultura e da Medicina.

O pioneiro russo V. V. Dockuchev e seu discípulo G. F. Morozov enfatizaram o conceito de “biocenose”, conceito expandido por Sukatchev, em 1944, para “biogeocenose”. O termo é usado por Sukatchev no livro *On the principles of genetic classification in biocenoly* e corresponde a um sinônimo de ecossistema, no que diz respeito às trocas de matéria e energia. Fosse qual fosse o ambiente estudado, os biólogos dessa época começavam a considerar a idéia de que a natureza realmente funciona como um sistema.

À medida que informações diversas reunidas pelos naturalistas durante o século XIX vão se consolidando, emergem vários conceitos novos que levam o estudo da Ecologia para novas direções, diferentes das dos naturalistas. Um desses conceitos surgiu da percepção de que as relações de alimentação ligam organismos numa entidade funcional única, a comunidade biológica. O primeiro entre os proponentes desse ponto de vista foi o ecólogo inglês **CHARLES ELTON**. Segundo esse pesquisador, cada organismo encontra a forma de alimentar-se para ficar nutrido, de modo que cada um pode ser o alimento do outro. O fato de que essas relações de alimentação definiam uma unidade ecológica era uma idéia nova.

O segundo conceito, desenvolvido depois pelo ecólogo **A. G. TANSLEY**, levou a idéia de Elton adiante. Tansley considerava os animais e as plantas em grupos, juntamente com os fatores físicos de seus arredores, como um sistema ecológico fundamental. Em 1935, Tansley denominou esse sistema ecológico fundamental de ecossistema. Ele visualizou as partes físicas e biológicas da natureza unificadas pelas interdependências dos animais e das plantas de sua vizinhança física e da sua contribuição ao mundo físico.

Mais tarde, em meados do século XX, uma teoria geral de sistemas foi desenvolvida pelo físico Bertalanffy (1950 e 1968) e ecólogos, como Hutchinson, Margalef, Watt, Patten e H. T. Odum começaram a desenvolver o campo quantitativo da ecologia de ecossistemas, o grau em que os ecossistemas operam como sistemas físicos bem compreendidos.

#### **CHARLES ELTON**

Pesquisador inglês, que em 1927, estabeleceu relações alimentares introduzindo a idéia de cadeias tróficas.

#### **A. G. TANSLEY**

Pesquisador que em 1935 ampliou a idéia de Elton sobre cadeias tróficas, introduzindo o termo ecossistema.

Um “sistema consiste em componentes interdependentes que interagem regularmente e formam um todo unificado” (Odum, 1983). Segundo Iglesias, quando algum desses elementos é um ser vivo, podemos falar de sistemas ecológicos ou ecossistemas.

O grande desenvolvimento tecnológico da década de 60 traz um novo olhar sobre a Terra, um planeta que tem, reconhecidamente, como partes integrantes os seres vivos e os componentes do meio ambiente em diversas escalas, desde um microcosmo até a totalidade da Terra.

James Lovelock desenvolve a Hipótese Gaia, em 1972, considerando que a vida evoluiu na Terra, que a atmosfera se modificou numa forma de ação-reação com os seres vivos e admite que os limites entre as partes vivas e não-vivas dos ecossistemas são muito sutis. Lovelock publica, em 1972, sua idéia num artigo intitulado “*Gaia as seen trough the atmosphere*”. Lynn Margulis, uma microbiologista interessada em entender os gases atmosféricos que provêm da vida, como o oxigênio e o dióxido de carbono, entre outros, se associa a Lovelock, que tenta responder às mesmas questões com concepções da química, da termodinâmica e da cibernética, para fazer avançar seus estudos. A auto-regulação do sistema planetário, proposta por Lovelock e Margulis, consiste na ligação de sistemas vivos e não-vivos, considerando a Terra quase como um superorganismo.

Essa hipótese é controversa e, durante muitos anos, grupos renomados de pesquisadores em Ecologia sequer faziam referência a ela. Recentemente, a revista *Nature*, vol. 406 de 17/08/2000 publica uma resenha da 2ª Conferência sobre a Hipótese Gaia, considerando que muitas pesquisas científicas serão necessárias, ainda, para sua comprovação total ou parcial, ou mesmo rejeição.

A Teoria de Sistemas e a hipótese de Gaia se somam às informações sobre o desenvolvimento da História Natural, que juntas apontam para um ser humano que vem há muitos milhares de anos modificando os ecossistemas naturais para obtenção de recursos para sua sobrevivência. As ações humanas provocam acentuada modificação na paisagem. É preciso, no entanto, conhecer mais do que a paisagem, é preciso compreender como estão distribuídos os seres vivos nos diferentes ecossistemas e se essa distribuição define padrões; é preciso compreender o comportamento das populações e comunidades no tempo e no espaço. É sobre isso que versa a Ecologia.

**Bibliografia sobre A Hipótese Gaia**

Gaia *A new look at life on Earth* by J E Lovelock, publ. Oxford University Press 1979.

GAIA. *Uma ciência para curar o planeta*, 1992

<http://www.marxists.org/reference/subject/philosophy/works/us/gaia.htm>

**RESUMO**

Você viu que o Homem tenta compreender a natureza e seus fenômenos naturais desde a sua existência. Desde os primeiros registros sobre a História Natural, na Grécia Antiga, até a Teoria de Sistemas e a formulação da controversa Hipótese Gaia, muitas condições tiveram de ser cumpridas para a evolução do conceito de Ecologia e, em particular, o de ecossistema. Essas condições se originaram dos avanços em paralelo da agricultura, biometria e história natural. O desenvolvimento de equipamentos, como o microscópio e o telescópio, fornecem ao cientista-naturalista instrumentos que permitem avanços no campo da Medicina e da História Natural, que contribuíram para formar os conceitos em ecologia. A partir do século XVIII, surgem observações sobre predação, herbivoria, controle biológico, assim como relações de plantas com o meio físico, o que caracteriza avanços para a ecologia atual. Um marco importante se refere à Origem das espécies pela seleção natural, desvinculando a criação das espécies ao sobrenatural. A ideia de que a natureza funciona como sistemas se consolida e, a partir dos anos 60 do século XX, o crescimento acelerado das populações humanas, a destruição do meio ambiente natural com a substituição dos ecossistemas naturais pelos agrícolas; e o uso intensivo de defensivos e aditivos químicos nos solos despertaram a atenção para os problemas ambientais.



## EXERCÍCIOS

Tente responder às questões propostas e leve as respostas para discussão com o seu tutor no pólo.

1. Por que consideramos a contribuição de Lineu como um marco no desenvolvimento da pesquisa nas ciências naturais e na Ecologia?
2. Que avanços para o conhecimento em Ecologia traz o pesquisador Alexander von Humboldt, que escreveu a *Geografia das plantas*?
3. Por que Charles Darwin contribui para o desenvolvimento da Ecologia?
4. “Uma floresta significa mais do que uma mera coleção de árvores” está associado a que momento da evolução de conceitos em ecologia?

## AUTO-AVALIAÇÃO

Se você é capaz de identificar os avanços nas pesquisas em ecologia ao longo do tempo que permitiram compreender a complexidade dos sistemas naturais ou ecossistemas...

Parabéns, você pode passar para a aula seguinte.

No entanto...

Se você encontrou dificuldades para compreender os diferentes momentos da história da Ecologia, procure seu tutor no pólo para decidirem o que fazer.

## O âmbito da Ecologia: definições e perspectivas

# AULA 2

## objetivos

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Reconhecer a interdependência entre o meio físico e o meio biológico.
- Reconhecer que os seres vivos são sensíveis a variações no tempo e no espaço.
- Reconhecer que perturbações no meio físico, dependendo de intensidade e frequência, atuam selecionando características nos organismos que geram diferentes distribuições na Terra.



## INTRODUÇÃO

Nesta aula, estudaremos sobre o âmbito da ecologia, a organização da natureza de acordo com processos físicos e biológicos, e o espectro de perturbações aos quais os organismos vivos são submetidos. Como resultantes desse espectro, surgem as diferentes distribuições de organismos na terra, sobre o que trata a ecologia. Pretende-se que esse capítulo introdutório proporcione um quadro geral para o estudo da ecologia.

Você está lembrado que a palavra ecologia começou a ser usada na última metade do século XIX? Ernest Haeckel foi quem primeiro a definiu como o estudo científico das interações entre organismos e seu ambiente. Essa definição de ecologia foi sendo aperfeiçoada à medida que novos conhecimentos eram incorporados ao meio científico. Krebs, em 1972, ao considerar que o ambiente de um organismo consiste em todos os fatores e fenômenos externos a ele que têm influência sobre ele, avança nas discussões e define a ecologia como: estudo científico das interações que determinam a distribuição e abundância dos organismos. Essas interações consistem em todos os fatores e fenômenos externos aos organismos e que têm influência sobre eles. Esses fatores e fenômenos são físicos e químicos (abióticos) ou outros organismos (bióticos). Assim, os ecólogos, na atualidade, estão interessados em saber:

- Onde se encontram os organismos?
- Quantos organismos existem?
- Por que estão, onde estão e por que são tantos ou tão poucos? (O que fazem? Como se relacionam?)

Um exemplo desse tipo de abordagem pode ser observado na pesquisa de Aguiaro, 1994, que estudou lagoas costeiras no Município de Macaé, RJ.

O Município de Macaé apresenta em sua área costeira várias lagoas, de formato e tamanhos variados, cujo contato com o mar foi interceptado pelo depósito de uma **BARRA ARENOSA**. A Lagoa Imboassica, a maior delas (área 2,15 km<sup>2</sup>), é esporadicamente aberta para o mar pela prefeitura, para escoar excesso de água em períodos de chuva; as Lagoas Cabiúnas (0,35 km<sup>2</sup>) e Comprida (0,11 km<sup>2</sup>) são menores e sua barra é algumas vezes ultrapassada pelo mar em períodos de maré muito alta. Durante os anos de 1990 e 1992, foram feitas coletas padronizadas de peixes nas três lagoas e o resultado foi:

**BARRA ARENOSA**

Cordão de sedimentos arenosos que separa a lagoa do mar.

**Quadro 2.1:** Distribuição de espécies de peixes em 3 lagoas de Macaé, RJ e entorno.

Lagoa/ Parâmetros	Número de espécies (Riqueza de spp)	Número de indivíduos	Biomassa
Imboassica	25	208	12. 689 g
Cabiúnas	13	200	11. 469 g
Comprida	4	32	2. 981 g

Aguiaro, 1994

Aguiaro observou a distribuição de espécies de peixes, percebendo que a abundância variou em função da salinidade. Aparentemente, essa abundância, representada pelo número de indivíduos capturados, não tem muita diferença quando observamos as Lagoas Imboassica e Cabiúnas. No entanto, quando relacionamos o número de espécies presentes, ou seja, a riqueza de espécies, Imboassica tem praticamente o dobro de Cabiúnas. Segundo a pesquisadora, essa diferença se relaciona à diferença de salinidade, possível pela abertura periódica da barra da Lagoa Imboassica. Veja que não estamos aqui discutindo o melhor para cada uma das lagoas, nem se a abertura de barra deva ou não ser feita. Estamos apenas relacionando fatos: a distribuição de peixes, nesse caso, se relaciona à salinidade das lagoas.

Essa pesquisa concluiu que a diferença na composição de espécies entre as três lagoas reflete a intensidade de contato com o mar. A Lagoa Imboassica apresentou o maior contato com o mar e o maior número de espécies presentes, sendo várias delas de peixes marinhos. A Lagoa Comprida foi considerada essencialmente de água doce e apresentou o menor número de espécies presentes.

Os fatores que afetam a distribuição de organismos podem ser analisados em nível de população de uma só espécie ou em nível de comunidade que contém muitas espécies, como é o caso desse estudo. A análise se torna tanto mais complexa quanto mais espécies consideradas estejam numa comunidade.

## RELAÇÕES ENTRE O MEIO FÍSICO E O MEIO BIOLÓGICO

Todos os organismos são tanto dependentes da natureza para suas necessidades fundamentais quanto agentes de mudança nos sistemas naturais nos quais vivem. Podemos falar em interações do meio físico com o meio biológico, interações que determinam a distribuição e a abundância de organismos nos diferentes ecossistemas. Para isso vamos discutir alguns exemplos.

Se pensarmos em tempo geológico, o ambiente no qual os organismos evoluíram sofreu muitas mudanças. A atmosfera, por exemplo, antes da origem da vida no planeta era redutora, ou seja, não tinha oxigênio livre. A evolução de organismos fotossintetizantes criou há cerca de 3,2 bilhões de anos, uma atmosfera oxidante. Esse assunto será melhor tratado na Aula 12. Os solos orgânicos também são produto de comunidades vegetais terrestres que, entrando em decomposição, são misturados ao sedimento. Este é um efeito biológico no ambiente, cujos organismos vivos e o ambiente físico formam um todo integrado, que se modifica no decorrer do tempo.

Vejamos nos ecossistemas tropicais alguns exemplos dessas relações entre o meio físico e meio biológico. Para isso, observe as figuras a seguir:



Foto: Deia Maria Ferreira

**Figura 2.1:** Restinga no Parque Nacional de Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ.



**Figura 2.2:** Trecho de Floresta Ombrófila Densa, do bioma Mata Atlântica, RJ.

Tanto a floresta quanto a restinga são ecossistemas tropicais que ocorrem no Estado do Rio de Janeiro, na região litorânea, e estão muitas vezes sob o mesmo regime climático. Os dois possuem uma organização espacial, uma estrutura que é resultante de diferentes tipos de plantas, formatos e tamanhos.

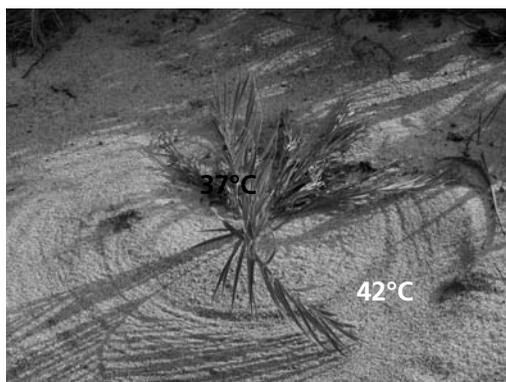
A **Figura 2.3** nos mostra que as restingas são ecossistemas que se desenvolveram em substratos arenosos. Esses cordões arenosos foram formados por variações no nível do mar. Essas variações ocorreram, no caso do litoral do Estado do Rio de Janeiro, há cerca de 10.000 anos, resultante de avanços do mar para dentro do continente seguidos de recuo. Essas transgressões marinhas, seguidas de regressões, deixaram cordões de sedimentos arenosos, formando grandes planícies. O que há 10.000 anos era um grande areal, hoje forma as nossas restingas.



Foto: Rômulo Campos

**Figura 2.3:** Cordões arenosos no Parque Nacional de Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ.

Foto: Deia Maria Ferreira



**Figura 2.4:** *Allagoptera arenaria*, palmeirinha no Parque Nacional de Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ.

Vamos analisar algumas particularidades do ecossistema restinga. A areia, como substrato sólido, fragmento de rocha, aquece muito durante o horário de insolação, e resfria, perdendo muito calor à noite. As restingas do litoral fluminense apresentam temperaturas médias no verão, na areia nua, por volta das 12 h, que estão entre 40° e 60°C. No entanto, temperaturas tomadas sob uma pequena palmeira – o guriri – chegam a ser 5°C mais baixas. Temperaturas tomadas no solo dentro de uma moita grande podem reduzir essa temperatura em até 15°C.

A cobertura vegetal e a formação de solo orgânico são os responsáveis pela atenuação da temperatura do ar. À medida que plantas como a palmeirinha guriri se instalam, paralelamente evolui o solo, que atenua a temperatura da areia e progressivamente outras plantas se instalam, aumentando a complexidade dos habitats na restinga. As condições estressantes iniciais (ampla variação de temperatura, perda rápida de água quando chove etc), da areia são modificadas gradualmente pela ocorrência da vegetação. Os extremos de temperatura entre dias e noites são reduzidos onde há colonização por organismos.

Continuando ainda nas restingas, podemos observar, numa aproximação maior, que a faixa de vegetação que ocorre junto à praia é formada por uma vegetação rasteira. Essa vegetação está localizada em área de influência da **MAREZIA** e dos ventos. As espécies que aí ocorrem geralmente são rasteiras, rentes ao solo, têm caules longos e enterrados, que respondem às condições salinas e à intensidade dos ventos. Essas espécies funcionam como fixadoras dos grãos de areia nas dunas. Os sedimentos de areia, facilmente movimentados pelo vento, após a entrada da vegetação ficam fixados pelo entrelaçamento dos caules da cobertura vegetal.

#### **MAREZIA**

Borrifos do mar, colóides carregados de sais, que ficam em suspensão no ar e se depositam na restinga.



Foto: Deia Maria Ferreira

**Figura 2.5:** Vegetação rasteira de beira de praia no Parque Nacional de Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ.

Algumas bromélias, localizadas na parte interior das restingas, têm suas folhas formando um copo. Esses copos armazenam água, o que possibilita a ocorrência de vida de organismos aquáticos em meio ao areal. Elas representam para esses organismos aquáticos uma possibilidade de ocorrência e distribuição num ambiente onde aparentemente isso seria impossível, e funcionam como microlagos em vários e numerosos pontos da restinga. Novamente um componente do meio biológico, a bromélia, proporciona a existência de vida aquática em ambiente totalmente terrestre e adverso.

**Figura 2.6:** *Aechmea nudicaulis*, bromélias que formam tanque e acumulam água no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba.



Foto: Deia Maria Ferreira

**Figura 2.7:** *Neoregelia cruenta*, bromélia-tanque com água, onde são encontrados distintos grupos de seres vivos.



Foto: Deia Maria Ferreira

Observe como as plantas se distribuem no espaço ocupado pela floresta. Existem árvores e arbustos de diversas alturas, sendo alguns superpostos aos outros. Essa organização espacial, entre outras coisas, é responsável pela distribuição de água, de luz e de nutrientes que entram na mata. Tente imaginar, numa floresta, cada ser vivo (do microcosmo invisível às árvores mais altas), cada folha, cada inseto, cada animal pequeno ou grande, visível ou não, ingerindo e eliminando água ao mesmo tempo, o tempo todo. Os seres que você imaginou estão respirando, urinando, transpirando, eliminando látex, bebendo água, transportando água e nutrientes para a fotossíntese, entre outros processos, ou seja, estão participando ativamente do ciclo da água na região. Não podemos esquecer, também, que os corpos dos seres vivos são em maioria formados por água, o que significa que uma imensa quantidade de água está retida, fazendo parte do corpo dos animais e plantas na floresta. Este ciclo passa por uma distribuição e esta distribuição envolve, além da passagem da água por dentro do corpo dos seres vivos, uma passagem através das plantas e dos animais, por entre os mesmos.



**Figura 2.8:** Floresta Atlântica, RJ. Litografia de Charles Ribeyrolles, 1861. Fonte: agenda UFRJ/1999.

### SERRAPILHEIRA OU FOLHIÇO

Conjunto de folhas e restos de animais que se acumulam acima do solo e constituem importantes fontes de nutrientes para os ecossistemas.

Quando chove, muito ou pouco, o primeiro impacto da água se dá junto ao conjunto de copas das árvores mais altas, o que chamamos de dossel. O dossel atua como uma espécie de amortecedor inicial e daí em diante a água vai descendo, ramo por ramo, folha por folha, rugosidade por rugosidade, até chegar ao solo. Chegando ao solo, essa mesma água encontra uma camada de folhas mortas, a **SERRAPILHEIRA OU FOLHIÇO**, que novamente a redistribui até que esta penetre no solo. Essa distribuição lenta impede um grande impacto no solo, que poderia ser responsável por intensos processos de erosão. Ao penetrar no solo, uma parte fica retida entre os grãos e a outra escoia pelos sistemas de drenagem, alimentando os rios e riachos. Gradualmente, a água vai sendo distribuída pela floresta, que, dessa forma, participa ativamente do ciclo da água. Em contrapartida, somente é possível a existência de uma floresta com tal estrutura e exuberância em locais onde existe água em abundância e onde o índice pluviométrico, determinado pelo clima, é elevado.

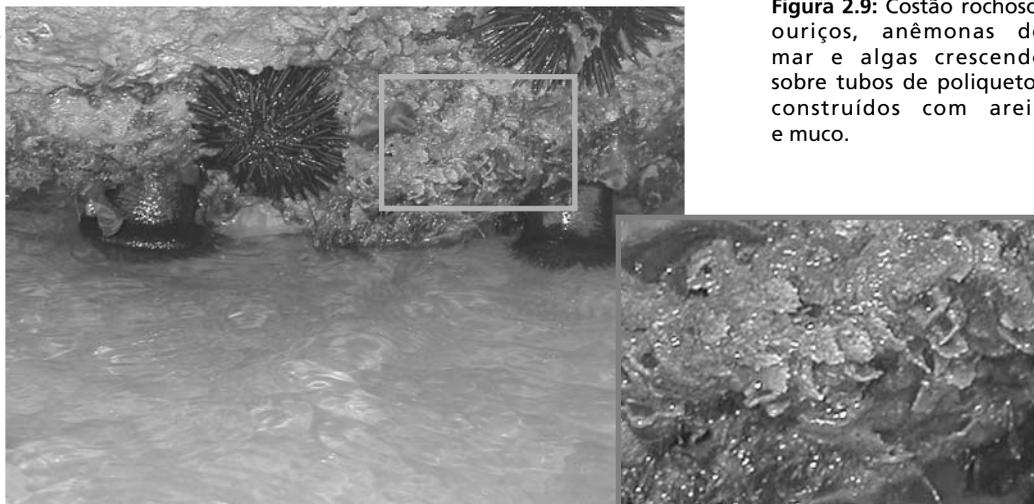
As florestas pluviais, como a nossa Floresta Atlântica, são, ao mesmo tempo, conseqüência do alto índice pluviométrico na região e mantenedoras do grau de umidade local, sendo responsáveis pela distribuição de água para os rios e águas subterrâneas, os lençóis freáticos. Por isso, as florestas protetoras de mananciais de água são por lei preservadas.

### ANÊMONAS DO MAR

Cnidários, animais marinhos sésseis que vivem em regiões permanentemente inundadas.

Observe a **Figura 2.9**. A foto nos mostra uma ponta de costão rochoso, onde podemos encontrar um habitat resultante de ação totalmente biológica. Os 2 ouriços, as algas e as 2 **ANÊMONAS DO MAR**

Foto: Alexandre Ferreira Lopes



**Figura 2.9:** Costão rochoso: ouriços, anêmonas do mar e algas crescendo sobre tubos de poliquetos construídos com areia e muco.

**POLIQUETOS**

Anelídeos, animais marinhos de corpo mole.

estão abrigados, incrustados numa formação, onde **POLIQUETOS** construíram com muco e areia um substrato duro, cuja função é a mesma da rocha. No detalhe ampliado, aparecem os tubos desses animais de corpo mole que se abrigam nessa construção rígida elaborada dentro d'água. Um novo espaço, uma nova área, um novo habitat que resulta de ação biológica, utilizando sedimentos para edificação de um habitat.

Nesse pequeno conjunto de exemplos que registram interações do meio físico e do meio biológico, podemos perceber que cada um deles agrega formas de vida distintas: as copas das árvores, as plantas da beira da praia, os seres aquáticos no interior das bromélias-tanque. Cada um deles representa um ou mais tipos de habitats, de áreas nas quais os organismos vivem. A idéia de habitat enfatiza as diversas condições às quais os organismos estão expostos na superfície da Terra, ao mesmo tempo que os organismos contribuem para a formação daquele ou de novos habitats. Uma bromélia se instala no habitat observado na **Figura 2.6** ao mesmo tempo que promove um tipo de habitat totalmente diverso, um aquático e outro terrestre, pois entre as folhas das bromélias vivem e se alimentam pequenos animais, como aranhas e anfíbios. A distribuição dos anfíbios no interior da restinga está diretamente relacionado às bromélias, pois os girinos são de habitat aquático. O conceito de habitat realça a estrutura do ambiente como ele é percebido por cada tipo de organismo.

Os organismos são tanto influenciados pelo meio físico, como são capazes de modificá-lo. À medida que plantas e animais se instalam, passam a integrar a paisagem, assim como a modificá-la esteticamente e fisicamente.

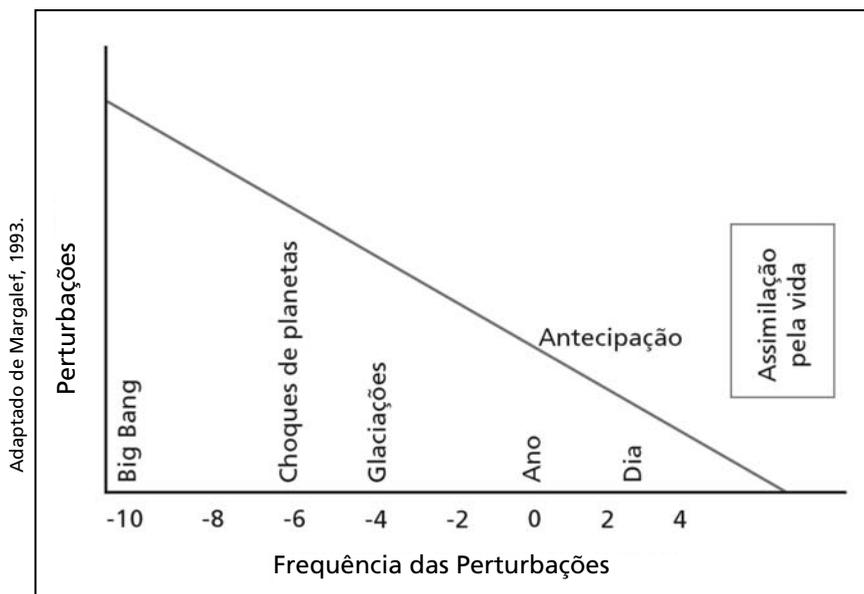
Voltaremos a falar sobre a água e outros fatores do meio físico e suas ações diretamente relacionadas aos seres vivos nas Aulas 4, 5 e 6.

## PERTURBAÇÕES E DISTRIBUIÇÃO DE ORGANISMOS

A variação espacial e temporal das condições físicas para a vida freqüentemente está associada direta ou indiretamente à variabilidade dos seres vivos. As estações do ano são produzidas pela órbita anual da Terra em torno do sol e, também, pela inclinação da Terra. Essa inclinação determina a distribuição desigual de energia pelas diferentes latitudes. Isso gera uma distribuição igualmente distinta de formações vegetais por toda a Terra. O fotoperíodo apresenta variação pelas diferentes latitudes. Nas altas latitudes, o excesso de luz no verão está equilibrado pelo déficit no inverno. Ainda que as temperaturas venham modificadas por ventos, pela topografia, a altitude, a proximidade de massas d'água e outros fatores, as variações anuais da temperatura média diária refletem o movimento da Terra ao redor do sol. Assim, as temperaturas médias diárias do Equador variam muito pouco estacionalmente, enquanto as temperaturas de altitudes mais altas flutuam muito mais.

No Estado do Rio de Janeiro, sabemos que uma parte do ano é quente e chuvosa e a outra é fria e seca. Conhecemos a freqüência com que essas variações ocorrem. Grandes chuvas de verão causam transtornos, enchentes, mas não ocorrem todos os anos, portanto, acontecem com menor freqüência. As marés variam diariamente, mas as ressacas são esporádicas, ocorrem em intervalos maiores e nem sempre conhecidos. Outros eventos que envolvem maiores dispêndios energéticos, como por exemplo, os tufões e os maremotos, são menos freqüentes, e sua ocorrência gera grandes modificações no conjunto de seres vivos. Em geral, quanto mais extrema a condição, quanto maior é a energia envolvida no evento, mais raro ele é e menor é a sua freqüência. A severidade e a freqüência dos eventos são medidas relativas, dependendo de qual organismo a experiente.

Os organismos são submetidos a perturbações naturais, como representado no gráfico a seguir. As distintas espécies de um ecossistema não têm a mesma capacidade para suportar estas perturbações. Margalef, em 1993, elaborou o gráfico que resume os eventos que ocorrem na Terra de acordo com a energia envolvida e as frequências com que esses eventos ocorrem.



**Figura 2.10:** Relações entre as perturbações de diferentes níveis de energia e a frequência com que cada perturbação ocorre.

As perturbações mais intensas são menos freqüentes e utilizam muita energia. O autor cita como exemplo as colisões de planetas e as glaciações que ocorrem em escala geológica, promovendo grandes modificações na superfície terrestre, deixando um rastro de extinção de um grande conjunto de organismos. O degelo, após as glaciações, tem como uma das conseqüências as transgressões marinhas que, numa visão simplificada, transforma temporariamente num período que pode durar milhares de anos, ambientes terrestres em ambientes aquáticos. Não há como os organismos terrestres permanecerem, em sua maioria, como aquáticos durante tanto tempo. Já as variações de maré, internalizadas pelos organismos dos costões rochosos, deixam expostos ao ar organismos marinhos quatro vezes ao dia.

No entanto, esses organismos sobrevivem num habitat aparentemente hostil e estressante, desenvolvendo numerosas populações e comunidades. Essa frequência do vai-e-vem das ondas, selecionou características anatômicas, fisiológicas e comportamentais – as adaptações – que foram internalizadas pelos organismos, ou seja, o impacto das ondas, variando de acordo com as horas do dia, não constitui obstáculo à ocupação desse ambiente.



Foto: Reinaldo Luiz Bozzeli

**Figura 2.11:** Zona de batimento de onda de alta frequência em costão rochoso de Macaé.

Muitos organismos se antecipam, segundo Margalef, programando o tempo que ficarão expostos ao ar, por exemplo, com fechamento temporário de concha, retendo água que serve como refrigeração. Aves migratórias que vivem em regiões temperadas antecipam a ocorrência do inverno rigoroso, migrando para regiões de clima mais ameno. A severidade e a frequência dos eventos são medidas relativas, dependendo de qual organismo as experimente. A chuva e o vento afetam de maneira muito diferente os habitantes de uma poça temporária e de um riacho.

Uma tromba d'água, um evento que não ocorria há oito anos, portanto, com mais energia do que o das chuvas de verão, no Rio da Fazenda, Picinguaba, SP, entre 11/99 e 05/2000, redistribuiu sedimentos grossos e alterou a paisagem. As trombas d'água, eventos menos freqüentes do que as chuvas esperadas de verão, não podem ser internalizadas pela eventualidade de sua ocorrência, logo não geram adaptações. Atualmente, a paisagem já não apresenta mais os sedimentos expostos como em 2000, mas não é exatamente igual a 1999, é uma nova paisagem, resultante do processo de **SUCCESSÃO ECOLÓGICA**, uma nova distribuição dos organismos no espaço, num intervalo de tempo de apenas poucos anos.

**SUCCESSÃO  
ECOLÓGICA**  
Desenvolvimento  
dos ecossistemas no  
tempo.



**Figura 2.12:** Rio da Fazenda Picinguaba, SP, antes e depois de uma tromba d'água: perturbação natural.

Vimos até agora que segmentos de tempo que marcam as mudanças podem ser classificados em duas categorias: 1) mudanças rápidas, associadas com uma simplificação do sistema, iniciadas por entradas violentas de energia no sistema, como a queda de meteoritos; 2) mudanças lentas e graduais, que incrementam pouco a pouco a organização e conduzem a motivos de distribuição relativamente persistentes, como os batimentos freqüentes de ondas nos costões rochosos.

**BIOSFERA**

Camada da Terra onde são encontrados os organismos.

A **BIOSFERA** está sujeita a um processo generalizado de sucessão, interrompido ou pontuado por desastres e catástrofes, que são relativamente benignos. Morte e mudança, pois, são constantes na natureza e representam renovação na distribuição das espécies.

Pelo que acabamos de ver, a Ecologia não é uma ciência com estrutura linear simples: tudo afeta tudo, segundo Begon 1996. Para estudar e compreender como funcionam os sistemas naturais, é preciso lançar mão de conhecimentos de outros campos, como a Evolução, a Fisiologia, a Matemática, a Geologia, a Geomorfologia, assim como estudos comportamentais. Os ecólogos modernos querem compreender e explicar, em termos gerais, a origem e os mecanismos de interações dos organismos entre si e com o mundo vivo. Os ecólogos constroem modelos da realidade que geram a possibilidade de fazer predições. Os modelos e as teorias que não se ajustam de modo adequado à realidade, são substituídos por novos modelos que reflitam o mundo real.

Hoje, o crescimento populacional, a organização social, política e econômica representam grandes mudanças no mundo moderno. É preciso contextualizar a presença dos humanos na Terra como dependentes dos processos naturais. Entre outras coisas, os conhecimentos ecológicos permitem fazer previsões sobre os ecossistemas e seu funcionamento e, para isso, é preciso entender como o mundo natural funciona e este entendimento faz parte dos princípios da Ecologia. A Ecologia está dividida em três níveis fundamentais de hierarquia: os organismos, as populações de organismos e as comunidades de populações. É sobre isso que vamos tratar na próxima aula.

## RESUMO

Nesta aula, aprendemos como o meio físico e o meio biológico interagem de um modo geral e determinam a distribuição e abundância dos organismos, o que constitui o interesse dos ecólogos em ambientes naturais e/ou artificiais. Introduzimos a noção de perturbação no meio físico como geradora de respostas biológicas para eventos com pouca energia e muito freqüentes.

## EXERCÍCIOS

1. Escolha um grupo de organismos no quintal de sua casa, no rio de seu bairro ou na mata perto de casa e observe- o atentamente.

Descreva o local onde se encontram os organismos escolhidos. Tente descobrir por que esses organismos conseguem viver nessa localidade.

Discuta com seu tutor o caminho que você vai seguir para responder às questões.

2. Formule perguntas complementares sobre os organismos que você escolheu para descobrir mais a respeito deles.

3. Todos os organismos são tanto dependentes da natureza para suas necessidades fundamentais quanto agentes de mudança nos sistemas naturais nos quais vivem. Nesse mesmo grupo de organismos que você vai observar, encontre uma relação entre o meio físico em que ele vive e o meio biológico no qual está inserido.

4. Procure três exemplos que se encaixem no gráfico proposta por Margalef e que não estejam citados no texto da aula.



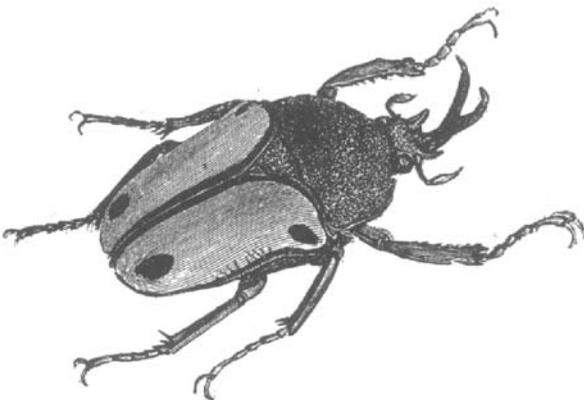
## Níveis de organização e o estudo ecológico

# AULA 3

## objetivos

Ao longo desta aula, vamos aprender sobre os níveis de organização estudados pela Ecologia e como estes objetos de estudo podem ser pesquisados. Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Reconhecer os níveis de organização estudados pela Ecologia, reconhecendo que cada um deles tem propriedades exclusivas.
- Perceber que para chegarmos a uma teoria ecológica partimos, freqüentemente, de uma observação para o teste de hipóteses, onde a experimentação tem papel crucial na Ciência.



## O MUNDO NATURAL

Observe a **Figura 3.1**:



**Figura 3.1:** Foto do interior de uma floresta.

A primeira coisa que deve ter chamado sua atenção é a paisagem de uma forma geral: uma mata cortada por um rio. Entrando nesta mata podemos discriminar várias espécies de plantas, algumas espécies de animais, as formas e as cores de cada uma.

### ESPÉCIE

Para este momento vamos ficar com a definição biológica de espécie, que é o conjunto de populações naturais intercruzantes, que são isolados reprodutivamente de outros grupos.

Se cuidadosamente analisarmos cada **ESPÉCIE** na **Figura 3.2**, anotando suas características, como por exemplo, localização, tamanho, espécies de animais ou plantas associadas, podemos concluir, por exemplo, que algumas ocupam preferencialmente locais próximos ao rio, outras só ocorrem sobre outras plantas, alguns animais alimentam-se de flores, outros de frutos.

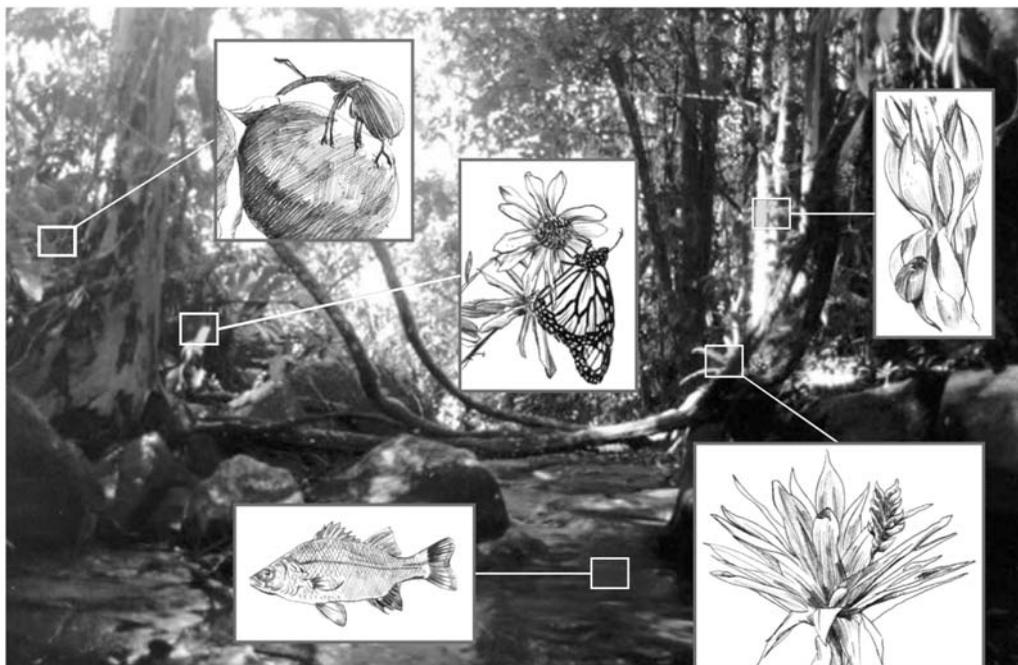


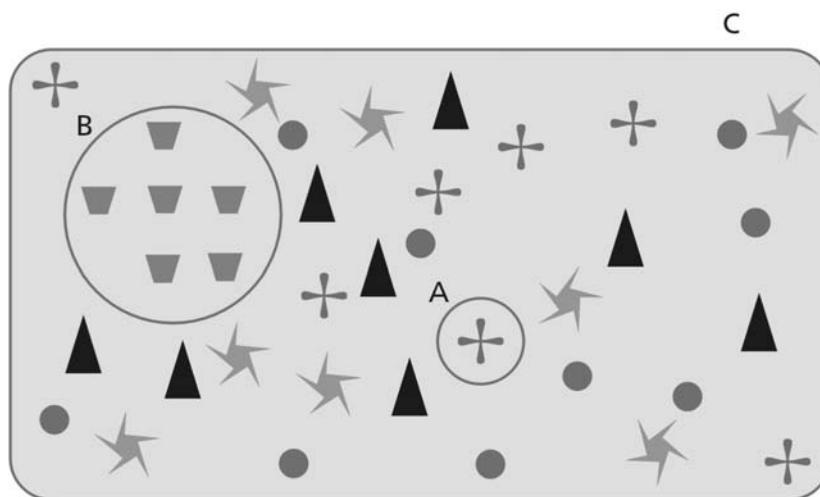
Figura 3.2: Detalhes de animais e plantas que ocorrem na floresta.

Veja que até aqui observamos os organismos apenas em uma escala espacial. Se incluirmos o tempo em nossa análise, que, evidentemente, não poderia ser analisado exclusivamente com base numa figura, poderíamos fazer várias outras observações, como por exemplo, a estação de reprodução de um inseto, o período de floração e frutificação de uma planta, entre outros.

Este tipo de análise detém-se na descrição do ambiente, saindo de uma escala macro, onde observamos a paisagem de uma forma geral, até uma escala menor, onde observamos indivíduos.

### OS NÍVEIS DE ORGANIZAÇÃO

A ecologia abrange o estudo destes diferentes níveis de organização, indo desde o estudo de organismos individuais, passando por populações, comunidades, até o estudo dos ecossistemas. De uma forma esquemática poderíamos representar:



**Figura 3.3:** O conjunto unitário **A** representa o indivíduo; o conjunto **B**, de 6 elementos iguais, representa uma população; e o conjunto **C**, de 36 elementos, está representando a comunidade, que, neste caso, tem 5 populações diferentes. Considere cada símbolo uma espécie.

#### FATORES ABIÓTICOS

São componentes físico-químicos do ecossistema, isto é, que não incluem os seres vivos, como por exemplo, as substâncias minerais, os gases e os elementos climáticos.

Com isso podemos chegar a definição de cada um dos níveis de organização estudados pela Ecologia. O **indivíduo** é uma entidade representante de uma espécie localizada espacial e temporalmente, que tem começo e fim no tempo. **População** é o conjunto dos indivíduos de uma mesma espécie em um determinado local. A **comunidade** refere-se ao conjunto de todas as populações presentes no mesmo local e que usualmente interagem. Para considerar um **ecossistema**, além do conjunto de organismos, ou seja, a comunidade, devemos considerar também os **FATORES ABIÓTICOS** que atuam sobre esta comunidade, como por exemplo, a temperatura, a umidade, o solo etc.

As fronteiras das ciências não são nítidas, assim, a ecologia se sobrepõe bastante a outras ciências. Dependendo do nível de organização e do enfoque de estudo considerado, esta sobreposição será maior ou menor. Quando estudamos o indivíduo, por exemplo, a interseção com **FISIOLOGIA** é considerável. No estudo do ecossistema, a abordagem ecológica se funde com a meteorologia, por exemplo. Assim, cada vez mais, estudos multidisciplinares, que abrangem mais de uma área do conhecimento, devem ser implementados para que se tenha maior compreensão do mundo natural.

Cada nível de organização apresenta diferentes características e propriedades que só são observadas naquele nível específico de organização. Por exemplo, um indivíduo tem sexo, idade; uma população tem **DENSIDADE**, **RAZÃO SEXUAL**. Como propriedades de comunidades podemos citar a riqueza de espécies, que é o número de espécies de uma comunidade. Dos ecossistemas, como você verá em aulas posteriores, a produtividade é uma das propriedades exclusivas deste nível de organização.

Perceba bem que cada uma das propriedades citadas só tem sentido naquele nível específico. Por exemplo, não podemos falar de riqueza de espécies para uma população, que é de apenas uma espécie. Assim, não podemos também estimar a densidade e a razão sexual de um indivíduo, pois necessitamos considerar os vários indivíduos de uma mesma população para avaliar estes parâmetros.

### FISIOLOGIA

Ciência que estuda o funcionamento do corpo.

### DENSIDADE

Você aprenderá com mais detalhes sobre densidade na disciplina de Populações, Comunidades e Conservação. Por agora, basta você saber que densidade é o número de indivíduos por unidade de área ou volume.

### RAZÃO SEXUAL

Este tema também será desenvolvido em detalhes quando você cursar Populações, Comunidades e Conservação. Por enquanto, é bom saber que a razão sexual pode ser expressa de várias maneiras. A mais comum refere-se ao número de machos pelo número de fêmeas. Assim, dizer que a razão sexual de uma população é 1:1 (lê-se um para um), quer dizer que existe um macho para cada fêmea. Ou, em outras palavras, há número igual de fêmeas e machos.

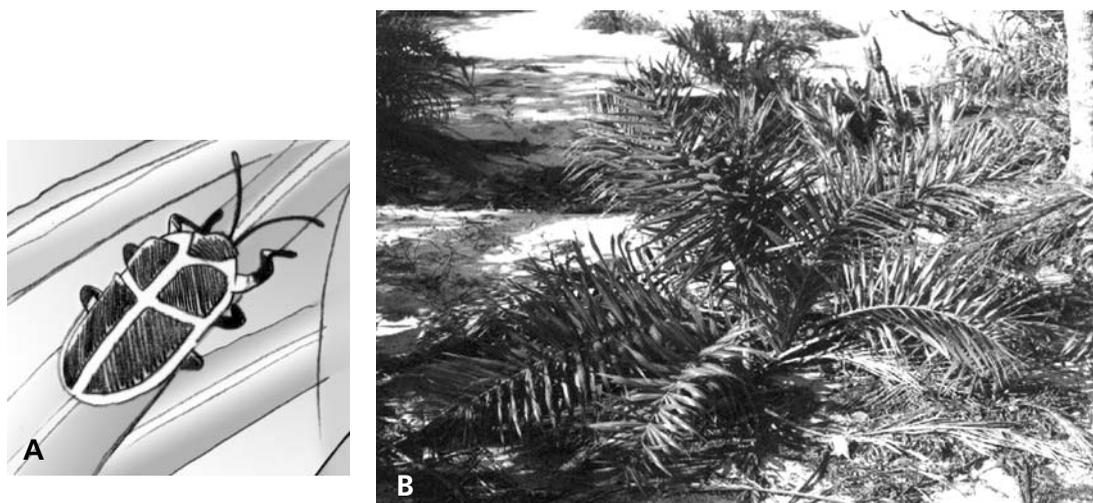


Figura 3.4: Em A você pode observar um adulto do besouro *Mecistomela marginata*, que mede cerca de 3,0 cm de comprimento. Em B, vemos um indivíduo da palmeirinha *Allagoptera arenaria*, com cerca de 1,0 m de altura, que é a planta hospedeira de *M. marginata*, no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba.

#### O PARQUE NACIONAL DA RESTINGA DE JURUBATIBA

Abrange os municípios de Macaé, Carapebus e Quissamã, no Estado do Rio de Janeiro. Apresenta uma área total de 14.451ha e objetiva assegurar a preservação de seus recursos naturais, proporcionando oportunidades controladas para uso público, educação e pesquisa científica. Apresenta enorme diversidade de habitats, como, por exemplo, restinga de moitas, restinga paludosa, mata, brejos, rios, lagoa, entre outros. A importância ecológica do trecho do litoral compreendido entre os municípios de Macaé e Quissamã já foi reconhecida pela Unesco, que em 1992 considerou esta área como “reserva da Biosfera”.

É a partir da descrição destas propriedades que caracterizamos nosso objeto de estudo. Assim, posso dizer, por exemplo, que estudo uma população de insetos da espécie *Mecistomela marginata*, um besouro, cujos indivíduos apresentam coloração preta com os bordos amarelos, medindo cerca de 3,0 cm. Minha população de estudo, no **PARQUE NACIONAL DA RESTINGA DE JURUBATIBA**, alimenta-se, principalmente, de folhas de *Allagoptera arenaria*, uma palmeirinha com o nome vulgar de guriri ou palmeirinha da praia. Nesta restinga, *M. marginata* tem densidade de 1,3 besouros por palmeira e sua razão sexual é de 3:1 (três para um), ou seja, 3 machos para cada fêmea. Veja a figura do besouro e de sua planta hospedeira.

#### ATIVIDADE PROPOSTA 1

No exemplo acima, identifique os níveis de organização estudados e as propriedades que foram caracterizadas em cada nível. Na sessão de tutoria referente a esta aula você discutirá no pólo esta questão com seu tutor presencial.

## O ESTUDO ECOLÓGICO

Voltando a nossa **FIGURA 3.2** que já descrevemos com algum nível de detalhamento, poderíamos passar a uma nova fase de seu estudo: perguntar sobre os fatores que determinam a estrutura e o funcionamento dos sistemas ecológicos. Algumas questões possíveis seriam:

- O que determina que a espécie vegetal X só ocorra próxima ao rio?
- Que efeito tem a espécie A de animal sobre a espécie Y de planta?
- O que determina quantas espécies existem naquele ambiente?
- A espécie D é camuflada no substrato em que vive; como ocorre esta camuflagem?

### ATIVIDADE PROPOSTA 2

Seria muito interessante que você também começasse a pensar em algumas questões deste tipo. Procure elaborar algumas perguntas e discuta-as com o tutor no pólo.

Nessa fase, partimos da descrição dos sistemas na busca de padrões para a compreensão dos processos, isto é, os mecanismos que explicam tais padrões.

- Para responder às perguntas propostas, estudamos a natureza pela observação, **HIPÓTESE** e experimentação.
- No desenvolvimento da ciência, frequentemente um padrão observado precede a descoberta das causas que produzem tal padrão. Assim, em geral, depois da observação, de uma constatação de padrão ou fenômeno na natureza, surge logo a questão de como ou por que do padrão. Várias hipóteses podem ser formuladas para responder às questões. Tais hipóteses podem ser testadas por meio de mais observações ou experimentos adequados. Se os resultados obtidos estão de acordo com as hipóteses, podemos generalizar as conclusões chegando a uma teoria ecológica e passar a fazer previsões baseadas nos novos conhecimentos. Se, por outro lado, os resultados não são consistentes com a hipótese, ela é rejeitada. A observação dos resultados experimentais pode gerar novas perguntas, ou a reformulação de questões antigas; desta forma o fazer científico vai sempre se retroalimentando.

#### HIPÓTESE

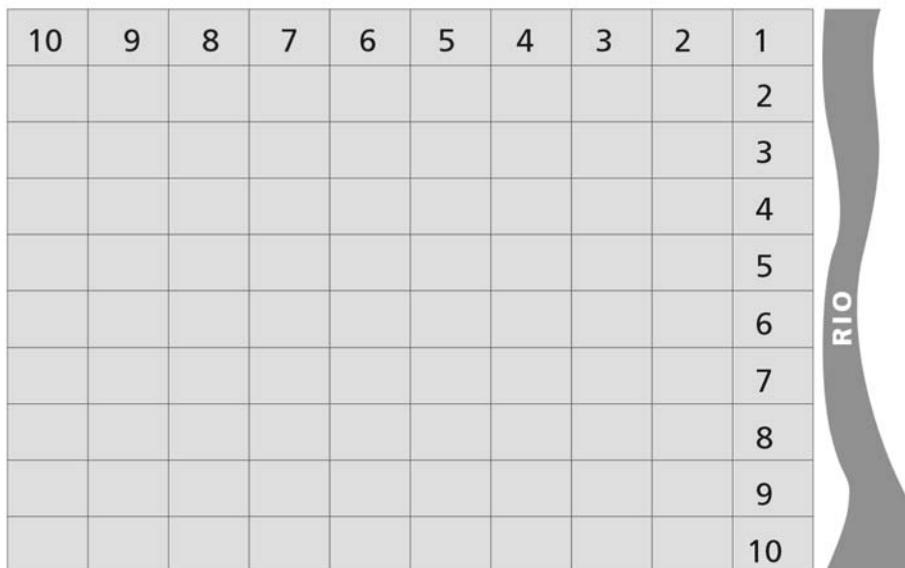
Proposição ou suposição não comprovada, para explicar certos fatos ou para oferecer de base a uma investigação ou argumentação subsequente.

Poderíamos, então, voltar à **Figura 3.2** e constatar, por exemplo, que uma das espécies de planta parece ocorrer preferencialmente perto do rio. Como testar se esta hipótese, de ocorrência preferencial de indivíduos da espécie vegetal X próxima ao rio, é procedente?

Que tal, para estudarmos este nível de organização, população, marcarmos uma área que se estenda desde a margem do rio até o interior da mata e nela verificarmos como os indivíduos da espécie X estão distribuídos? Para melhor avaliarmos sua distribuição é importante que esta área esteja quadriculada e as parcelas menores sejam numeradas para avaliação posterior.

Vamos ver como poderia ser.

**Figura 3.5:** Representação esquemática do parcelamento de uma área de mata adjacente a um rio. A marcação destas parcelas pode ser feita, por exemplo, usando-se estacas de madeira nos vértices dos pequenos quadros delimitando-se cada quadrado, ou parcela, com barbante.



No campo, então, contaremos o número de indivíduos da espécie X em cada parcela.

Veja que, para estudar as características da população precisamos estudar o nível de organização anterior, ou seja, os indivíduos que compõem esta população.

Os dados serão analisados estatisticamente e saberemos então se esta espécie ocorre em maior número mais próximo ao rio. Supondo que sim, isto é, que as parcelas mais próximas da margem do rio têm significativamente mais indivíduos do que aquelas que estão mais distantes, teremos detectado um padrão da natureza.

Perceba que partimos de uma observação inicial, que gerou uma hipótese a ser testada, para um trabalho que envolveu uma metodologia adequada ao teste da hipótese formulada. Depois desta fase de detecção de um padrão, podemos então nos perguntar sobre o que determina que este padrão ocorra. Em nosso trabalho com a espécie X, podemos perguntar: o que determina que esta espécie ocorra principalmente perto do rio? Quando já conhecemos um pouco sobre a espécie ou sobre o grupo que estamos trabalhando, podemos ter algumas hipóteses, como por exemplo: a) as sementes precisam de muita água para germinar, morrendo em locais secos; b) suas sementes são dispersas pela água, assim, somente próximo às margens do rio é que esta planta se estabelecerá; c) as **PLÂNTULAS** necessitam de muita umidade para crescer rapidamente e atingir, num tempo mais curto, um determinado tamanho onde estejam mais resistentes ao ataque de insetos que podem matá-las quando ainda possuem poucas folhas; d) o animal que dispersa suas sementes vive em locais próximos ao rio, o que determina que a planta somente se estabelecerá nestes locais.

Poderíamos pensar em outras hipóteses, na verdade em muitas outras... Veja que há claramente hipóteses que estão relacionadas a fatores físicos do ambiente, como as duas primeiras hipóteses, que tratam da necessidade de características físicas do ambiente para a sobrevivência e estabelecimento da planta num dado local. A terceira hipótese considera, simultaneamente, a importância de **FATORES** físicos e **BIÓTICOS**, ou seja, de interação com outros organismos vivos, que no caso são os insetos inimigos naturais da planta. A última hipótese considera somente um fator biótico, a interação da planta com seu dispersor de sementes que determina sua distribuição.

Então, há duas das hipóteses que consideram a importância da interação de nossa planta de estudo com outros organismos, inimigos naturais na hipótese c e dispersores de sementes na hipótese d. Evidentemente, existem ainda outras espécies de plantas e animais no local, interagindo entre si em maior ou menor grau; tais espécies caracterizam um outro nível de organização que estudamos, a comunidade.

### PLÂNTULA

Pequena planta recém-nascida.

### FATORES BIÓTICOS

Influências provocadas direta ou indiretamente por um ser vivo, como, por exemplo, a predação e o parasitismo.

Por outro lado, as hipóteses a, b e c evocam a importância dos fatores abióticos do ambiente sobre os organismos vivos. Quando considerados, conjuntamente, a comunidade e os fatores abióticos, estamos lidando com um nível de organização mais amplo, o ecossistema.

Se as observações preliminares realizadas no campo, ou se as informações da literatura, indicam que alguma das hipóteses é mais plausível, esta, então, será testada em primeiro lugar. O tipo de teste, experimentação ou prioritariamente observação, dependerá da natureza da hipótese. Contudo, cada vez mais, vemos que a experimentação dá muito maior sustentação e confiabilidade aos resultados obtidos.

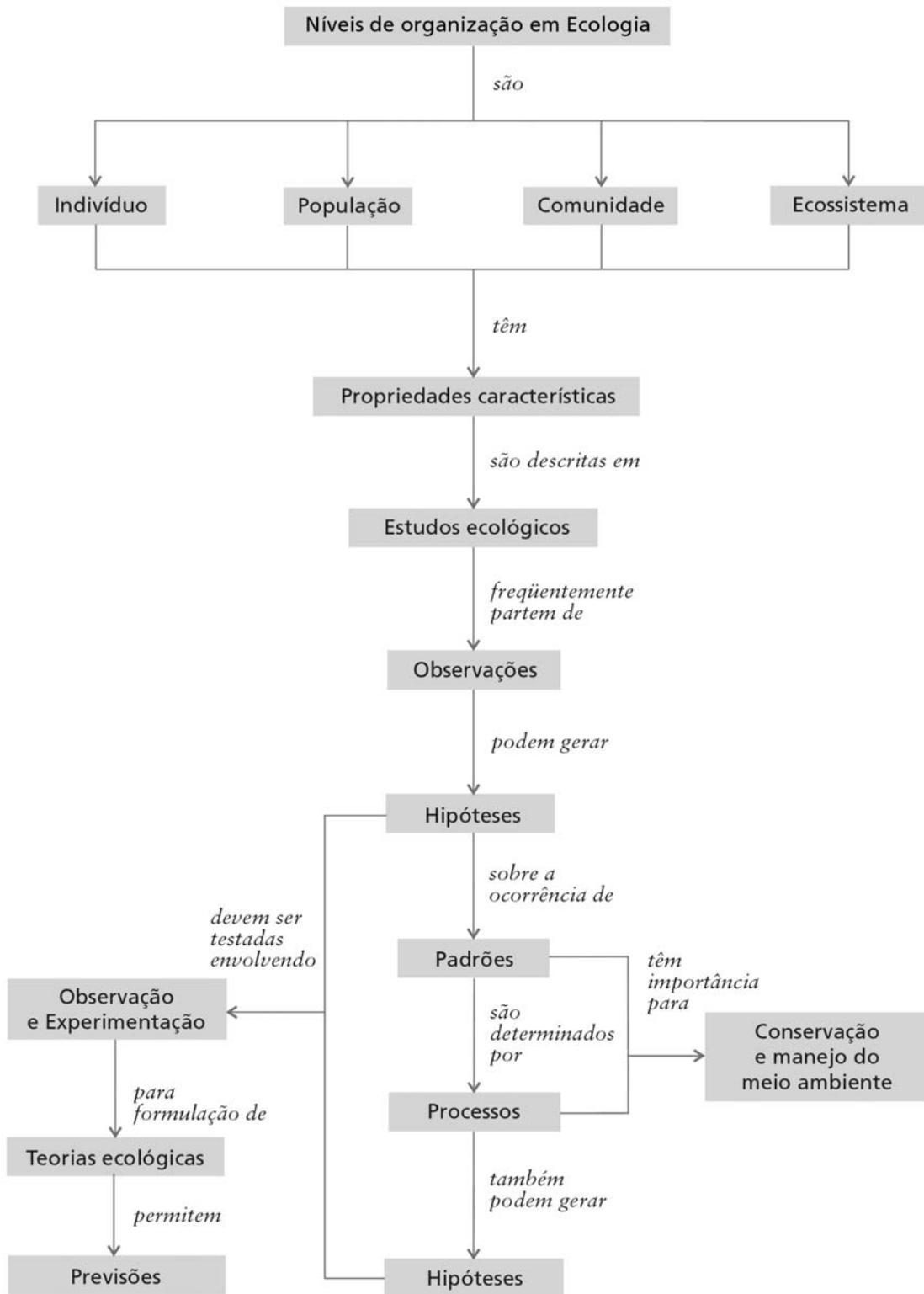
### ATIVIDADE PROPOSTA 3

Que tal se você pensasse em um experimento para testar uma das hipóteses apresentadas? Há um fórum chamado “teste de hipóteses” em nossa disciplina, onde você deve fazer sugestões de testes das hipóteses apresentadas e/ou discutir as sugestões já presentes no fórum.

Perceba que questões como as que foram formuladas são de extrema importância quando pensamos em conservar ou recuperar uma área com suas características originais. Como poderíamos pensar num reflorestamento com espécies nativas tentando plantar esta espécie de planta em um local distante de um corpo d’água? Se detectada a importância de um organismo dispersor das sementes desta planta, como querer que ela se reproduza no ambiente se, por exemplo, a área que o tal agente dispersor necessita para sobrevivência for maior do que a área mantida preservada?

Assim, buscar padrões na natureza e compreender os mecanismos que os explicam são de extrema importância para que intervenções no meio ambiente, quer sejam de manejo quer sejam de conservação, sejam bem-sucedidas. O manejo correto exige primeiro o conhecimento profundo, baseado em teorias ecológicas sólidas, do ecossistema para o qual ele é aplicado. Também para conservação, ou seja, a manutenção de áreas naturais preservadas, critérios científicos, além dos legais, são de extrema importância.

## RESUMO



## EXERCÍCIOS

Tente responder às seguintes questões e leve as respostas para discussão com seu tutor no pólo. Se você conseguir respondê-las adequadamente você certamente teve um bom aproveitamento desta aula.

1. Pode haver mais de uma população da mesma espécie na mesma comunidade? Justifique.
2. Uma mesma espécie pode apresentar duas populações diferentes? Justifique.
3. Você acha que uma mesma pesquisa feita conjuntamente por pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento pode trazer bons resultados? Justifique.
4. O grande ecólogo americano Robert H. MacArthur disse uma vez “Fazer ciência é procurar padrões que se repetem e não simplesmente acumular fatos”. Discuta esta afirmação.

## AUTO-AVALIAÇÃO

Se você...

já é capaz de enumerar os níveis de organização estudados em ecologia, definindo-os e compreendendo que cada um tem suas características exclusivas;

já compreende, em linhas gerais, como se desenvolve um estudo ecológico, identificando padrões na natureza e investigando os processos responsáveis por tais padrões;

Então...

Parabéns, você já pode passar para a próxima aula!

Entretanto...

Se você encontrou dificuldades para compreensão dos conceitos tratados nesta aula, procure seu tutor no pólo para decidirem juntos o que fazer.

# O meio ambiente: introdução aos fatores físicos e aos fatores limitantes

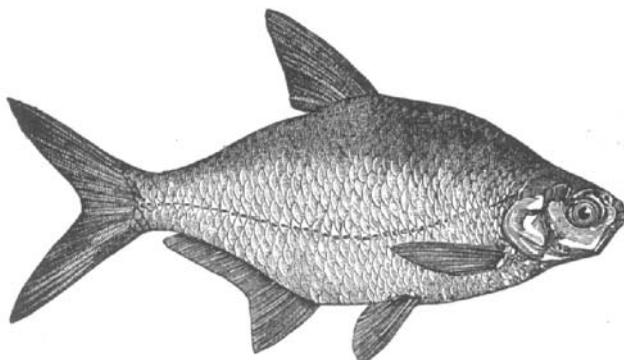
AULA

# 4

## objetivos

No decorrer desta aula, você aprenderá sobre a influência do ambiente físico na sobrevivência e distribuição dos seres vivos. Ao final dela, você deverá ser capaz de:

- Identificar os fatores físicos mais importantes na distribuição dos animais e dos vegetais em seus ambientes.
- Reconhecer alguns processos através dos quais os fatores físicos atuam nos seres vivos.



## INTRODUÇÃO

### ENTORNO

A totalidade de tudo o que nos rodeia. No caso, estamos tratando do ambiente em sua totalidade.

### BIOSFERA

Parte do planeta que inclui todos os organismos e ambientes sobre a crosta da Terra.

### SALINIDADE

Quantidade de sais dissolvidos em água. Unidade mais freqüente: partes de sais por mil partes de água (ppm).

Você já deve ter percebido que freqüentemente recorremos a conceitos intuitivos, independentes do nosso aprendizado escolar ou formal, para explicar determinadas questões que observamos no nosso dia-a-dia. Principalmente as questões relacionadas com o ambiente que nos rodeia ou, melhor dizendo, com o nosso **ENTORNO**. Nossa curiosidade nos conduz a verificar se existem interações entre os diferentes componentes ambientais que vivenciamos, se podemos estabelecer relações que possam se repetir em ciclos; se é possível quantificar, medir, essas interações, cíclicas ou não.

Sabemos que todos os organismos que habitam terras e águas podem ser considerados como parte de uma imensa comunidade mundial que, juntamente com seu entorno, recebe o nome de **BIOSFERA**. Essa comunidade viva é o resultado da integração de todos os ecossistemas terrestres e aquáticos. Deste modo, podemos entender a biosfera como o nível maior de integração da matéria viva. E o entorno da biosfera? De que é composto? Essa é justamente a parte que vamos estudar nesta aula.

Por ora, podemos considerar o entorno dos seres vivos como o meio no qual eles desempenham suas funções. Esse meio, ou ambiente, é constituído de todos os fatores e fenômenos, externos aos seres vivos, que podem influenciá-los. Nosso estudo nos levará a entender a qualidade desses fatores e de que maneira eles atuam na vida dos organismos em todos os ecossistemas.

Os fatores do meio, ou fatores ambientais, podem ser divididos em duas grandes categorias: **fatores bióticos** e **fatores abióticos**. O primeiro caso ocorre quando os organismos são influenciados por outros seres vivos. Um exemplo dessa influência você pode encontrar na atividade do mosquito da dengue, que provoca vários sintomas adversos ao ser humano, podendo levá-lo inclusive à morte. A outra categoria é representada por fatores químicos (**SALINIDADE**, por exemplo) e físicos (temperatura, umidade) que atuam fortemente na distribuição e na quantidade dos organismos.

Neste ponto, podemos perguntar: de que maneira os fatores abióticos influenciam a vida dos organismos?

Observe a **Figura 4.1**. Ela representa um urso polar em seu ambiente natural. Mesmo que você, neste momento, só disponha daquele conhecimento intuitivo a que nos referimos anteriormente, resultante da observação diária do nosso entorno, é possível apreender conceitos fundamentais dos fenômenos que regulam a vida no nosso mundo. Mesmo simples, a **Figura 4.1** nos mostra algumas informações interessantes. Por exemplo: verificando a paisagem geral da figura, podemos dizer se ela é variada ou uniforme? Qual a sensação mais importante despertada em você? Muito frio? Muito quente? E o urso, é magro ou muito gordo?

Recorrendo aos nossos conhecimentos anteriores, que tanto podem resultar do senso comum ou de nossas diferentes leituras, podemos afirmar que os seres vivos são influenciados de diferentes maneiras pelo meio em que vivem. Podemos, sem maiores dificuldades, entender que alguns organismos vivem melhor em climas quentes, enquanto outros vivem, preferencialmente, em climas frios. É o caso do nosso personagem, o urso polar. Ele é um animal típico de ambientes gelados, com muito pouca variabilidade climática. De um organismo que vive preferencialmente em algum local de características climáticas especiais, como os pólos da terra, por exemplo, podemos dizer simplesmente que ele está bem **ADAPTADO** ao ambiente.



**Figura 4.1:** Urso polar em seu ambiente.

## CONHECENDO OS FATORES ABIÓTICOS

Vamos definir com mais profundidade o que entendemos por fatores abióticos. O meio ambiente é integrado por dois grandes componentes: um deles, representado por todos os organismos vivos sobre a Terra, constitui a parte biótica ou os elementos bióticos ou biosfera. O outro componente é representado pelos fatores abióticos, que podem ser divididos em **físicos**, como luminosidade, temperatura ou ventos, e **químicos**, como a quantidade relativa dos diversos elementos presentes na água e no solo. É importante que esteja bem claro para você que fatores ambientais são sempre aqueles **externos** ao organismo considerado e que exercem alguma influência sobre o mesmo. Lembre-se do exemplo que utilizamos anteriormente, sobre o mosquito da dengue. É um organismo (o mosquito) considerado fator biótico, atuando sobre as funções vitais de outro organismo (o homem). Da mesma maneira, um predador representa um fator ambiental biótico para a sua presa, uma vez que atua principalmente sobre a sua densidade populacional.

Podemos então continuar a falar sobre os fatores abióticos. Você poderia lembrar algumas das características que configuram aquilo que nós denominamos **clima** das diferentes regiões da terra? Podemos ajudar com alguns exemplos: a quantidade de radiação solar, a temperatura ao longo do ano, a umidade do ar. Dessa maneira, você já pode adiantar alguns dados, a partir da observação da Figura 4.1. Vejamos. Ocorre, nesse tipo de ambiente, pouca incidência de radiação solar, as temperaturas devem ser muito baixas, talvez apresente uma baixa umidade relativa do ar. Se você estranhou a ocorrência de baixa umidade do ar com tanto gelo ao redor, lembre-se que a baixa incidência da radiação solar implica baixas quantidades de calor, fato que não permite a evaporação da água.

Veja o encadeamento dos fatos: primeiramente, a baixa incidência da radiação solar. Depois, como consequência direta, a pouca produção de calor e, finalmente, a baixa evaporação da água retida sob a forma de gelo. Este encadeamento de “consequências em cascata” é importante para você pensar na forma como as características se combinam, interagem e fornecem um resultado que, na verdade, é oriundo de um conjunto de fatores, e não de um fator isolado, o que é muito diferente.

Voltemos nossa atenção para o personagem da **Figura 4.1**. Qual característica do urso você imagina ser aquela que melhor contribui para a sua sobrevivência em relação ao conjunto climático do seu ambiente? Se você pensou nas grossas camadas de gordura de seu corpo, pensou acertadamente, porque elas significam um importante fator de adaptação desse animal ao ambiente. Nesse caso, a gordura representa um duplo fator de adaptação: em primeiro lugar, ela é extremamente resistente às perdas de calor para o exterior, protegendo eficientemente o animal do frio intenso. Em segundo lugar, quando o animal passa por períodos em que as condições ambientais o submetem a uma absoluta falta de alimento, é a queima dessas gorduras em excesso que vai sustentá-lo até que as condições ambientais voltem a fornecer mais e melhores opções alimentares.



Passemos, agora, a outro cenário. Observe atentamente o ambiente da **Figura 4.2**. É um exemplo de vegetação sobre cordão arenoso de praia, à qual denominamos restinga, de ocorrência muito comum no Brasil. Compare com a **Figura 4.1** e estabeleça as diferenças mais importantes entre os dois ambientes.

Você já deve ter percebido que, no caso da **Figura 4.2**, temos um ambiente claro, aberto, ensolarado, com uma vegetação exuberante e de porte arbustivo. Veja que o fato de ambientes como esses serem abertos e claros é consequência da forte entrada de radiação solar.



**Figura 4.2:**  
Exemplo de  
ecossistema de restinga.

No caso das restingas, os espaços entre a vegetação são ocupados por areia de praia que, por ser muito clara, resulta em grande **reflexão** da radiação solar que volta para o meio ambiente, podendo ser comparada grosseiramente ao efeito de um espelho. E qual a importância disso? É que esta reflexão amplia fortemente o **efeito térmico**, ou seja, aumenta a quantidade de calor no meio ambiente. Além disso, esse tipo de areia de praia é formado por grãos maiores do que aqueles que formam o barro ou a lama. Então, é normal imaginarmos que a água das chuvas escorre muito mais rapidamente através destes grãos do que através dos grãos de lama ou barro, restando pouca água para o aproveitamento das plantas. Conseqüentemente, é certo também pensarmos que os seres vivos devem ter desenvolvido adaptações para a sobrevivência e reprodução nesse tipo de ambiente. Espero que você já tenha percebido como o ambiente físico condiciona, de certa forma, a distribuição e sobrevivência dos organismos pelos diferentes ecossistemas da Terra. Você consolidará melhor este pensamento respondendo às questões que virão adiante.

Diante da descrição resumida de elementos ambientais já apresentados, podemos elaborar algumas perguntas: como viveria nosso urso polar no ambiente descrito na **Figura 4.2**? E as plantas da restinga, será que sobreviveriam no ambiente da **Figura 4.1**?

Se você respondeu com atenção a estas indagações, sabe que temos agora elementos suficientes para afirmar que as características físicas ou abióticas do meio influenciam de maneira significativa a distribuição de todos os seres vivos em nosso planeta. Tais características abióticas, portanto, estabelecem **limites** à vida na Terra.

O sol é a fonte primária de quase toda a energia utilizada nos processos naturais que ocorrem na Terra. A energia que ele produz é um fator constante, mas a energia que alcança a superfície terrestre em um local qualquer não é constante. Isso porque o eixo vertical da Terra é inclinado em relação à linha do equador solar, como você pode verificar na **Figura 4.3**. Associado a esse fato, e ao fato de a posição relativa Terra-sol variar a cada instante, um mesmo local na superfície do nosso planeta recebe quantidades diferentes de energia solar durante o ano. As quantidades de radiação solar que atingem a Terra podem ser chamadas, genericamente, de **insolação**.

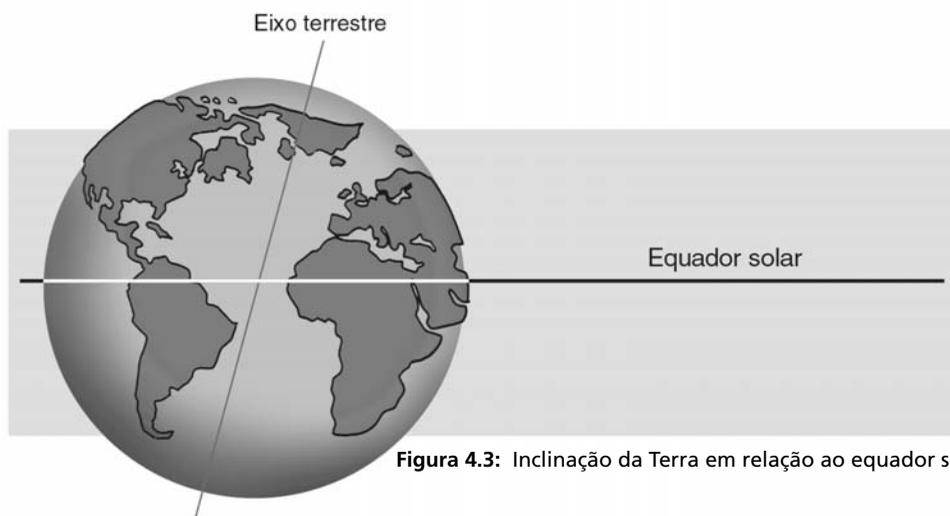


Figura 4.3: Inclinação da Terra em relação ao equador solar.

São as variações de insolação que influenciam as principais características abióticas: a luz, a temperatura e a umidade. É o estudo desses fatores abióticos que, associando-se a outros elementos ambientais, vão nos orientar rumo ao conceito de **fatores limitantes**.

## FATORES LIMITANTES

Justus Liebig foi um químico alemão que viveu entre 1803 e 1873. Juntamente com seus importantes estudos na área da química, este pesquisador teve sua curiosidade despertada pelas práticas tradicionais de cultivo vegetal realizadas pelos fazendeiros daquela época. E uma das preocupações daqueles trabalhadores continua a existir ainda em nossos dias: aliar o melhor rendimento de uma cultura vegetal às características do solo e do clima, buscando o fornecimento correto de todos os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas.

Liebig estabeleceu que, sob **condições constantes**, o material usado como recurso nutritivo, e que se encontra em quantidades próximas à quantidade mínima necessária ao desenvolvimento deste vegetal, **tende a ser** um fator limitante. Este conceito, expresso dessa forma, tomou o nome de “Lei do Mínimo de Liebig”. Foi com esta idéia, aliada aos próprios conhecimentos químicos, que Liebig desenvolveu os primeiros fertilizantes minerais destinados a reabastecer as plantas com nutrientes que tenham sido removidos do solo por **EROSÃO** ou por outros processos.

### EROSÃO

Trabalho mecânico de desgaste dos solos, realizado por águas correntes de inundação, pelo vento, pelo movimento das geleiras ou pelos mares.



As entradas de energia no sistema ecológico estão principalmente relacionadas às entradas de radiação solar, que vão movimentar os sistemas fotossintéticos das plantas verdes. Falaremos com mais profundidade sobre esses sistemas na próxima aula. Por enquanto, é importante saber que a fotossíntese representa uma série de processos através dos quais as plantas transformam, quimicamente, parte da radiação solar em compostos orgânicos como, por exemplo, as proteínas. Então, para que um sistema se apresente em estado constante, é necessário que as entradas de energia e matéria se equilibrem com as saídas. Já vimos quais são as principais entradas de energia. As entradas de matéria são representadas principalmente por nutrientes, que chegam por intermédio da atmosfera ou das chuvas. Esses nutrientes podem ser elementos químicos como o sódio, o potássio, o enxofre, o nitrogênio e, ainda, material orgânico resultante da decomposição de outros organismos vindos de sistemas vizinhos.



Leia outra vez a exposição sobre as entradas de nutrientes. Percebeu que aquilo que nós consideramos **entrada** em um determinado sistema estudado pode ser, na verdade, a **saída** de outros sistemas vizinhos? Um exemplo para você entender melhor tal fato: em um manguezal como o de Mangaratiba, no Rio de Janeiro, encontramos peixes, camarões, mexilhões. Mas uma parte desses organismos, como alguns tipos de camarões, não permanece toda a sua vida nesse tipo de ambiente. Apenas se desenvolvem nele, desde larvas. Na fase adulta, migram para o mar ou para uma baía de água salgada, com os quais os manguezais mantêm contato. Então, para o sistema de manguezal, os camarões que migraram representam uma **saída de matéria** em direção ao outro sistema. Para o mar ou para a baía, a chegada desses camarões representa uma das **entradas de matéria**.

Compreendeu melhor? Agora, observe atentamente o que vem a seguir: em um sistema ecológico, **apenas** a matéria circula. A **energia segue um fluxo único**, transformando-se em energias cada vez menos aproveitáveis, até que o sistema libere calor para o ambiente, uma forma de energia muito dispersa, pouco aproveitável. Na próxima aula, essas transformações serão comentadas com mais profundidade e você vai entender melhor esse assunto.

Podemos retomar agora a proposta de Liebig. Já vimos que um fator ambiental só pode ser considerado limitante quando estiver presente em pequenas quantidades, próximas ao mínimo requerido para o bom funcionamento das plantas e dos animais. Mas existe um fato a ser lembrado: é a interação dos fatores. Altas concentrações de alguma substância ou a ação de um fator que não seja o mínimo podem modificar a ação deste último. Às vezes, os organismos podem substituir uma substância rara no ambiente (um **fator limitante**, portanto) por outra substância, quimicamente semelhante. Algumas plantas, por exemplo, utilizam menos zinco quando crescem à sombra. Neste caso, uma concentração de zinco no solo seria menos limitante às plantas de sombra do que nas mesmas condições sob o sol. O oxigênio é abundante, constante e imediatamente disponível no ambiente terrestre. Então, ele raramente torna-se um fator limitante para os organismos que vivem em ambientes terrestres. Isso é totalmente correto? Não, porque existem organismos terrestres que habitam locais onde a distribuição de oxigênio é limitada. É o caso dos seres que vivem no solo ou em grandes altitudes. Nesse caso, a pouca disponibilidade de oxigênio nesses locais torna este elemento um fator limitante.

## LIMITES DE TOLERÂNCIA

Agora você já se familiarizou com os conceitos de fatores abióticos e com a sua influência na distribuição e sobrevivência dos seres vivos. Aprendeu também sobre os fatores limitantes, de modo que podemos passar para um outro conceito, também muito importante nos estudos ecológicos: os **limites de tolerância**.

Vimos que, de acordo com Liebig, a principal característica dos fatores limitantes é sua distribuição em pequenas quantidades no meio.

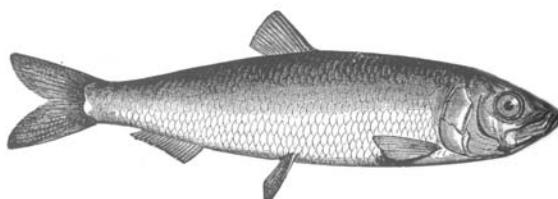
Mas será que o contrário também é verdadeiro? Ou seja, o excesso de algum fator também o torna um fator limitante?

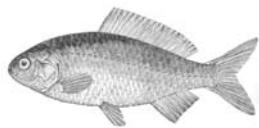
E se as coisas se passam mesmo dessa forma, será que existe uma faixa na quantificação de cada fator que seja suportável, tanto para as plantas quanto para os animais?

Os estudos sobre os limites de tolerância são antigos, datando de, pelo menos, 1910. Os pesquisadores publicaram muitos trabalhos a respeito do que foi denominado “ecologia da tolerância”, definindo como limites de tolerância o máximo e o mínimo nas quantidades de fatores que os organismos podem suportar.

Através dos resultados de diferentes estudos empreendidos ao longo dos anos, os cientistas chegaram aos chamados “testes de estresse”, que ainda são realizados em laboratório ou no próprio sítio de pesquisas. Estes testes consistem em submeter as plantas ou animais a diferentes condições dos fatores ambientais. Por exemplo: submetem os organismos a quantidades variáveis de radiação solar, de temperatura ou de umidade, de modo que atualmente são conhecidos quase todos os limites ecológicos dos organismos.

Mais uma vez devemos lembrar a importância da interação dos fatores ou mesmo da atuação mais forte de qualquer outro fator na reorientação dos fatores limitantes. Leia com atenção este exemplo: se determinada espécie de peixe vive muito bem dentro de certos limites de salinidade da água, de modo que níveis muito acima ou muito abaixo daqueles suportáveis pela espécie afetam sua distribuição. Um aumento da competição local entre os indivíduos dessa população ou a presença de um predador muito voraz podem diminuir a distribuição dessa espécie, ou até deslocá-la para ambientes semelhantes. Verificamos, então, que a distribuição da espécie pode ter sido alterada por uma série de inter-relações biológicas que, a princípio, nada tinham a ver com variações extremas na faixa de salinidade.





Os pesquisadores estabeleceram termos que são usados para indicar a faixa de tolerância dos organismos a determinados fatores. Por exemplo, o prefixo **esteno** (do grego *stenós*) significa estreito, enquanto o prefixo **euri** (do grego *eurús*) significa largo. Assim, o organismo **estenoalino** é aquele que suporta pequenas variações de salinidade em seu meio ambiente, enquanto o **eurialino** vive bem sob grandes variações de salinidade, suportam uma larga faixa de variação desse fator abiótico. Da mesma forma, um organismo **estenotérmico** não suporta grandes variações de temperatura, enquanto um **euritérmico** suporta largas faixas de temperatura em seu ambiente.

Finalmente, devemos ressaltar mais uma vez que os fatores abióticos são muito importantes em todas as fases da vida e na distribuição de todos os seres vivos no planeta Terra. A **iluminação**, a **temperatura** e a **umidade** são fatores ambientais muito importantes nos **ambientes terrestres**. A **iluminação**, a **temperatura** e a **salinidade** são fatores importantes em **ambientes aquáticos**. A natureza química e as taxas de reciclagem dos nutrientes são importantes também no solo, onde crescem as plantas. Lembre-se que todas essas condições físicas não funcionam apenas como fatores limitantes no sentido prejudicial, mas funcionam também como reguladores no sentido benéfico. Os organismos respondem a esses fatores sempre de forma a **suavizar**, por assim dizer, os possíveis efeitos prejudiciais.

## RESUMO

- A grande comunidade viva do nosso planeta, e mais o seu entorno, são representados pela biosfera, a qual integra os organismos de todos os ecossistemas terrestres e aquáticos;
- Os fatores ambientais são externos aos organismos nos quais atuam, de modo que os seres vivos são influenciados pelo meio em que vivem;
- Em um sistema ecológico, apenas a matéria circula. A energia segue um fluxo de sentido único.

## EXERCÍCIOS

Tente responder às seguintes questões, discutindo-as com o seu tutor no pólo. Se as respostas forem adequadas, você obteve um bom aproveitamento desta aula.

1. Elabore um pequeno quadro com o máximo de características bióticas e abióticas do ambiente próximo de sua casa. Uma pequena ajuda: procure delimitar o ambiente. Se você tem um pequeno jardim, uma pequena horta, alguns vasos de plantas, verifique a existência de fatores abióticos como o solo, as entradas de luz, que tipos de matéria entram no seu sistema ambiental, o que podem ser as saídas. Podem ser flores, frutos, folhas comestíveis...
2. Quais dos fatores abióticos que você conhece são mais importantes nesse ambiente que você escolheu? Justifique.
3. Como você definiria, com suas palavras, o conceito de fatores limitantes? No final do item 2 e em todo o item 3 dessa aula certamente você encontrará ajuda.
4. Explique por que a sobrevivência de um urso polar seria muito difícil em um ambiente tropical como a restinga. Esta questão relaciona-se mais fortemente com a comparação feita entre as **Figuras 4.1 e 4.2!**
5. Elabore um pequeno texto, explicando o que aconteceria com a vegetação de restinga se ela fosse submetida às condições físicas do pólo norte. A ajuda você encontrará também comparando as **Figuras 4.1 e 4.2!**
6. Estabeleça, resumidamente, quais as entradas e saídas de energia e matéria no ecossistema representado pelo entorno da sua casa. Ajuda: é só retirar daquele pequeno quadro que você elaborou na primeira questão.

### **AUTO-AVALIAÇÃO**

No final deste nosso estudo, acreditamos ter despertado em você a compreensão da importância do meio físico na distribuição dos seres vivos em seu meio ambiente.

A identificação dos fatores abióticos e o reconhecimento de alguns processos de sua atuação sobre os seres vivos representam uma importante aquisição de conhecimento, a qual será muito útil nas aulas seguintes. Acreditamos que você tenha realmente integrado esses conhecimentos aos seus estudos ecológicos. Mas não esqueça que suas dúvidas podem ser discutidas com seus tutores. Parabéns e até a próxima aula. Nela, vamos aprofundar o estudo sobre a luz e a temperatura, tanto em seus efeitos benéficos quanto em seus aspectos de fatores limitantes.

## Fatores abióticos: luz e temperatura

# AULA 5

## objetivos

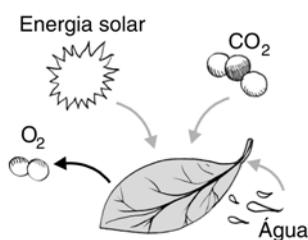
Nesta aula, daremos continuidade aos nossos estudos dos fatores abióticos, abordando a atuação da luz e da temperatura na distribuição dos organismos e no funcionamento dos ecossistemas. Ao final, você deverá ser capaz de:

- Compreender os efeitos da radiação luminosa e da temperatura na regulação da vida nos ecossistemas.
- Identificar os limites impostos por esses fatores na distribuição e na organização dos seres vivos no interior dos ecossistemas.



## INTRODUÇÃO

Na aula anterior, você se familiarizou com os fatores ambientais e sua atuação mais geral nos seres vivos. Agora, podemos avançar mais em nossos estudos falando de dois fatores físicos que influem fortemente na sobrevivência, distribuição e densidade dos organismos nos ecossistemas. Um desses fatores é a **luz**, da qual podemos ressaltar duas diferentes razões de sua importância para os seres vivos. Primeiramente, ela funciona como estímulo da medida de tempo nos ritmos diários e nas estações do ano, tanto em animais como em vegetais. A época de reprodução de muitas plantas e animais, por exemplo, é regulada pela resposta desses organismos às mudanças na duração do dia. Essa resposta é de caráter fisiológico e é tão importante que alguns pesquisadores a estudam sob o nome de **fotoperiodicidade**, ou seja, estudam o impacto estacional da duração (ou período) do dia nas funções vitais dos organismos. Através da duração diferenciada do período de iluminação diária (dias mais longos no verão dos trópicos, por exemplo), os animais e as plantas regulam suas épocas de reprodução e floração. A segunda razão pela



Fotossíntese

qual a luz é importante para os organismos é que ela é essencial para a **fotossíntese**. Através desse processo, as plantas captam carbono do ar ou da água sob a forma de gás carbônico ( $CO_2$ ) e o convertem em compostos orgânicos, com a ajuda da energia radiante (luz). Normalmente, se pode medir a taxa de fotossíntese medindo-se o consumo de  $CO_2$ . Devido a essa importância da luz para a fotossíntese, podemos imaginar que muitas das limitações ecológicas das plantas devam estar relacionadas com o regime de luminosidade do seu ambiente. Mas é importante deixar claro que, apesar da importância da duração do fotoperíodo na vida dos organismos, outras limitações devem ser consideradas. A presença da água, por exemplo, é de fundamental importância não apenas nos processos fotossintéticos das plantas verdes, mas em todos os processos que envolvem seres vivos. Devemos considerar também que a disponibilidade de nutrientes nos solos ou nos meios aquáticos também podem representar limitações ecológicas para os organismos.

O outro fator físico a ser estudado nesta aula é a temperatura, cuja influência orienta normalmente a distribuição de animais e plantas que sejam, por exemplo, menos resistentes a valores extremos dessa característica de seus ambientes. Geralmente, encontramos organismos adaptados a certas faixas de temperatura do meio, mas é correto imaginarmos que nem sempre a fisiologia dos animais e das plantas os faz antecipar-se a variações anormais das condições do ambiente, de modo que extremos de temperatura podem ser letais, provocando a morte de muitos animais e plantas.

## A CANÇÃO DA LUZ

Leia atentamente o início desta canção de Caetano Veloso: “Luz do sol, que a folha traga e traduz em verde novo, em folha, em graça, em vida, em força e luz.” Como nossa conversa de hoje será sobre luz e temperatura, resolvemos mostrar o início desta canção justamente para que você observe o quanto é interessante perceber que, não só nas músicas que ouvimos, mas nos livros e jornais que lemos, nas exposições, filmes ou peças de teatro a que assistimos, vamos encontrar sempre alguma coisa que tem referência direta aos nossos estudos diários. É também assim que nós ampliamos os horizontes do nosso aprendizado.

Lemos ou escutamos a canção e logo nos perguntamos: Por que a folha deve **tragar** a luz? E como esta luz é **traduzida** em um verde novo? E, finalmente, qual é a **graça**? São estas questões que, partindo de uma leitura simples da canção, tentaremos responder juntos.

Além da óbvia beleza da frase musical, podemos considerá-la uma perfeita definição poética de um dos processos mais importantes na manutenção da vida, tanto nos ambientes terrestres quanto nos ambientes aquáticos: a **fotossíntese**. Realmente, dito assim de forma muito geral, as plantas verdes trazem a energia radiante proveniente do sol e a traduzem quimicamente em compostos orgânicos que serão utilizados nos processos de crescimento, floração, e reprodução. Nesse ponto, convém lembrar que existe uma estrutura na planta, denominada clorofila, altamente especializada, cuja função é justamente captar, “tragar” a luz, dando início às transformações dessa energia primária em outras formas de energia. Desse modo, o autor da música utiliza o verbo **tragar**, expressando para nós essa captação de luz.

As plantas, então, “tragam” a luz e a **traduzem** em outras plantas, outras folhas, flores e frutos. Você lembra que anteriormente já dissemos que apenas a **matéria circula** e a **energia** segue um **fluxo único**, e que ela é transformada em outros tipos de energia? Guarde bem esta informação. Precisaremos dela mais adiante.

Vejamos primeiramente o que faz a planta **tragar** a luz. Toda a forma de radiação pode ser expressa por algumas unidades que a caracterizam em termos da quantidade ou da intensidade de energia nela contidas. Isto é particularmente importante no nosso estudo porque, assim como a matéria, a energia também se desloca no espaço. A energia pode se transferir de um corpo a outro, além de poder se propagar no espaço onde não haja matéria. No caso das energias luminosa e elétrica, por exemplo, a propagação se dá sob a forma de ondas, daí chamarmos ao seu movimento no espaço de **movimento ondulatório**. Embora este assunto seja melhor explicado nas aulas de Física, vale a pena conhecer algumas dessas unidades. As do nosso maior interesse no momento são: o comprimento da onda e a sua frequência.

Observando a **Figura 5.1**, você pode verificar que o **comprimento de uma onda**, representado pela letra grega *lambda* ( $\lambda$ ), é a distância entre duas cristas, tanto no sistema de ondas da parte **A** quanto no da parte **B** da figura. Então, qual a diferença entre estas partes? Pense no comprimento de onda da parte **A** e compare com o da parte **B**. Agora você percebe que a distância entre as cristas de onda da parte **A** é bem menor que a da parte **B**.

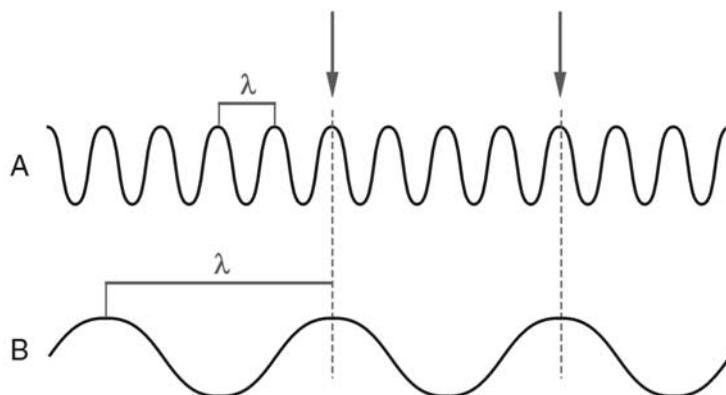


Figura 5.1: Comprimento de ondas.

Observe atentamente o lado direito da **Figura 5.1**, limitado por duas setas. Você concorda que no lado A “cabem” mais ondas que no lado B? Podemos concluir que este fato está relacionado com o comprimento de onda? Claro que podemos. No lado A, existem muito mais ondas justamente porque o comprimento de onda é menor do que o do lado B. Avancemos um pouco mais. Se comparamos a quantidade de ondas nos dois espaços limitados pelas setas, no mesmo período de tempo, e encontramos uma situação semelhante à descrita na figura que estamos analisando, chegamos à definição de outra importante propriedade ondulatória, que é a frequência. Essa característica representa o número de ondas ou vibrações, por unidade de tempo.

Neste ponto, podemos perceber uma relação muito importante: **quanto menor o comprimento da onda, maior é a sua frequência** (lado A da figura). E podemos, então, afirmar que, quanto maior a frequência da onda, maior é a energia associada a ela, maior o seu poder de penetração no meio! Uma outra medida associada à onda é a sua **amplitude**, mas essa é muito fácil. Amplitude é a **altura** da onda, em relação a um eixo de propagação. Ela também está realçada na **Figura 5.1**. São comuns, quando assistimos aos noticiários de meteorologia da televisão, as expressões “tempo bom, com nebulosidade, ondas de até 4 metros...”. Esta é a medida de amplitude da onda. As ondas podem ultrapassar 30 metros de altura. Procure saber sobre uma onda denominada **tsunami**, que ocorre nos mares do Japão, de tempos em tempos. Você vai se surpreender!

A Grande Onda,  
de Hokusai



Você deve recordar que na aula anterior, quando falamos sobre o ambiente e seus fatores abióticos, vimos que o sol é a fonte primária de toda a energia utilizada nos processos naturais que ocorrem na terra. Desse modo, todas as formas de vida dependem, direta ou indiretamente, dos processos que captam, transferem e transformam toda essa energia. E a energia irradiada pelo sol, daqui por diante chamada mais apropriadamente de radiação solar é, na verdade, um espectro ou um conjunto de radiações, com diferentes comprimentos de onda.

Dessa maneira, há uma parte deste conjunto ou espectro energético que podemos ver, constituindo a chamada faixa de radiação visível, cujos comprimentos de onda se situam entre 380 nanômetros (nm), reconhecido como violeta, e 750 nm, reconhecido como vermelho-escuro. Lembre-se que um nanômetro corresponde a  $10^{-9}$  de um metro. Mas isto não significa que outras radiações fora da faixa do visível não exerçam atividades sobre os seres vivos. As radiações ultravioleta e infravermelha, por exemplo, estão fora da faixa do visível, mas têm importância biológica.

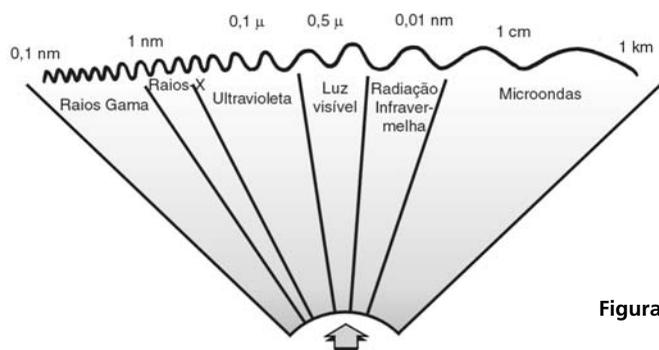


Figura 5.2: Espectro de radiações eletromagnéticas.

Na Figura 5.2, você poderá verificar um fato muito interessante na seqüência dos comprimentos de onda do espectro de radiações, incluindo a parte visível: quanto menor o comprimento de onda, maior a freqüência, e isto você já sabia. O que vamos acrescentar agora é que, **quanto maior a freqüência, maior é a energia associada à onda**. Você já deve ter lido ou ouvido falar sobre os efeitos ruins para a pele durante a exposição aos raios ultravioleta, quando vamos à praia. Verifique, na figura, que eles estão fora da faixa do espectro visível, mas possuem uma poderosa atividade biológica. Isto porque são ondas de pequeno comprimento, alta freqüência e grande poder de penetração. São fortes indutores de mutações genéticas, muitas vezes originando câncer de pele. Lembre-se também da extensa aplicação médica dos raios X, a utilidade doméstica das microondas, das longas ondas de rádio e TV, todas fora da faixa visível do espectro de radiações, mas com enormes aplicações práticas no nosso dia-a-dia.

Voltemos, então, à nossa estreita porém importantíssima faixa do espectro visível das radiações. Esta faixa é a fonte de energia da qual dependem as plantas e, conseqüentemente, todos os outros seres vivos.

A luz visível, além de agir como fonte de energia, também funciona como um regulador na vida dos vegetais, estabelecendo a orientação do crescimento da planta em direção à fonte de luz ou na regulação do ritmo diário/estacional do crescimento.

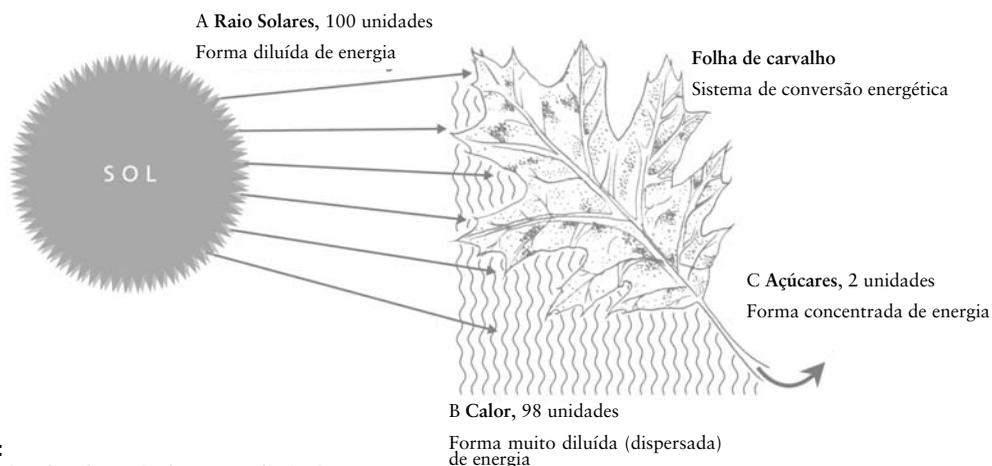
Mas os cientistas geralmente definem energia como a capacidade de realizar trabalho. No contexto desta definição, o comportamento da energia pode ser descrito por leis pertencentes a um campo da Física denominado Termodinâmica, uma vez que as transformações energéticas finais envolvem outro tipo de energia, denominada calor. Estas leis são de fácil verificação, aplicáveis a tudo o que conhecemos e, até onde sabemos, não foram ainda refutadas ou ultrapassadas por nenhuma inovação tecnológica.

A primeira destas leis é normalmente denominada **lei da conservação da energia** e afirma que a **energia pode ser transformada** de um tipo em outro tipo, **mas não pode ser criada**, nem destruída. A luz, por exemplo, é uma forma de energia, pois pode ser transformada em trabalho, calor ou em energia potencial concentrada nos alimentos, mas nenhuma parte dela é destruída.

A segunda lei da termodinâmica é denominada **lei da entropia**, cujo enunciado assume formas bastante diversificadas, mas que pode ser assim resumida: nenhum processo que envolva transformação de energia ocorre espontaneamente, a menos que ocorra degradação de energia de uma forma mais concentrada para outra forma mais dispersa. Este fato pode ser exemplificado pelo calor de um objeto quente, que tende a se dispersar espontaneamente em torno do ambiente mais frio. Imagine uma xícara de café fervente exposta em um ambiente a  $39^{\circ}\text{C}$  em pleno verão do Rio de Janeiro. Compare esta imagem da mesma xícara em um ambiente a  $9^{\circ}\text{C}$  em pleno inverno gaúcho. Estamos de acordo sobre o fato de que as duas xícaras dispersarão calor para o ambiente.



Mas é certo também que a xícara exposta ao ambiente do inverno gaúcho perderá calor mais rapidamente. Podemos citar também aquela brincadeira de colocar uma lente grossa sob o sol, e por trás dela uma folha seca aparando os raios concentrados após a passagem pela lente. Invariavelmente, a folha irá se incendiar. Para algumas pessoas, este era o melhor método de acender cigarros, mas isso não é um bom exemplo, fiquemos com a folha seca, que não provoca câncer. Na realidade, a lente funcionou como um elemento concentrador da energia radiante solar, transformando-a em calor. Assim, nos dois exemplos citados, estará ocorrendo degradação de energia sob uma forma mais concentrada para uma outra mais dispersa, ou mais desorganizada.



**Figura 5.3:** Ilustração simples das Leis da Termodinâmica.

Na **Figura 5.3**, pertencente ao Capítulo “A Energia nos Sistemas Ecológicos” do livro *Ecologia* de Odum (1983), você tem a oportunidade de verificar uma ilustração muito simples das duas leis da termodinâmica. Observe que a primeira lei é obedecida quando você verifica que a quantidade total de energia radiante incidente na folha (A) é igual à energia correspondente ao calor dissipado (B) mais a energia concentrada nos compostos resultantes da conversão energética ( $A = B + C$ ). E como você já aprendeu que nenhum sistema torna totalmente aproveitável aquela energia inicial, verifique nos exemplos de unidades energéticas de entrada e de saída da figura em questão que C vai ser sempre menor que A, por causa da dissipação durante a conversão (segunda lei). Fácil, não é?

Podemos concluir, então, que a entropia é uma medida da desordem resultante da degradação da energia. Quanto mais o sistema **luta** contra a desorganização energética, mais entropia externa ele produz. E por que é importante saber sobre a desordem energética dos sistemas vivos, quando estamos tratando da luz e da temperatura? Porque a característica mais importante dos organismos, dos ecossistemas e da biosfera inteira é a criação e a manutenção de um alto grau de ordem interna. Dizendo mais apropriadamente, esses sistemas alcançam uma baixa entropia às custas de uma troca contínua de matéria e energia com o ambiente. A energia que chega à superfície terrestre sob a forma de luz (altamente organizada) é equilibrada pela energia que sai da superfície terrestre sob a forma de radiação térmica (altamente desorganizada).

Você deve estar estranhando essa “contabilidade”: então os sistemas vivos mantêm uma baixa entropia, uma certa ordem energética, enquanto aumentam a entropia externa? É exatamente isso que acontece. E qual o processo regulador de todos estes fenômenos? Como a luz é captada e utilizada? Vamos começar a esclarecer esta história, pois é nossa intenção voltar àquela canção, respondendo às perguntas iniciais, sem esquecer de explicar onde está a graça, é claro.

Em primeiro lugar, a radiação luminosa tem de ser absorvida pela planta através de uma substância química da própria planta. Conseqüentemente, você já deve estar pensando em um sistema vegetal de substâncias absorventes. E este sistema existe: é um sistema de pigmentos, composto por moléculas que têm um grupamento químico responsável por suas cores. E como estes pigmentos aparecem coloridos? Simplesmente porque absorvem apenas alguns comprimentos de onda do feixe de luz branca (branca, porque a soma de todas as cores do espectro visível gera esta cor), ou seja, daquele conjunto espectral no qual falamos anteriormente, definido por uma faixa de comprimentos de onda que caracteriza o espectro visível da radiação solar. Um destes pigmentos, a clorofila, é verde. Ele tem esta cor porque absorve a maior parte dos comprimentos de onda correspondentes ao vermelho e ao azul, refletindo o comprimento de onda correspondente ao espectro do verde. Existem outros pigmentos, com outras cores e com a função básica de absorção das radiações. Alguns exemplos destes pigmentos nos vegetais, além da clorofila são o fitocromo, a flavina, os carotenóides e a antocianina.



Pense agora nos compostos orgânicos sintetizados pelas plantas no processo de fotossíntese, utilizando-se principalmente da clorofila para captar a energia luminosa. Será que eles representam passos no sentido de estabelecer aquela ordem energética interna de que tanto os sistemas vivos necessitam para sobreviver e se reproduzir? É bastante razoável que assim seja, porque os produtos finais da fotossíntese serão principalmente carboidratos, proteínas e outros constituintes dos tecidos vegetais, normalmente de grande valor energético para os consumidores herbívoros.

Observe que o alimento resultante da fotossíntese das plantas verdes contém uma energia dita **potencial**, que ainda vai ser transformada em outros tipos de energia quando for consumida por outros organismos. Apenas uma pequena parte desta energia vai se dispersar sob a forma de calor, mais desorganizada. É assim que os sistemas vivos mantêm sua ordem energética interna, sua baixa entropia.

Finalmente, podemos voltar à canção do Caetano Veloso. Ainda bem que os poetas podem somar conceitos à beleza de uma frase musical, resumindo tudo o que acabamos de expor: “Luz do sol, que a folha traga e traduz em verde novo, em folha, em graça, em vida, em força e luz...”

E a **graça**, onde está a **graça**? Você já percebeu o resultado da **tradução energética** das plantas em flores dos mais variados matizes de cor? A delicadeza da textura de todas as pétalas tão brilhantemente **traduzidas**? E a irresistível atração dos pássaros e insetos pelos perfumes, cores e secreções florais em forma de mel? Aí está a **graça** da vida!

## A LUZ COMO FATOR LIMITANTE

Nós não temos dúvidas sobre a importância do papel da radiação luminosa em todos os sistemas vivos do planeta. Nenhum outro fator abiótico é tão importante nos estudos ecológicos. Mas a luz, além disso, é também um fator limitante, tanto em seus níveis máximos quanto em seus níveis mínimos. Como já vimos, o ambiente de radiação total e algumas noções da distribuição espectral dessa radiação já foram discutidos. Conhecemos também um pouco do importante papel da radiação no balanço energético dos sistemas ecológicos.

Vimos também que a **radiação eletromagnética** (a radiação solar) é constituída de uma grande faixa de comprimentos de onda. A qualidade de uma radiação isolada está principalmente relacionada com o seu comprimento de onda ou cor.

Tanto os animais quanto as plantas respondem a diversos comprimentos de onda da luz. Nos animais, a qualidade da luz condiciona a visão em cores em alguns grupos. Mas são os primatas que têm a visão em cores bem desenvolvida. Nas plantas, a taxa de fotossíntese varia um pouco com os diferentes comprimentos de onda. Esta variação não é muito sentida nos ambientes terrestres, mas nos ambientes aquáticos à medida que a luz penetra, os comprimentos de onda correspondentes aos azuis e vermelhos são retidos no corpo d'água, enquanto a luz esverdeada resultante é mal absorvida pela clorofila. Lembre-se que a clorofila é verde porque reflete os comprimentos de onda correspondentes ao verde, portanto ela deve absorver em outra cor diferente do verde! Por este motivo, algas vermelhas marinhas do gênero *Rhodophyta* podem viver em profundidades maiores que as das algas verdes, porque utilizam melhor os comprimentos de onda retidos no corpo d'água. Nesse caso, a luz passa a ser um fator limitante para as algas verdes, que só podem viver em determinadas profundidades.

Veja alguns exemplos interessantes de como a luz funciona como fator limitante: em uma planta vulgarmente denominada maria-sem-vergonha, do gênero *Impatiens*, o crescimento é pouco afetado por intensidades de radiação entre 20% e 80% de luz natural do verão. Fora desses limites, o crescimento é prejudicado. Então, concluímos: intensidades abaixo de 20% e acima de 80% de radiação luminosa representam fatores limitantes para esta planta.

Além disso, em pontos onde ocorre um bom crescimento de uma comunidade vegetal, e se ela forma uma cobertura bem fechada (uma floresta, por exemplo), a intensidade de luz comumente se transforma em fator limitante nas camadas inferiores abaixo da copa. Mas as plantas conseguem explorar ao máximo as condições favoráveis e evitar as desfavoráveis. Sob a cobertura (também chamada dossel) de uma floresta, a quantidade de luz que atinge o solo depende das espécies presentes e da densidade das camadas abaixo do dossel.

As ondas eletromagnéticas não exigem um meio material para se propagar. São as ondas da radiação solar e podem se propagar tanto na matéria quanto no vácuo. As ondas mecânicas exigem um meio material para se propagar. O som, por exemplo, é uma onda mecânica. Não se propaga no vácuo.

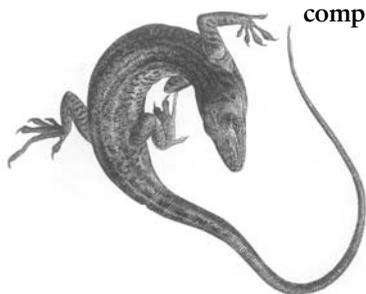


O que nós queremos fixar deste último exemplo é que as plantas, da mesma maneira que sofrem a ação da radiação luminosa, elas próprias terminam por afetar também a qualidade desta radiação. Como isso acontece? A luz se distribui no dossel mais ou menos por igual, mas nas camadas abaixo ela pode perder intensidade, pode penetrar por brechas pequenas, onde as plantas aproveitarão o máximo de duração da permanência deste feixe, duração que depende do tamanho da brecha e da mudança de posição do sol em relação a esta brecha.

Finalmente, após esta exposição sobre a luz, sua influência e suas limitações em relação aos organismos, podemos passar agora para um breve estudo da temperatura.

### TEMPERATURA: VARIABILIDADE E LIMITES

Vimos, ao longo desta aula, que os organismos não são simplesmente “escravos” do ambiente físico, justamente porque eles se adaptam e modificam este ambiente, no sentido de diminuir os efeitos limitantes da luz, da água ou da temperatura. Isto é o que chamamos de



**compensação de fatores.** E como ocorre esta compensação? Já vimos alguns exemplos desse processo quando falamos sobre a luz. Com relação à temperatura, a compensação pode ocorrer através de ajustes fisiológicos nas funções orgânicas, ou por mudanças nas relações entre enzimas e seus substratos em nível celular. Complicado? Nem tanto. Os animais, por exemplo, compensam através de comportamento adaptado para evitarem os extremos de fatores ambientais locais. Você já deve ter ouvido falar do comportamento dos lagartos, expondo-se ao sol durante algumas horas. Como eles não são animais de “sangue quente”, costumam manter uma temperatura corporal ótima dessa maneira. Expõem-se ao sol durante o dia, retirando-se para tocas ou para baixo de pedras quentes à noite. São muitos os exemplos de compensação dos fatores ambientais locais. Mas este processo ocorre também em relação à variação dos fatores com as estações do ano.

A duração da iluminação diária fornece o que conhecemos como fotoperíodo. Da mesma forma, podemos ter um **termoperíodo** associado à duração do calor diário.

Processos como épocas de floração, maturação de frutos, troca de penas nas aves e muitos outros semelhantes, estão estreitamente relacionados a fenômenos de variação dos fatores, principalmente luz e temperatura, com as estações do ano. Existem algumas espécies de plantas superiores que florescem quando o fotoperíodo está aumentando, ou seja, são plantas de dia longo. Os animais também respondem fisiologicamente a dias mais longos ou mais curtos.

Esses processos de regulação ou de compensação são notáveis adaptações dos seres vivos ao meio ambiente. É realmente muito interessante que um inseto sofra tal influência dos dias longos de final de primavera, a ponto de produzir um ovo que não eclodirá antes da próxima primavera. E por quê? Para quê? É que os dias longos estimulam um hormônio produtor de um **ovo latente** ou em **diapausa**, ou seja, em pausa para a eclosão. Nessa situação, o crescimento da população desse inseto é interrompido antes que o suprimento de alimento se torne crítico, e não depois, quando os efeitos da fome seriam mais desastrosos.

De modo geral, os limites superiores de temperatura tornam-se mais rapidamente críticos, tendem a ser mais limitantes, do que os limites inferiores. E como se comportam os ecossistemas terrestres e aquáticos quanto às variações de temperatura? Na água, a amplitude de variação da temperatura tende a ser menor que na terra. Então, os organismos aquáticos suportam menos variações de temperatura do que os organismos terrestres correspondentes. Os organismos aquáticos, dessa forma, tendem a ser estenotérmicos, lembra-se do termo?



## RESUMO

A faixa do espectro visível da radiação solar é importante para a fotossíntese, para a distribuição dos organismos no interior dos ecossistemas e para o funcionamento de todos os sistemas vivos.

Extremos de luminosidade e temperatura podem ultrapassar os limites de tolerância de muitas espécies nos sistemas biológicos.

O fotoperíodo e o termoperíodo exercem forte influência nos processos ecofisiológicos dos seres vivos.

## EXERCÍCIOS

1. Elabore uma pequena redação, com um resumo do processo de tradução da energia luminosa feita pelas plantas, em outras formas de energia.
2. De um exemplo de energia que precisa de um meio físico para se propagar?
3. A radiação solar necessita de algum meio físico para sua propagação?
4. De que maneira a duração da luminosidade do dia atua nos seres vivos?
5. Como você poderia resumir em poucas palavras a lei da conservação da energia?
6. Você poderia explicar qual a importância da entropia para os sistemas ecológicos?
7. Elabore um pequeno texto, explicando a luz como fator limitante.
8. Numa escala de valores de temperatura, quais são os que melhor se enquadram como fatores limitantes? No item 4 desta aula você encontrará ajuda.
9. Tente elaborar um quadro com os fatores ambientais mais importantes, suas atuações e suas limitações aos seres vivos.
10. O que você compreende como compensação de fatores? Para melhores esclarecimentos, consulte o item 4 desta aula.

## AUTO-AVALIAÇÃO

- Se a leitura desta aula permitiu a você uma boa compreensão da distribuição da radiação luminosa nos diferentes meios de propagação;
- Se você é capaz de compreender, de forma geral, o comportamento da temperatura nos seres vivos, bem como os processos de regulação...
- Parabéns! Você está apto a seguir para a próxima aula. Mas se você encontrou alguma dificuldade, procure o seu tutor no pólo. Ele decidirá junto com você as ações que o levarão à compreensão total dos pontos duvidosos.



Para ampliar seus conhecimentos energéticos, não deixe de ler a reportagem intitulada "Tempo, vida e entropia", do físico Marcelo Gleiser, que foi publicada no dia 19/05/2002 na *Folha de S. Paulo, Caderno Mais!*

### Tempo, Vida e Entropia

Marcelo Gleiser

**A** grande astrofísico britânico Arthur Eddington uma vez proclamou: 'Se a sua teoria contrariar alguma lei da física tudo bem, é possível que a lei deva ser modificada. Mas se essa lei for a segunda lei da termodinâmica, pode jogar a sua teoria no lixo'

Marcelo Gleiser é professor de física teórica do Dartmouth College, em Hanover (EUA), e autor do livro 'O Fim da Terra e do Céu':

A segunda lei da termodinâmica é, talvez, a lei natural mais fascinante. Em sua versão mais simples, proposta no século 19 por um médico alemão chamado Rudolf Clausius e pelo físico inglês Lord Kelvin, ela afirma que o calor sempre flui de um corpo quente para um corpo mais frio. 'Que lei mais óbvia', imagino que você esteja pensando.

É, nessa versão, ela é óbvia mesmo. Mas, por trás do óbvio, está escondido o mistério da passagem do tempo, do porquê da desordem tender sempre a crescer enquanto a ordem sempre decresce, do porquê de nós envelhecermos e várias outras questões fundamentais sobre o mundo e nossas vidas.

Vamos por partes, começando com fatos que são familiares para todo mundo. Quando você põe um cubo de açúcar no café, o cubo dissolve. Uma vez dissolvido, você não verá os grãos de açúcar voltarem a formar o cubo.

Se você abrir uma garrafa de perfume em um quarto fechado, você sentirá o cheiro agradável se espalhando pelo quarto. Isso ocorre por que as moléculas de perfume chocam-se entre si, escapando da garrafa, e, aos poucos, vão se chocando também com as moléculas de ar no quarto, e o perfume vai se difundindo. Você não verá o aroma agradável desaparecer devido ao fato de todas as moléculas espontaneamente terem resolvido voltar para a garrafa.

Mais um exemplo: você quebra um ovo e prepara uma omelete. Jamais você verá a omelete se transformar de volta em um ovo. Todos esses processos mostram que existe uma direção preferencial para a passagem do tempo. Se você visse uma omelete se transformando em um ovo, você imediatamente concluiria, por mais estranho que fosse, que o tempo estaria andando para trás.

Os exemplos acima têm um aspecto em comum: todos eles começam em um estado organizado (o cubo de açúcar, a garrafa com o perfume dentro, o ovo) e terminam num estado muito mais desorganizado (o cubo dissolvido, o perfume espalhado, a omelete). Esse aumento inevitável da desordem não é uma propriedade exclusiva de cubos de açúcar, garrafas de perfume ou ovos. Ele ocorre com todos os sistemas que não trocam energia com o exterior. (No caso do ovo, o sistema tem de incluir a panela e a colher que bate o ovo e, se você quiser, o calor do fogão e a energia que você gasta.)

A quantidade de desordem de um sistema é representada pela sua entropia: quanto mais organizado o sistema, menor é a

sua entropia. O cubo e a xícara de café do exemplo acima têm entropia menor do que os grãos de açúcar espalhados por todo o volume do café. Esse crescimento da entropia é outra expressão da segunda lei da termodinâmica: em um sistema isolado (que não troca energia com o exterior), a entropia nunca decresce, podendo apenas crescer ou permanecer constante.

E, como a segunda lei também está relacionada com a direção da passagem do tempo, podemos dizer que o tempo vai para frente porque a entropia cresce.

Não existe escapatória: um sistema deixado aos seus afazeres irá sempre ficar mais desorganizado (e, conseqüentemente, mais 'velho'). O que seria de sua casa se você nunca a limpasse?

Sempre que discuto a segunda lei, as pessoas me perguntam se ela não contradiz a teoria da evolução. Afinal, segundo essa teoria, a vida na Terra começou com seres unicelulares bastante simples e, com o passar do tempo, foi ficando cada vez mais complexa, cada vez mais organizada.

Nós somos seres complicados, com um grau de organização celular muito maior do que aquele de uma ameba ou de

um simples vírus. Como foi possível que formas altamente organizadas se desenvolvessem em meio a esse aumento de entropia?

A resposta se encontra na formulação da segunda lei. Conforme expliquei acima, ela diz respeito a sistemas isolados, que não trocam energia e informação com o exterior. E esse não é, certamente, o caso dos seres vivos.

Qualquer animal depende de um influxo constante de energia e de alimentação para viver. A vida não é possível para um ser que exista completamente isolado dos outros animais e do mundo.

Ela só é possível quando existe um decréscimo local de entropia, um aumento local de ordem. Mas, quando consideramos as fontes de energia (o Sol, os alimentos), a entropia total sempre cresce. E o tempo, para o cosmo como um todo, continua sempre marchando avante, indiferente às nossas inquietações existenciais.

*Folha de SP, 19/5/2002)*

## Fatores abióticos: umidade e salinidade

# AULA 6

## objetivos

No decorrer desta aula, você aprenderá sobre a influência da umidade e da salinidade nos sistemas ecológicos e na sobrevivência das plantas e dos animais. Ao final, você deverá ser capaz de:

- Identificar as principais influências dos fatores estudados nesta aula sobre a organização e as estratégias de sobrevivência dos seres vivos.
- Avaliar a intensidade da interação desses fatores no funcionamento dos ecossistemas.

## INTRODUÇÃO

Você já deve ter percebido, através do estudo de nossas aulas anteriores, que a vida depende totalmente do mundo físico. Os organismos não apenas recebem a energia do sol e a transformam, mas devem suportar extremos de luz, temperatura, umidade, salinidade e outros fatores que ocorrem ao seu redor.

Nesta aula, continuaremos a considerar algumas das características do ambiente que afetam os seres vivos. Mas é necessário ressaltar que, embora possamos freqüentemente falar do vivo e do não-vivo, do físico e do biológico, do abiótico e do biótico como coisas opostas, a verdade é que quase não existe essa oposição tão precisa. O que ocorre é que os seres vivos afetam o mundo físico. Nossa atmosfera, lagos, oceanos e muitas rochas sedimentares possuem parte de suas propriedades atuais influenciadas pelas atividades de diversos organismos ao longo do tempo.

As formas de vida que conhecemos evidentemente se distinguem dos sistemas físicos, mas funcionam dentro dos limites impostos pelas leis físicas. Por esse motivo, você entrou em contato na aula anterior com as leis da Termodinâmica. A compreensão dessas leis vai se tornar um potente instrumento ao longo de todo o seu estudo das relações dos seres vivos com o seu meio físico.

Mas você poderia se perguntar a essa altura: se os sistemas biológicos operam sob os mesmos princípios dos sistemas físicos, o que os separa realmente? Vamos recordar um pouco as transformações de energia. Nos sistemas físicos, essas transformações seguem sempre o caminho da menor resistência, procuram sempre o **equilíbrio** com as condições do meio. Pense numa pedra rolando uma encosta, por exemplo. Ao longo do caminho ela vai liberando energia, ao menos sob forma de calor, devido ao atrito. Mas quando essa pedra chega “lá embaixo”, atinge o repouso, **entra em equilíbrio** com o meio, não é mesmo? E os seres vivos, como se comportam? Neles, as transformações de energia ocorrem de tal maneira que os mantêm sempre **fora do equilíbrio!** Então, os organismos vivos nunca atingem o equilíbrio? Atingem, sim. Quando morrem! Aqui você pode recordar a lei da entropia da aula anterior.

No equilíbrio, o seu quarto **tende** para a bagunça, o ser vivo **tende** para a morte, ou seja, não ocorrem mais trocas nem transformações energéticas. Entendeu a diferença? Quer um bom exemplo? A manutenção de nossa temperatura corporal. Você sabe que nossa temperatura interna é diferente daquela do ambiente que nos rodeia. Somos capazes de mantê-la entre 36°C e 37°C, independente de estar mais quente ou mais frio “lá fora”. Para que isso ocorra, gastamos energia que recebemos dos alimentos que ingerimos e que, em sua origem, vem mesmo das transformações que os vegetais fazem da energia radiante do sol, lá na base da cadeia alimentar. Ou seja, investimos energia no sentido de nos mantermos **longe do equilíbrio** térmico com o meio!

Desse modo, você reforça sua convicção de que a vida depende fundamentalmente do meio físico. É justamente a capacidade de agir contra as forças do meio físico que distinguem o vivo do não-vivo. Quando nos movemos, superamos a força da gravidade, **agimos contra** essa força. As formas e o funcionamento dos seres vivos evoluíram em parte como resposta aos atributos dominantes do meio.

E como o assunto desta nossa aula se refere à umidade e à salinidade, lembramos que um dos atributos ambientais mais importantes para a vida na Terra é a água, porque **todos** os processos da vida ocorrem em meio aquoso. Por essa razão, estudaremos um pouco mais profundamente este componente abiótico, assim como sua influência na umidade e na concentração de sais.

## CONCEITOS GERAIS SOBRE A ÁGUA

### OSMOSE

Passagem de líquidos e substâncias através da membrana plasmática celular.

A água é um componente tão importante nos sistemas ecológicos e na fisiologia de todos os seres vivos, que nos surpreendemos ao verificar o quanto pensamos pouco sobre suas influências. Já vimos que ela também pode ser um fator limitante, principalmente nos ambientes terrestres, onde sua quantidade pode variar muito, ou onde a alta salinidade do meio faz os organismos perderem água por **OSMOSE**.

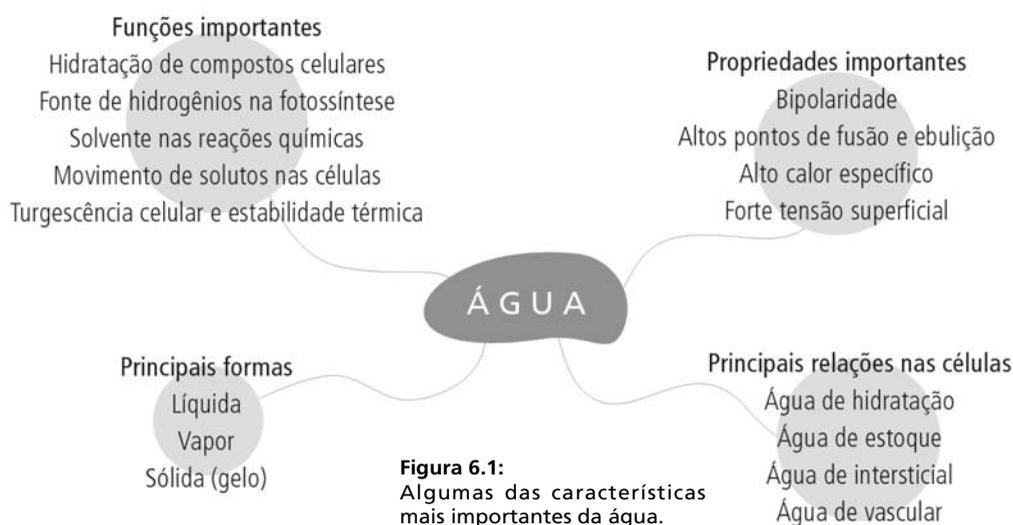
A vida teve origem na água, de modo que todas as formas de vida estão, de alguma maneira, ligadas a este composto. Isso você já sabe. Mas o que nós podemos acrescentar são algumas conseqüências dessa dependência dos organismos em relação à água.

Pouco mais de 90% do protoplasma celular são constituídos de água, lembrando que grande parte dos compostos celulares encontram-se hidratados de tal forma que, quando a água é removida, ocorrem alterações nas propriedades físicas e químicas dos carboidratos, proteínas e ácidos nucléicos, por exemplo. Além disso, a água participa de importantes reações químicas, tais como a hidrólise do amido, transformando-o em glicose ( $C_6H_{10}O_5 + H_2O \longrightarrow nC_6H_{12}O_6$ ). Lembre-se que essa reação pode ocorrer no sentido inverso. Nesse caso, temos a hidratação da glicose, fornecendo o amido.

Se você já tentou dissolver açúcar ou sal em certa quantidade de água, verificou que as partículas dessas substâncias como que *sumiram* no volume de água utilizado. Mas somem realmente? Claro que não. Elas continuam na água, só que dissolvidas. Por esta capacidade de *quebrar, dissolver*, diversos compostos, a água é conhecida como o **solvente universal**.

Na planta, o movimento da água transporta os solutos absorvidos ou sintetizados pela raiz. Você certamente já se divertiu produzindo flores de cores bizarras, diferentes daquelas normalmente encontradas na natureza. Essa diversão (para muita gente, meio de vida), está fortemente baseada na capacidade que a água tem de transportar solutos: algumas gotas de corante ou tinta guache em um copo contendo uma rosa, algum tempo de espera e você se transforma num artista da natureza!

A *turgescência*, ou firmeza, nas células vegetais, é mantida pela água, permitindo que as plantas se mantenham eretas. Finalmente, a água é responsável pela relativa estabilidade térmica das plantas, permitindo a absorção de consideráveis quantidades de radiações, sem alterar excessivamente sua temperatura. Um bom exemplo é a evaporação da água pelas folhas (transpiração), permitindo também a dissipação de grande parte da energia solar que atinge a planta.



Agora, preste atenção: todas essas funções da água estão fortemente relacionadas às suas propriedades físicas e químicas, ou seja, estão relacionadas com características que são próprias da substância água e apenas dela! Algumas dessas propriedades ou características você já identificou na **Figura 6.1**. O **alto calor específico** da água e sua **capacidade térmica**, por exemplo.

Possuir um alto calor específico significa dizer que a substância precisa absorver muita energia para aumentar sua temperatura, do mesmo modo que precisa liberar muita energia para diminuir essa temperatura. Se você fornecer calor a um copo de papel com água em seu interior, o papel não queima. Por que isso acontece? Veja bem: o papel não queima, mas a temperatura da água no interior do copo aumenta. Então, você pode concluir: a água absorveu o calor fornecido ao copo. Isto é conhecido como capacidade térmica, sendo particular para os compostos químicos. No caso da água, verificamos que ela possui uma alta capacidade térmica, porque conduz calor muito rapidamente.

O calor específico é, melhor definindo, a quantidade de calor necessária para alterar em 1°C a temperatura de uma substância química. A água possui um elevado calor específico, ou seja, é necessário fornecer ou retirar uma grande quantidade de calor para que se altere a temperatura. Na água, essa propriedade é de considerável importância biológica, porque resulta numa grande estabilidade térmica. Você certamente está lembrado de quando falamos anteriormente sobre a relativa estabilização térmica da planta como uma função da água. Por esse motivo, a planta pode absorver grandes quantidades de radiações solares, sem alterar excessivamente a sua temperatura interna, pois você já sabe que mais de 90% do protoplasma celular desses organismos são constituídos por água. Os calores de fusão (80 calorias/grama de água) e de vaporização (588 cal/g a 15°C) também são considerados muito altos. Isso significa que, para passar do estado líquido para o sólido (congelamento), a água precisa liberar muita energia. A passagem do estado líquido para o de vapor (evaporação) exige também uma grande quantidade de energia. Então, veja bem: a evaporação é um processo que resulta no abaixamento de temperatura da planta ou, pelo menos, não permite excessivas elevações de temperatura durante as horas de forte radiação solar. Entendeu melhor agora? Na **Figura 6.1**, você encontrará também as principais formas sob as quais a água se apresenta.

Outra propriedade importante é a **bipolaridade**. Embora você saiba que a molécula da água se apresenta eletricamente neutra, é bom lembrar que a distribuição assimétrica dos elétrons resulta numa molécula bipolar, com um lado apresentando uma carga positiva (aquele no qual se concentram os hidrogênios) e um lado negativo (aquele no qual se distribuem os elétrons do oxigênio). Essa bipolaridade promove uma atração fraca entre moléculas, o que gera uma “ligação de hidrogênio”, formando uma *camada de hidratação* para moléculas orgânicas como as proteínas, carboidratos e ácidos nucléicos.

Na **Figura 6.2**, você observa que alguns insetos leves e com formas mais ou menos especiais de patas conseguem manter-se na superfície da água. Eles caminham sobre o líquido, sem afundar. Esta é a manifestação de outra propriedade da água, conhecida como **tensão superficial**. Você poderá obter o mesmo efeito se colocar objetos leves como gilete ou alfinete em um copo com água. Esses pequenos objetos não conseguem romper uma força de superfície que mantém as moléculas da água fortemente juntas, unidas. Mas quando colocamos detergente, o que observamos é que as moléculas dessa substância começam rapidamente a se entremear com as da água, rompendo a sua tensão superficial. Objetos leves como os pequenos insetos da figura não conseguem romper essa força e, portanto, flutuam.



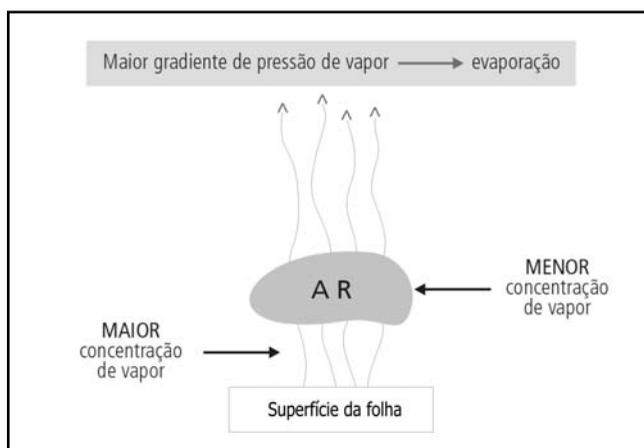
**Figura 6.2:** Exemplo da tensão superficial da água.

Vejam agora as principais relações hídricas nas plantas. Vamos voltar um pouco à **Figura 6.1**. Nela podemos observar as diferentes relações da água com a célula dos organismos. A **água de hidratação** você já conheceu quando falamos da bipolaridade da molécula de água, anteriormente. A água forma uma camada de hidratação quando, devido ao seu caráter dipolar, agrega suas moléculas sobre superfícies carregadas eletricamente. O interessante é que, apesar de a água de hidratação representar apenas entre 5% e 10% de toda a água da célula, essa quantidade é absolutamente necessária, de modo que uma pequena diminuição nesses valores pode provocar sérias injúrias na estrutura do protoplasma celular. A **água de estoque** é aquela que se encontra no interior de compartimentos celulares que são reservatórios de soluções. Mais da metade da água nas folhas está sob a forma de estoque, sendo mais facilmente transportada por ter maior mobilidade. A **água intersticial** serve como meio de transporte nos espaços intercelulares, enquanto a **água vascular** funciona como meio de transporte aos elementos condutores dos tecidos vegetais.

A parte aérea da planta está constantemente perdendo água por transpiração, porque está sempre exposta ao ambiente atmosférico. Essa água deve ser reposta, normalmente com novos suprimentos vindos do solo. Dessa maneira, transpiração, absorção e transporte de água das raízes até as superfícies transpirantes (partes aéreas) são processos básicos do **balanço hídrico** nas plantas. Já a perda de água pela planta pode ocorrer sob a forma de vapor (transpiração) e sob a forma líquida (gutação). Este último é um processo cuja contribuição para o balanço hídrico na planta é insignificante, de modo que a maior parte da perda é mesmo pela transpiração.

Observe uma representação simples do conceito de evaporação da água em superfícies úmidas na **Figura 6.3**: uma superfície desse tipo exposta ao ar perde mais água na forma de vapor quanto maior for o **gradiente de pressão de vapor**. Este gradiente, ou diferença, ocorre quando a concentração de vapor d'água logo acima da superfície úmida é maior do que a concentração de vapor d'água do ar a certa distância dessa superfície. A transpiração nas plantas se processa segundo as leis que regem a evaporação de superfícies úmidas.

**Figura 6.3:** Esquema simplificado da evaporação.



Mas, que fatores externos devem influenciar a transpiração nas plantas? Provavelmente aqueles que alteram a diferença de pressão de vapor entre a superfície da planta e do ar que a envolve (aquela camada de ar próxima à superfície da folha. Consulte a **Figura 6.3**). Aí aparecem duas influências diretas no processo de transpiração: a temperatura e a umidade relativa do ar. E como podemos definir mais cuidadosamente *umidade relativa*?

## UMIDADE

A chuva é determinada, geralmente, pelo padrão dos grandes movimentos atmosféricos e meteorológicos. A quantidade de chuvas durante o ano tende a apresentar desigualdades, principalmente em ambientes tropicais como o nosso. Por esse motivo, temos uma estação seca e outra úmida, esta última assim denominada em contraposição à primeira, por causa da maior concentração de chuvas. Já em diversas áreas do Continente Europeu, é possível encontrarmos quatro estações bem delimitadas, com relativamente boa distribuição da quantidade de chuvas ao longo do ano. O resultado de uma precipitação de 1.000 milímetros de chuva distribuídos uniformemente durante o ano é muito diferente desses mesmos 1.000 mm caindo em meses restritos do ano, não é mesmo? Este ritmo estacional ou sazonal de umidade regula as atividades dos organismos (principalmente a reprodução), mais ou menos como o ritmo sazonal de luminosidade e temperatura. Mas é claro que, nas zonas tropicais, a grande incidência de luz e as altas temperaturas médias anuais não se tornam tão limitantes nos sistemas ecológicos quanto nas zonas temperadas.

Agora, observe atentamente o que vem a seguir: a situação biótica (a dinâmica e as estratégias de sobrevivência dos organismos vivos) não é determinada **exclusivamente** pelo balanço entre a precipitação (chuvas) e a evapotranspiração potencial. É a *umidade relativa* que atua mais efetivamente nas situações bióticas. Vamos, então, definir melhor a umidade relativa: a **umidade absoluta** é a quantidade de água no ar. Mas como a quantidade de vapor d'água no ar totalmente saturado (cheio de água) varia com a temperatura e a pressão, a **umidade relativa** é a quantidade real de vapor d'água presente no ar, quando comparada com a de um ar totalmente saturado (100% de vapor d'água). Assim, quando você ouve nas previsões meteorológicas "...umidade relativa do ar, 80%", está ouvindo que o valor da umidade do ar é de 80%, em relação ao valor de 100%, quando o ar está totalmente saturado de vapor d'água. Fácil, não? Dizemos que a relação da umidade com a temperatura do ar é uma relação direta porque quanto maior a temperatura do ar, maior a sua capacidade de conter umidade.

O ritmo diário da umidade, alta à noite e baixa durante o dia, juntamente com a temperatura e a luminosidade, ajuda a regular as atividades dos organismos e a limitar a sua distribuição.

A umidade é especialmente importante na modificação dos efeitos da temperatura: os animais regulam suas atividades locomovendo-se para evitar a desidratação. Eles se deslocam para lugares mais protegidos ou exercem a maior parte de suas atividades à noite. Como as plantas não se locomovem, entre 97% e 99% da água que absorvem se perdem por evaporação das folhas (transpiração). Esse processo é uma característica muito particular da dinâmica energética nos ecossistemas terrestres.

Aqui você pode estar pensando que a transpiração é, no fundo, um processo muito prejudicial, já que proporciona uma grande perda da água absorvida pelas plantas. Depende do ambiente como um todo. Mas tem aspectos altamente positivos também. Um desses aspectos positivos é que a transpiração resfria as folhas quando a temperatura externa está muito alta, além de ajudar na ciclagem dos nutrientes. Em florestas úmidas (caso da floresta amazônica), a interação entre ventos, chuvas e evaporação permite que as folhas aproveitem ao máximo a alta entrada de energia solar do dia tropical. E isso é tão importante que a evapotranspiração é considerada um subsídio de energia para o ecossistema. Complicou? Nem tanto. Vamos esclarecer melhor, então.

Qualquer fonte de energia (diferente da energia solar) que reduza o custo de automanutenção interna do ecossistema denomina-se fluxo de energia auxiliar ou **subsídio de energia**. Na verdade, é como se os sistemas ecológicos **trabalhassem** no sentido de manter uma ordem energética interna, diminuindo a desordem. Então, em florestas tropicais úmidas, o excesso de água no material vegetal poderia se converter em fator seriamente limitante para suas funções vitais, de modo que a transpiração ajuda não só a manter os níveis de temperatura da folha dentro dos limites toleráveis, como proporciona o máximo aproveitamento da energia radiante solar. Lembra-se por quê? Reveja seus conceitos relacionados a esta parte observando novamente a **Figura 6.3!**

## SALINIDADE

Neste ponto dos nossos estudos, espero que você tenha verificado uma importante constatação nas respostas dos seres vivos aos fatores do seu ambiente: a relação de um organismo com qualquer fator depende de sua relação com todos os outros fatores. Foi assim com a luz influenciando a temperatura, a água com a temperatura e a umidade e, finalmente, a influência da água na salinidade, que estudaremos a seguir.

A salinidade é definida, de modo muito geral, como a concentração de sais (geralmente seus íons) em determinada quantidade de líquido, normalmente a água.

Deixados por si próprios, os íons sofrem **difusão** através das membranas semipermeáveis dos organismos, passando de pontos de alta concentração para os de baixas concentrações, tendendo ao equilíbrio. A água também se move através das membranas, por **osmose**, em direção aos pontos de alta concentração iônica, tendendo a diluir as substâncias dissolvidas, logo buscando o equilíbrio!

Observe que nós descrevemos dois processos passivos, a difusão e a osmose. Por que passivos? Simplesmente porque não há gasto de energia, eles **tendem** normalmente **ao equilíbrio**; lembra dos nossos estudos anteriores? E para os organismos, essa situação é interessante para sua sobrevivência e manutenção? Você já sabe que não. Para sobreviver e manter-se, os organismos devem colocar-se longe do equilíbrio. E como funciona nesse caso? A manutenção de um desequilíbrio iônico entre os organismos (regulação osmótica) agindo contra as forças de difusão e de osmose exige gasto de energia e normalmente é realizada por órgãos especializados em retenção e excreção de sal.

Um bom exemplo disso são os peixes de água doce. Eles ganham água continuamente por osmose, através da boca e das guelras, que são as superfícies muito expostas. Desse modo, seu corpo tende a ficar **HIPOTÔNICO** em relação ao meio. Para regular esta situação, eles eliminam água através da urina.

### MEIO HIPOTÔNICO

Menor concentração de sais ou de íons em relação ao meio externo.

Mas se os peixes não retivessem íons de maneira seletiva, porque os íons também são importantes para os processos metabólicos dos organismos, terminariam como um saco cheio d'água, sem vida (RICKLEFS, 1993). Os rins dos peixes, então, retêm os sais necessários, removendo-os da urina ativamente (com gasto de energia), lançando-os diretamente na corrente sanguínea.

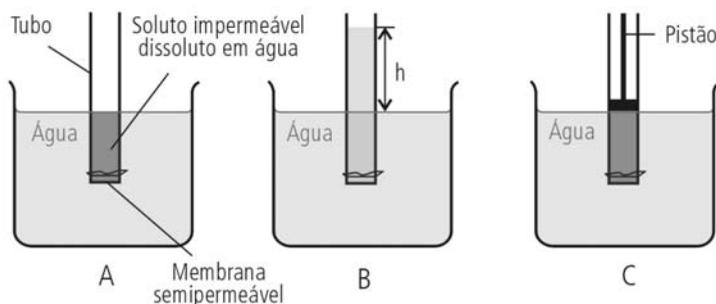


Figura 6.4: Visualização esquemática da osmose e da pressão hidrostática.

Observe a Figura 6.4. São três tubos de ensaio, cada um deles imerso em um recipiente com água. Os tubos estão invertidos, de modo que no orifício de saída de cada um está colocada uma membrana semi-permeável, como as membranas celulares dos organismos. Nos três tubos foram colocados solutos dissolvidos em água. Como já sabemos, na situação A, a água fluirá por **OSMOSE** do compartimento externo para dentro da membrana, pois o tubo está hipertônico em relação a esse compartimento, ou seja, a solução do interior do tubo está mais concentrada de sais ou íons do que o compartimento externo, e a água irá igualar a concentração ao longo da membrana, buscando o equilíbrio. Em B, temos a situação de equilíbrio. A água já se movimentou para dentro da solução do composto não-permeável, tornando-a diluída. No equilíbrio, a altura da coluna  $h$  contrabalança exatamente a pressão que faz a água fluir de onde está mais concentrada (o compartimento externo, no qual o tubo está imerso) para uma zona onde sua concentração seja menor (o próprio tubo). Em C, foi utilizado um pistão, que empurrará a água, vencendo o fluxo osmótico. É a **PRESSÃO HIDROSTÁTICA**, que é exatamente igual àquela altura  $h$  da situação B.

#### OSMOSE

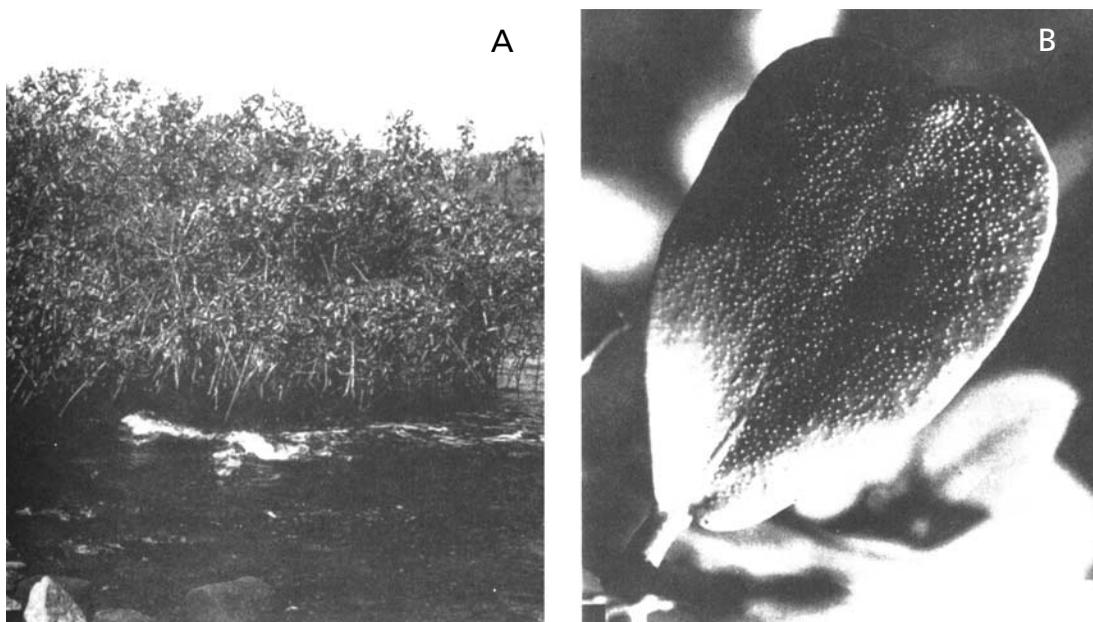
Fenômeno em que ocorre difusão de água em maior quantidade da solução hipotônica para a hipertônica, através de uma membrana semipermeável.

#### PRESSÃO HIDROSTÁTICA

A diferença de pressão entre dois pontos, situados em alturas diferentes, no interior de um líquido homogêneo em equilíbrio, é a pressão hidrostática exercida pela coluna líquida entre os dois pontos.

Agora você entendeu que, para manter a concentração dos sais ou íons existentes na situação A, foi necessário **vencer** a pressão da água ou pressão hidrostática. E para vencer a pressão hidrostática, mantendo a concentração dos compostos existentes no tubo de ensaio, foi necessário gastar energia, utilizar uma força ou pressão. Nas células vegetais e animais, esse equilíbrio salino funciona de maneira muito semelhante ao que você verificou na **Figura 6.4**.

A retenção de íons é crítica para organismos terrestres e de água doce. Animais terrestres adquirem os íons da água que bebem e da comida que consomem, mas a deficiência de sódio normalmente os força a obter sal de fontes minerais como as salinas, por exemplo. As plantas absorvem os íons dissolvidos na água do solo, através das raízes. Mas em ambientes salinos, elas bombeiam ativamente o excesso de sal de volta à solução do solo, fazendo com que as raízes funcionem da mesma maneira que os rins dos animais. Em situações de extrema salinidade do meio, como é o caso dos nossos conhecidos manguezais, as plantas secretam, “transpiram” o excesso de sal através da superfície das folhas. Na **Figura 6.5**, você pode observar um ambiente de manguezal, e inclusive perceber a presença das partículas de sal na superfície foliar.



**Figura 6.5:** Exemplo do ecossistema de manguezal (a) e exsudação do sal em superfície foliar (b).

A contribuição para a presença de sais nos ambientes pode estar ligada a duas fontes principais: erosão de rochas e deposição do material atmosférico. O movimento das ondas do mar, por exemplo. Combinadas com o vento, essas ondas jogam partículas de sal a distâncias consideráveis, alcançando a vegetação de restinga das dunas adjacentes aos sistemas marinhos. Essa deposição de sal a distância é chamada **salsugem**, na qual as partículas de sal pegam uma “carona” nas gotículas de água impulsionadas pelo vento.

Os oceanos recebem aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de sais por ano, sendo que perto de 96% desse total permanecem na água e os outros 4% retornam aos continentes por evaporação.

Mares pouco profundos e com altas taxas de evaporação, como são os mares tropicais, costumam ser mais salgados que os mares polares, nos quais a fusão das geleiras libera grandes quantidades de água doce, diluindo muito os sais. Por outro lado, oceanos muito profundos, expostos a uma grande quantidade de chuvas, alta umidade relativa do ar e baixas temperaturas médias anuais costumam ser menos salinos. Desse modo, a salinidade pode ser definida e expressa como a quantidade de sais dissolvidos em água, com unidade em partes de sal por mil partes de água. Quando dizemos que a salinidade em alguns oceanos está entre 35 e 37 ppm (partes por mil), queremos dizer que existem 35-37 gramas de sais dissolvidos em 1.000 miligramas (ou mil mililitros) de água.

Embora os organismos, como já vimos, possuam estruturas altamente especializadas para o equilíbrio salino, ocorrem impactos negativos relacionados às atividades humanas. Uma dessas atividades é a agricultura. Nas plantas, aumentos severos de salinidade podem ser observados através da água de irrigação. Esse tipo de atividade faz com que, após a evaporação, a água utilizada para irrigar cultivos comerciais introduza no solo grandes quantidades de sais, o que provoca muitas vezes a perda de produtividade dessas terras.

**RESUMO**

- Os sistemas físicos seguem sempre o caminho do equilíbrio, enquanto os sistemas vivos empenham energia para manter-se longe do equilíbrio;
- A água é o mais importante fator físico porque todos os processos da vida ocorrem em meio aquoso;
- O processo de evapotranspiração nas florestas tropicais é muito importante na manutenção do sistema;
- A regulação da salinidade, temperatura e umidade influenciada pela água é um bom exemplo da interação de fatores atuando sobre os organismos.

**EXERCÍCIOS**

1. Diante do que você já estudou até agora, quais os dois fatores físicos de maior importância na manutenção, sobrevivência e distribuição dos seres vivos?
2. Como você separaria, em poucas palavras, os seres vivos dos não-vivos?
3. Por que os seres vivos devem gastar energia para se manter longe do equilíbrio?
4. Por que a água é conhecida como solvente universal?
5. Como se processa a regulação térmica de uma planta influenciada pela água?
6. Por que pequenos insetos e objetos muito leves não afundam na água?
7. O que queremos dizer com a frase “a umidade relativa do ar estava em 80% no Rio de Janeiro”?
8. Como os animais evitam a desidratação, quando expostos a situações de muita radiação luminosa e ventos?
9. E as plantas, como evitam o superaquecimento sob as mesmas condições descritas acima?
10. De que maneira os animais vencem as forças de difusão e osmose no controle da retenção e excreção de sais?
11. Como você definiria a pressão osmótica em uma célula viva?
12. Qual o impacto da salinização por irrigação nos solos de agricultura?

### **AUTO-AVALIAÇÃO**

- Se você compreendeu que a atuação dos fatores físicos se expressa muito mais em seu conjunto, em sua interação, concluindo que essa atuação conjunta dos fatores é capaz de direcionar a distribuição geográfica dos seres vivos em busca da manutenção de suas faixas de tolerância;
- Se você já consegue explicar termodinamicamente a “bagunça” do seu quarto, parabéns! Você está preparado para a próxima aula, na qual discutiremos questões relativas à adaptação dos seres vivos. Mas não esqueça: não deixe de procurar o seu tutor para qualquer dúvida!

## Substratos sólidos: solos e sedimentos

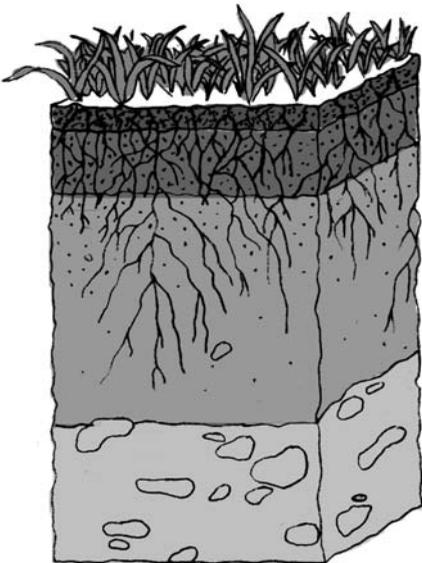
AULA

7

# objetivo

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Conhecer as principais características dos solos e sedimentos e sua importância ecológica e ambiental.



## INTRODUÇÃO

Nesta aula, estudaremos as principais características estruturais e funcionais dos substratos sólidos, solos e sedimentos. Procuraremos traduzir a importância desses compartimentos como suporte à vida e, finalmente, discutiremos algumas perturbações antrópicas típicas, associadas aos solos e sedimentos.

## APRESENTAÇÃO INICIAL

Seja qual for o sistema ambiental que se pretenda estudar, aquático ou terrestre, os meios hídrico e atmosférico terão na sua base inferior um compartimento limítrofe, sólido, que pode ser rocha, sedimento ou solo. A princípio, as geleiras poderiam também integrar um tipo de substrato sólido, sendo especialmente importante para os organismos associados às altas latitudes do nosso planeta. Entretanto, por serem essencialmente constituídas de água, representam mais propriamente um reservatório do ciclo hidrológico e, diferente dos solos e sedimentos, não apresentam uma gênese relacionada ao intemperismo das rochas.

Do ponto de vista ecológico, os solos e os sedimentos podem ser considerados compartimentos relativamente bioativos ou menos estanques do que as rochas, estando associados, respectivamente, aos ambientes terrestre e aquático. Diferente das rochas, os solos e sedimentos são, via de regra, substratos não consolidados, constituídos de partículas de diferentes tamanhos (por exemplo, < 0,002 a > 20 mm) e apresentando diferentes proporções de material inorgânico e orgânico. Entre as partículas e aglomerados há espaços denominados poros, os quais são preenchidos por água e/ou ar. Portanto, os principais constituintes dos solos e sedimentos podem ser resumidos de forma extremamente simples como se segue:

Solos [sólidos (inorgânicos e orgânicos) + poros (água e ar)]
Sedimentos [sólidos (inorgânicos e orgânicos) + poros (água)]

## FORMAÇÃO

A formação de solos/sedimentos ocorre em função de processos interativos físicos, químicos e biológicos sobre uma rocha matriz, organizados sob contextos ambientais muito diversos e, por isso mesmo, ricos. O intemperismo resultante dessas interações leva à fragmentação e decomposição das rochas, viabilizando a formação dos solos e sedimentos. A natureza da rocha matriz, a ação do clima, da biota e o relevo são fatores importantes para a formação e caracterização dos solos. O transporte eólico (isto é, pelos ventos) e erosivo e a consequente deposição de partículas no meio hídrico constitui uma importante fonte de sedimentos. Certos organismos podem atuar, entretanto, num sentido inverso ao intemperismo e à fragmentação de rochas, propiciando a edificação de rochas calcárias (leia o Texto Complementar 1: “Substrato Sólido Biogênico: O Caso dos Recifes de Coral”).

### TEXTO COMPLEMENTAR 1.

#### SUBSTRATO SÓLIDO BIOGÊNICO: O CASO DOS RECIFES DE CORAL

Curiosamente, num sentido inverso à formação de solos e sedimentos, certos organismos podem participar ativamente da edificação de rochas. Dessa forma, nos recifes de coral a formação dos bancos de carbonato de cálcio resulta de um processo essencialmente biogênico, edificados por corais escleractínios e algas coralinas, os quais, após a sua morte, sofrem perfuração e ataque por organismos bivalves, poríferos, briozoários além de outros organismos córneos, gerando nesse processo fragmentos calcários de diferentes tamanhos. A ação fotossintética de algas também favorece a transformação de íons bicarbonato da água do mar a carbonatos, os quais, a um pH mais elevado, apresentam menor solubilidade e precipitam na forma de  $\text{CaCO}_3$ , preferencialmente. A associação entre os finos depósitos de calcita e os fragmentos calcários e biogênicos levam à cimentação e consolidação desses substratos, constituindo freqüentemente um processo de crescimento vertical do fundo para a superfície. Logicamente, a formação dos ecossistemas de coral necessita também de condições físicas favoráveis, como águas pouco profundas (limite aproximado de 60 m), temperatura relativamente elevada ( $> 20^\circ\text{C}$ ) e adequada incidência de radiação fotossinteticamente ativa.

Fonte: Barnes, R. (1984) Zoologia dos Invertebrados.

## SUPORTE À VIDA

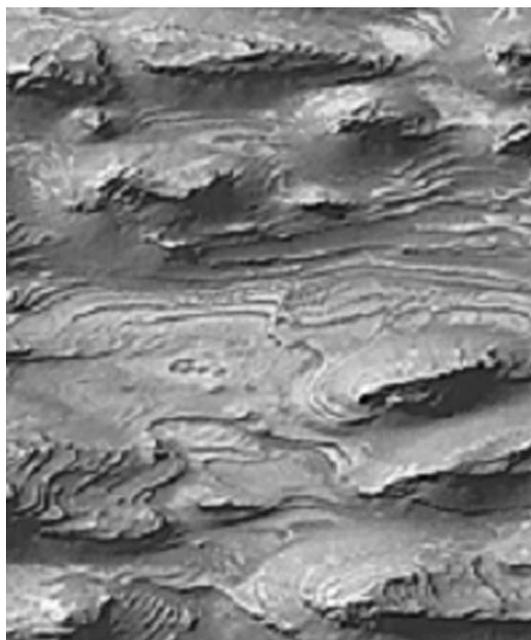
Solos e sedimentos representam compartimentos bioativos e, conseqüentemente, integram um papel de suporte à vida. Organismos tipicamente encontrados nos solos e sedimentos incluem bactérias, fungos, protozoários, vermes (por exemplo, nematóides), oligoquetas (por exemplo, minhocas) e artrópodes (por exemplo, formigas, ácaros). Muitos répteis, aves e mamíferos também se utilizam do solo para abrigo (tocas), reprodução (postura de ovos) ou simplesmente como refúgio fisiológico (economia de água). A maior biomassa viva do planeta também está associada aos solos, sendo efetivamente representada pelas plantas terrestres.

Como sabemos, os vegetais superiores vivem sobre os solos, enraizados, de onde retiram a água e os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento. Parte dessa produção é reintroduzida nas camadas superficiais dos solos como material vegetal morto (por exemplo, galhos, gravetos, folhas, cascas de frutos), constituindo a serrapilheira, que é especialmente abundante em florestas. Essa matéria orgânica morta sofre fragmentação, humidificação, sendo freqüentemente digerida por organismos comedores de detritos, mineralizada por ataque microbológico, e, então, reciclada pelos vegetais.

Nos sistemas aquáticos, os nutrientes depositados nos sedimentos representam também uma importante fonte de matéria para os produtores primários (por exemplo, fitoplâncton, macrófitas submersas e flutuantes) e de matéria e energia para os organismos detritívoros. A circulação dos nutrientes acumulados nos sedimentos é, portanto, importante para a ciclagem de elementos através de processos de produção e mineralização da matéria orgânica nos ambientes aquáticos. Essa circulação é basicamente suportada por processos físicos (gravidade, ventos, correntes), ainda que processos biológicos (produção de exsudatos e excretas por organismos animais e vegetais, migrações verticais do plâncton, bioturvação por organismo bentônicos) também possam desempenhar um importante papel na circulação de nutrientes em sistemas aquáticos.

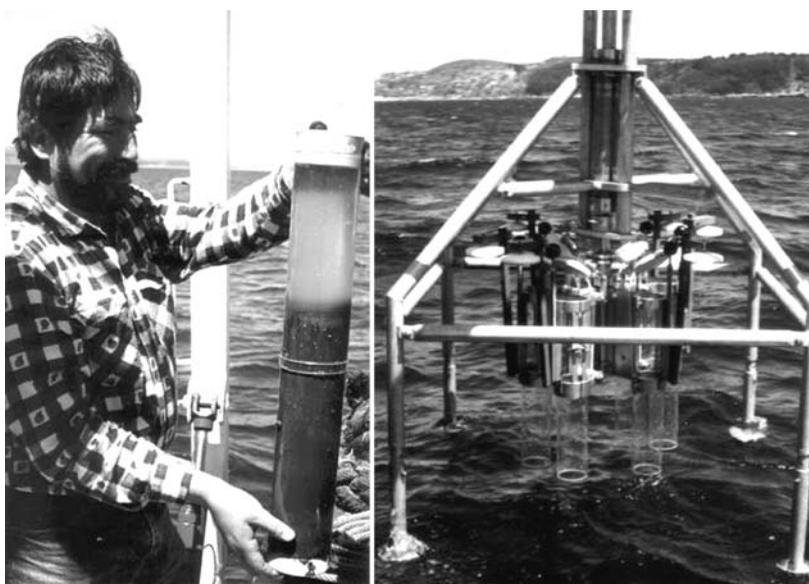
## CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS A SOLOS E SEDIMENTOS

Solos e sedimentos são compartimentos pouco móveis no espaço, e representam, portanto, um referencial de análise ambiental bastante diferenciado e complementar em relação a outros compartimentos mais dinâmicos ou fluidos como água e atmosfera. Nesse sentido, se queremos avaliar de forma integrada a qualidade ambiental de um ecossistema, é fundamental ter noções sobre os aspectos mais relevantes que envolvem a caracterização de solos e sedimentos. Se considerarmos que a organização dos ecossistemas deve ser compreendida como uma interação sucessional/evolutiva entre os meios físico e biológico, fica evidente então a necessidade de integrarmos esses compartimentos a modelos de estudo ecológico.



**Figura 7.1:** Exemplo de rocha tipo sedimentar proveniente do planeta Marte. A formação dessas camadas laminadas, semelhantes às encontradas em sedimentos lacustres na Terra, sugere ter havido água (nesse caso, lagos) no “Planeta Vermelho”. A importância desse fato estende a possibilidade de ter havido vida naquele planeta. (Fonte: [science.nasa.gov/headlines/images/mars\\_water/sediments.jpg](http://science.nasa.gov/headlines/images/mars_water/sediments.jpg)).

Além da importância biofísica e ecológica, solos e sedimentos podem ainda funcionar como arquivos de informação ambiental através da preservação de certos constituintes orgânicos e inorgânicos, biogênicos e abiogênicos, incorporados ao longo de seus perfis verticais (Figura 7.2) e associados ao tempo recente, histórico e/ou remoto.



**Figura 7.2:** Um exemplo de sistema de coleta de perfil de sedimento (testemunho) antes (esquerda) e após a obtenção da amostra (direita). Note a interface água-sedimento. (Fonte: [www.udec.cl/~fondap/photos/imagindice.html](http://www.udec.cl/~fondap/photos/imagindice.html)).

Há diversos tipos de solos e sedimentos. No caso dos sedimentos, não há o desenvolvimento de uma classificação extensiva como se observa para os solos. Ainda assim, podemos dizer que há uma série de características passíveis de análises comuns (por exemplo, cor, textura ou granulometria, porosidade).

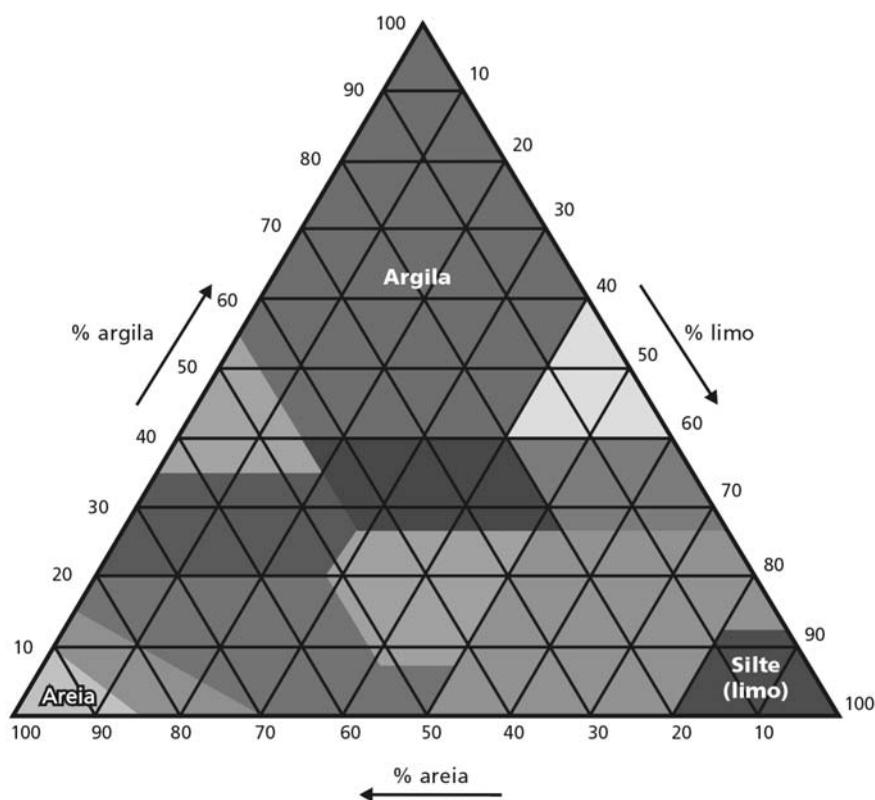
Obviamente, as adaptações e o desenvolvimento de comunidades biológicas devem responder ou apresentar compatibilidades aos vários tipos de solos e sedimentos. Uma das características de mais fácil avaliação fundamenta-se em descrever e/ou avaliar a cor dos solos e sedimentos. No caso dos solos, existem tabelas específicas que apresentam escalas padronizadas de cor (por exemplo, “tabela Munsell”). Entretanto, a simples evidência de um predomínio de tom escuro, vermelho ou cinza pode indicar, respectivamente, uma importante participação de matéria orgânica (por exemplo, húmus), ferro ou se relacionar a solos encharcados.

Pedras	$\varphi > 20 \text{ mm}$
Cascalho	$20 > \varphi > 2 \text{ mm}$
Areia (fina + grossa)	$2 > \varphi > 0,02 \text{ mm}$
Silte* (ou limo)	$0,02 > \varphi > 0,002 \text{ mm}$
Argila	$\varphi < 0,002 \text{ mm}$

**Tabela 7.1:** Classe textural de partículas de solos/sedimentos segundo a classificação utilizada pela Sociedade Internacional da Ciência do Solo. A classificação utilizada pela Sociedade Americana de Solos difere da utilizada pela Sociedade Internacional da Ciência do Solo no seguinte ponto: no primeiro caso a fração silte estende-se até 0,05 mm (50  $\mu\text{m}$ ) e, portanto, a fração areia inicia-se a partir dessa mesma dimensão.

A **textura** se relaciona à composição granulométrica de solos e sedimentos, isto é, a participação relativa — baseada por peso — de diferentes classes de tamanho de partículas. Na **Tabela 7.1**, são mostrados, seguindo a classificação da Sociedade Internacional da Ciência do Solo, os limites e as terminologias associadas a cinco frações granulométricas. Uma referência a solo/sedimento arenoso, argiloso ou limoso (silte) indica uma classe textural predominante, e esta pode ser identificada graficamente através de um diagrama triangular próprio (**Figura 7.3**). A textura é uma característica especialmente importante do ponto de vista reativo, físico-químico, uma vez que a razão superfície/volume de uma partícula específica tende a ser tanto maior quanto menor for a dimensão da mesma. Nesse sentido, a eficiência para concentrar íons, moléculas e substâncias em solos e sedimentos deve estar em grande parte associada a uma maior ou menor área superficial do material particulado normalizado por peso. Para se ter uma idéia, dependendo do tamanho médio de partículas de argila, consideramos que um grama corresponderá a uma área superficial total tipicamente entre 25 e 900  $\text{m}^2$ .

Adicionalmente, no caso dos sedimentos, a composição granulométrica mais grosseira ou mais fina pode, respectivamente, se relacionar a ambientes de deposição de maior ou menor energia hidrodinâmica. Além disso, a morfologia das partículas representa outra fonte de informação de interesse ecológico. Por exemplo, grãos de quartzo podem ser classificados em função da observação de padrões de superfícies mais ou menos angulosos ou formas prismáticas ou arredondadas. Essas características dão informações sobre os processos e o grau de retrabalhamento desses grãos; se são, por exemplo, mais ou menos desgastados.



**Figura 7.3:** Diagrama triangular mostrando as principais classes de textura dos solos e sedimentos e composições típicas encontradas nesses tipos de amostras. (Fonte: <http://edafologia.ugr.es>).

A porosidade relaciona-se ao volume ocupado pelos espaços entre as partículas e agregados constituintes dos solos/sedimentos em relação ao volume total de uma amostra específica. Esses espaços podem ser preenchidos por água e/ou ar nos solos, e nos sedimentos essencialmente por água. Teores de umidade e aeração do solo, bem como a capacidade para reter ou drenar água (infiltrações), têm relação com a porosidade, além de outras características associadas, como grau de compactação do solo, consistência, textura, composição química etc. Nos solos, a porosidade é responsável por tipicamente ~ 40-60% do volume total. A quantidade de água em sedimentos e a proporção de água e ar nos solos é, no entanto, variável não só entre substratos (diferentes amostras), mas também num mesmo perfil de substrato, podendo ainda ser dinamicamente afetada por fenômenos específicos.

Por exemplo, num episódio de chuva, os poros tendem a ser preenchidos por água e, com o cessar da chuva, os espaços tendem a ser ocupados por ar em função de processos de infiltração e evaporação da água. Nos solos, o conteúdo de água total resulta da composição de tipos diferenciados de interação entre a água e o substrato sólido. Assim, encontramos água livre que circula por força da gravidade, água retida por capilaridade, água **HIGROSCÓPICA** e água efetivamente combinada às matrizes sólidas. Esta última não se apresenta biodisponível para as plantas. Em situações ambientais extremas, onde houver uma baixíssima disponibilidade de água nos solos, o estabelecimento e sucesso de espécies de plantas dependerá de adaptações fisiológicas e morfológicas muito especializadas no sentido de aumentar a pressão osmótica nos tecidos vegetais e promover a economia de água. Normalmente, a pressão osmótica de vegetais não submetidos a estresses de falta d'água estende-se de 15 a 25 atmosferas, mas pode ser igual ou mesmo superior a 50 atmosferas em plantas do deserto! Lembre-se que a pressão atmosférica ao nível do mar equivale a apenas 1 atmosfera (1 atm, ou 760 mm Hg).

#### **HIGROSCÓPICA**

Umidade presente em constituintes sólidos (ex. solos, constituintes minerais e orgânicos) e devida à absorção de vapor de água atmosférica.

**FOLHAS  
CORIÁCEAS**

Semelhante à couro; de consistência firme, ainda que com certa flexibilidade, como o couro (ex. abacateiro).

As adaptações relacionadas à economia de água pelos vegetais são muitas, e incluem, por exemplo, a transformação de folhas em espinhos, **FOLHAS CORIÁCEAS** e presença de pêlos e cutículas, produção de resinas impermeáveis, estômatos mais interiorizados e/ou localizados na face inferior das folhas, metabolismo fotossintético do tipo C-4 e CAM.

Nos vegetais que apresentam metabolismo C-4, a fixação do CO<sub>2</sub> ocorre nas células fotossintéticas presentes no mesófilo da folha. O carbono fixado na forma de malato migra para as células envolventes da bainha onde ocorre então a liberação e refixação do CO<sub>2</sub> através do ciclo de Calvin.

Nas plantas do metabolismo CAM o período de fixação via fosfoenolpiruvato carboxilase e RuBisCO estão separados pelo tempo. Nessas plantas, a fixação ocorre durante a noite quando os estômatos estão abertos via carboxilação do fosfoenolpiruvato e acúmulo do malato, assim formado, nos vacúolos. Durante o dia, os estômatos se fecham para minimizar a perda de água, e o malato é transportado para o citossol onde é descarboxilado e o CO<sub>2</sub> é refixado pela RuBisCO.

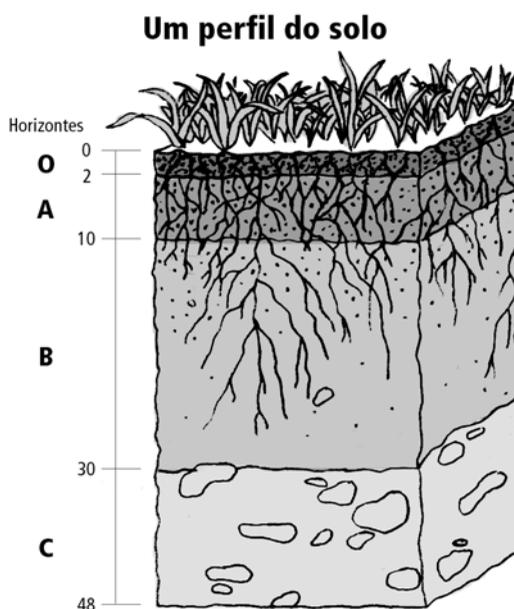
As vantagens dos metabolismos CAM e C-4 são: alta taxa fotossintética (difícilmente atinge-se a saturação da fotossíntese), ausência de fotorrespiração, alta eficiência na utilização da água, alta tolerância salina e baixo ponto de compensação para o CO<sub>2</sub>. A desvantagem é o alto custo energético e o conseqüente menor rendimento quântico de fixação de CO<sub>2</sub>. Além disso, com exceção do abacaxi, as plantas de metabolismo CAM não são muito produtivas em termos de biomassa. Os vegetais de metabolismo C-4 são altamente produtivos.

Nesse ponto, é importante percebermos os desdobramentos biológicos e ecológicos associados à disponibilidade de água nos solos.

Nos sedimentos, a água que embebe a matriz sólida é tipicamente muito distinta das águas superficiais, “livres”, que encobrem esses substratos, e devido a sua baixíssima mobilidade, os processos de troca de substâncias dissolvidas se dá basicamente por gradientes de concentração, por difusão. Essa “água de poro” (do inglês *porewater*) presente nos sedimentos é denominada água intersticial. Tipicamente, as águas intersticiais apresentam característica redutora e anóxica em função de processos de decomposição da matéria orgânica depositada e incorporada a esses substratos, sendo, conseqüentemente, ricas em nutrientes minerais e orgânicos.

Muitas outras características, certamente importantes, poderiam ser ainda explicitadas para uma análise de solos/sedimentos tais como consistência (resistência dos aglomerados de partículas à ruptura), acidez (concentração de íons  $H^+$ ), potencial redox (ambiente oxidante ou redutor), teor de matéria orgânica (húmus, resíduos vegetais e animais) e mineralogia (composição de espécies minerais), mas no momento é suficiente e apropriado ter noções sobre as várias possibilidades de caracterização dos substratos sólidos.

Devemos, entretanto, ter em mente que, como já salientado, tanto solos como sedimentos comumente apresentam estratos heterogêneos ao longo de perfis verticais. Dessa forma, as características físicas, químicas e biológicas de solos e sedimentos podem sofrer transições abruptas, ou não, à medida que analisamos sucessivos estratos ao longo de um perfil de amostra. No caso dos solos, os principais horizontes relacionam genericamente quatro possibilidades, como ilustrado na



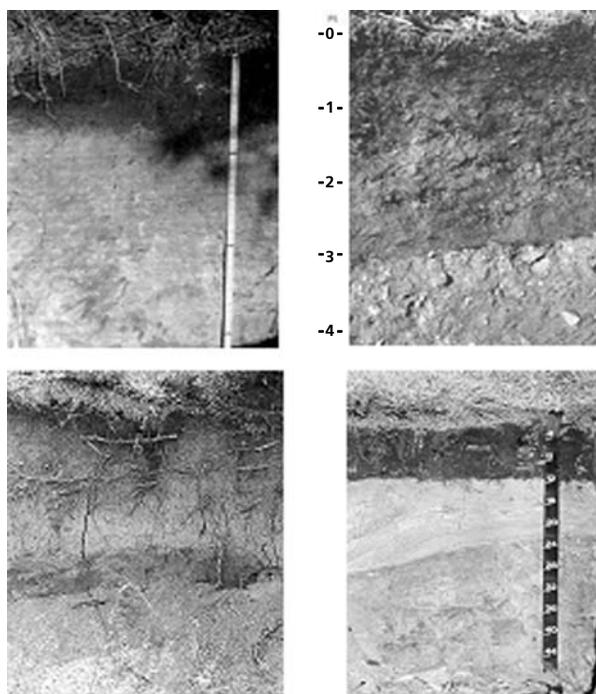
**Figura 7.4:** Representação esquemática dos principais horizontes comumente encontrados em solos (para maiores detalhes, ver **Tabela 7.2**). (Fonte: nesoil.com/images/profile.gif). Espessuras em polegadas.

**Tabela 7.2:** Classificação e características associadas aos principais horizontes encontrados em solos.

Figura 7.4 e resumido na Tabela 7.2.

Horizonte	Características gerais
O	Normalmente delgado e caracterizado pela presença de produtos orgânicos e/ou restos de folhas e galhos – por exemplo, serrapilheira – estes últimos típicos em solos de florestas e matas.
A	Constitui a camada mineral mais próxima da superfície e caracteriza-se pelo acúmulo de matéria orgânica em decomposição, parcialmente humificada (húmus), sendo a zona de maior atividade biológica.
B	Possui materiais translocados do horizonte A como carbonatos, compostos de ferro, argilo-minerais e situa-se em uma zona de transição entre este e o horizonte C.
C	Corresponde ao regolito, essencialmente constituído por fragmentos da rocha matriz, sendo pouco alterado pelos processos de formação do solo, e caracteristicamente pobre em material orgânico, às vezes há presença de raízes vegetais grandes.

A caracterização e a identificação dos horizontes de uma amostra de solo contribuem para uma classificação referenciada e comparativa (Figura 7.6). Especialistas em pedologia chegam a trabalhar com uma chave de classificação mais complexa e pormenorizada do que a apresentada aqui.



**Figura 7.5:** Exemplos de diferentes perfis de solos, indicando variações verticais, constituindo os horizontes. Note as diferentes características de cor, textura e de estrutura entre solos e para cada perfil de solo individualmente. (Fontes: [www.earthsky.org/2000/Images/1029.sc2.jpg](http://www.earthsky.org/2000/Images/1029.sc2.jpg); <http://pas.byu.edu/AgHrt100/classif.htm>; [nesoil.com/images/enosburg.jpg](http://nesoil.com/images/enosburg.jpg)).

## ASPECTOS FUNCIONAIS

### Disponibilidade nutricional

Um aspecto importante e funcional dos solos é que estes agem como matrizes trocadoras de cátions com as plantas. Normalmente, as plantas liberam íons  $H^+$  para o meio externo e assimilam cátions básicos como Mg, Ca, K, Na, além de elementos-traço e amônio, e em menor proporção — comparativamente aos cátions básicos — ânions ácidos. Esses íons se encontram livres em uma solução de solo ou na água intersticial de sedimentos e sua composição e concentrações tendem a refletir o equilíbrio entre cátions adsorvidos às partículas de solos/sedimentos, especialmente argilo-minerais, as quais apresentam carga líquida negativa. Nas soluções de solo (bem como em águas intersticiais), encontramos certos gases dissolvidos, como por exemplo, dióxido de carbono, nitrogênio, às vezes metano, gás sulfídrico, além de constituintes orgânicos como substâncias húmicas, proteínas, carboidratos e ácidos produzidos por fermentações, e nutrientes aniônicos provenientes da mineralização da matéria orgânica e do intemperismo de rochas — por exemplo, nitratos, fosfatos, sulfatos. Essas soluções são, como anteriormente salientado, freqüentemente concentradas em nutrientes orgânicos e inorgânicos.

### Maturidade

Temporalmente, os solos estão expostos a perdas e a ganhos naturais de materiais, minerais e nutrientes, em geral. Os solos podem ser considerados maduros quando há, tomando-se por base um determinado elemento de referência, um equilíbrio estacionário, isto é, as perdas por lixiviação, erosão, assimilação biológica equivalem às entradas proporcionadas pelo intemperismo de rochas matrizes ou parentais (freqüentemente associada ao subsolo), pela deposição úmida e seca, e pela mineralização da matéria orgânica morta. A avaliação desse tipo de balanço pode ser feita utilizando-se determinados elementos constitutivos de rochas matrizes. Certos cátions básicos como o Ca, Na, K e o Mg, por sofrerem processos de entrada e saída, por via física e biológica, exemplificam elementos quantitativos convenientes ao objetivo de analisar balanços de massa em solos.

Não obstante, muitos solos podem passar por processos de acúmulo ou de perda líquida de elementos/nutrientes ao longo de muitos e muitos anos. Assim, há toda sorte de solos: jovens, imaturos, velhos, maduros, improdutivos e produtivos.

Os fatores determinantes a favor de um ou outro extremo característico compõem aspectos relacionados à composição geológica, geomorfológica, topográfica, climática e biológica, todos integrados no tempo. Os principais processos de transporte de materiais particulados dos solos envolvem a participação de ventos e de chuvas, estas adicionalmente dissolvem certos elementos mobilizando-os através de processos de **PERCOLAÇÃO**, infiltrações e escoamentos de água sub e superficial. Esses aspectos são importantes não só do ponto de vista ambiental, mas também do ponto de vista econômico e da sustentabilidade das populações humanas. Pressionadas pela diminuição de solos produtivos e não contaminados, atender à crescente demanda de produção agrícola é um desafio também crescente para as gerações futuras.

#### **PERCOLAÇÃO**

Tipo de escoamento laminar que se produz nos interstícios de um material poroso saturado sob a ação de gradientes hidráulicos moderados, dirigidos principalmente para baixo.

#### **Perturbações antrópicas**

Diferentemente dos sistemas naturais, nos quais os processos de produção e mineralização da matéria orgânica são relativamente acoplados, seguindo fluxos regulados por comunidades biológicas adaptadas e complementares, formadas por um processo sucessional, nos sistemas antrópicos de produção, as monoculturas representam a tônica dos modelos seguidos. Nesse caso, os nutrientes do solo assimilados pelas cultivares são em grande parte removidos para o aproveitamento dos produtos orgânicos gerados. Nas culturas anuais, a biomassa remanescente, após a conclusão de uma colheita, é ainda muitas vezes submetida à ação do fogo a fim de limpar e preparar os campos agricultáveis para um novo plantio. Essa prática faz com que os nutrientes orgânicos sejam abruptamente disponibilizados na forma inorgânica. Entretanto, no processo de queima, muitos organismos importantes à manutenção das características dos solos (como vermes, fungos e bactérias) são também eliminados e, adicionalmente, a ausência de vegetação faz com que os minerais disponibilizados não sejam eficientemente retidos, sendo exportados por processos de erosão e **LIXIVIAÇÃO** e, no caso da amônia, por volatilização.

#### **LIXIVIAÇÃO**

Processo que ocorre no solo quando íons (nutriente vegetal ou não) são levados ao lençol freático pelo movimento descendente da água da superfície (chuva ou irrigação ao longo das camadas do perfil do solo).

Dessa forma, há uma tendência de empobrecimento dos solos e os custos com a reposição de nutrientes são quase sempre necessários; para manter elevados índices de produção, fertilizantes são periodicamente adicionados aos solos agrícolas.

Por sua vez, aplicações de fertilizantes e agrotóxicos sem um gerenciamento adequado podem levar a quadros de saturação por nutrientes e contaminação de solos, lençóis freáticos, sedimentos e biota em geral. A contaminação de sistemas aquáticos por um excesso artificial de nutrientes como N e P é conhecido pelo termo eutrofização cultural.

A eutrofização estimula o crescimento de algas (freqüentemente cianobactérias) e isso pode perturbar a ciclagem da matéria orgânica em certos ecossistemas aquáticos. Sob tais condições, ocorre um aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e, sendo o oxigênio um aceptor de elétrons necessário à mineralização aeróbia da matéria orgânica, a viabilidade de organismos aeróbios torna-se criticamente afetada pela menor disponibilidade desse gás na água.

Essa descrição de processo inter-sistêmico dá uma idéia de conexão ambiental relativamente simples e exemplifica uma possibilidade de desdobramento ecológico tipicamente negativa para os ecossistemas aquáticos. Aqui podemos perceber a importância da necessidade de estudos que considerem escalas mais abrangentes e referenciadas do espaço através do uso de sistemas de informação geográfica (SIG), digitalização de mapas e imagens de satélite. Essa concepção de estudo, espacializado e georeferenciado, representa um importante instrumento para o desenvolvimento da chamada ecologia da paisagem.

Muitos outros processos e ações antrópicas, pontuais ou difusos, podem causar significativas modificações nas concentrações naturais de certos elementos e substâncias químicas em solos e sedimentos. Por exemplo, certos processos associados à extração e produção mineral, nos casos extremos de mal gerenciamento ambiental, podem levar à perda física dos solos e à contaminação destes por produtos tóxicos (por exemplo, metais pesados) e, por erosão e lixiviação, de sedimentos também.

#### **ASSOREAMENTO**

Obstrução, por sedimentos, areia ou detritos quaisquer, de um estuário, rio, ou canal.

A retirada de cobertura vegetal, como a causada pelas práticas de desmatamento, também favorece a ação de processos erosivos e o consequente **ASSOREAMENTO** de sistemas aquáticos. Os lixões e os seus vários derivados tóxicos orgânicos e inorgânicos, produzidos de forma concentrada nos grandes centros urbanos, também exemplificam vias de contaminação dos substratos sólidos, lençóis freáticos e sistemas adjacentes. Finalmente, produtos residuais lançados à atmosfera, gerados por processos industriais, principalmente, adicionam contaminantes potenciais a solos e sedimentos, os quais são amplamente dispersados pelos padrões de circulação local, regional e global dos ventos.

É importante notarmos que as interações entre sistemas naturais e antrópicos são realidades vinculadas à sustentação dos atuais modelos antrópicos de desenvolvimento econômico e tecnológico. Entretanto, diante da importância e da atual pressão sobre os substratos sólidos, as ações humanas sobre estes recursos naturais devem ser orientadas segundo as mais modernas e adequadas técnicas de manejo, otimizando as propostas de produção (incluindo aí não só a produção vegetal, mas também a criação de animais e a extração de minerais, petróleo e gás) sem comprometer a qualidade dos sistemas ambientais. Esse é um objetivo só conquistado pela integração de vários profissionais como biólogos, químicos, engenheiros, geólogos, entre outros, e pela ação continuada de uma educação ambiental.

**RESUMO**

Nesta aula, vimos que os solos e sedimentos constituem substratos sólidos relacionados aos ambientes terrestre e aquático, respectivamente. A constituição básica de solos e sedimentos incluem uma parte sólida (materiais inorgânicos e orgânicos) e uma parte porosa (ocupada por água e ar em solos, e água em sedimentos). Nos sedimentos, a água é chamada de intersticial. Vimos também que os solos e sedimentos podem apresentar diferentes características quanto à composição química (ex. constituintes minerais), física (ex. cor, textura, e porosidade) e biológica (ex. raízes, vermes, serrapilheira). Essas características viabilizam uma descrição científica desses substratos e permitem classificar a estrutura desses compartimentos. A caracterização dos perfis de solo e de sedimentos permitem situar estratos (camadas) horizontais, os chamados horizontes. No caso dos solos, os horizontes O, A, B, e C constituem exemplos típicos. Do ponto de vista funcional, solos e sedimentos têm um papel importante como suporte à vida, como suporte físico e/ou nutricional. O mau uso do solo e a contaminação dos sedimentos afetam criticamente os processos de produção e a organização dos ecossistemas. Fenômenos relacionados à eutrofização e à perda de terras produtivas exigem a minimização de perturbações antrópicas e acusam a necessidade de medidas de conscientização (educação) e de um adequado manejo e conservação ambiental desses compartimentos.

## EXERCÍCIOS

1. Cite três tipos de substratos sólidos, identificando uma característica distintiva entre eles.
2. Quais são os principais componentes dos solos e dos sedimentos?
3. Essencialmente, como são formados os solos e sedimentos?
4. Justifique a importância dos solos e dos sedimentos como suporte à vida.
5. Cite e explique três aspectos físicos comumente empregados na caracterização de solos e sedimentos.
6. Explique como os cátions maiores, adsorvidos aos argilo-minerais do solo, podem ser obtidos pelos vegetais?
7. O que se entende por água intersticial? Como se caracteriza o “ambiente químico” dessas águas?
8. Cite e explique três fatores que afetam o desenvolvimento e a tipologia dos solos.
9. Explique como o emprego inadequado de fertilizantes em solos pode perturbar o equilíbrio de sistemas aquáticos. Como sugestão, procure comparar os efeitos da aplicação de compostos nitrogenados como o amônio e o nitrato.
10. Cite outros riscos de deterioração dos solos e sedimentos associados a perturbações/atividades antrópicas.
- 11) Na condição de futuro educador, escreva uma redação destacando a importância dos solos e sedimentos para a sobrevivência das espécies biológicas em geral e do próprio homem no nosso planeta. Procure focalizar o seu público-alvo — relacionado aos níveis fundamental e médio.

# Adaptações

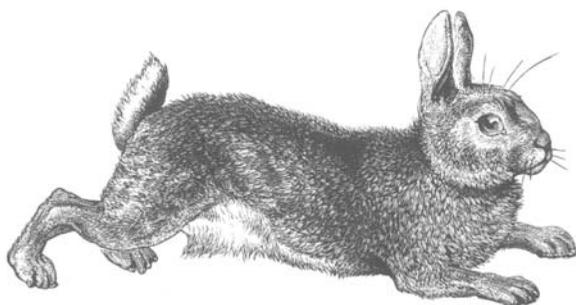
AULA

# 8

## objetivos

Esta aula trata das adaptações dos seres vivos em relação às condições bióticas e abióticas do seu meio ambiente. Você aprenderá principalmente como e porque é tão íntima a integração dos fatores do meio com o ajustamento dos organismos à atuação conjunta desses fatores, em suas estratégias de manutenção e sobrevivência. Ao final, você deverá ser capaz de:

- Identificar alguns passos históricos nos processos adaptativos dos organismos.
- Compreender as diferenças na expressão dos atributos dos organismos nos diferentes sistemas ecológicos.
- Identificar corretamente área, habitat e nicho ecológico na distribuição dos organismos.
- Reconhecer os elementos adaptativos na ocupação dos novos ambientes ao longo do processo evolutivo das plantas.
- Identificar os principais tipos de seleção e seus agentes.



## INTRODUÇÃO

Nesta aula você entrará em contato com um assunto muito interessante que é a adaptação dos seres vivos ao seu meio ambiente e aos recursos alimentares disponíveis.

A história da vida na Terra tem mostrado que os atributos dos indivíduos mudam ao longo dos tempos através do processo de evolução. Esse processo tem duas conseqüências cruciais para a Ecologia. Primeiro, os sistemas biológicos mudam continuamente a estrutura e o funcionamento dos organismos, dentro de cada população, através das gerações. Por esse motivo, embora não mudem os princípios da termodinâmica e da dinâmica de populações, a sua **expressão** em cada sistema ecológico evolui sem cessar. Segundo, a estrutura e o funcionamento dos organismos evoluem em resposta às características de seus ambientes, o que inclui tanto as condições físicas dominantes (relações com fatores abióticos) quanto as outras espécies de organismos com as quais cada espécie interage (relações fatores bióticos).

Um dos exemplos que daremos a seguir você já conhece. Plantas que habitam climas quentes e secos possuem folhas espessas e possuidoras de ceras que reduzem a perda de água por evaporação. Alguns animais vulneráveis a predadores são de tal forma coloridos que se confundem com a paisagem de fundo e não são notados. Essas características de estrutura e funcionamento que moldam um organismo às condições do meio ambiente são chamadas adaptações.

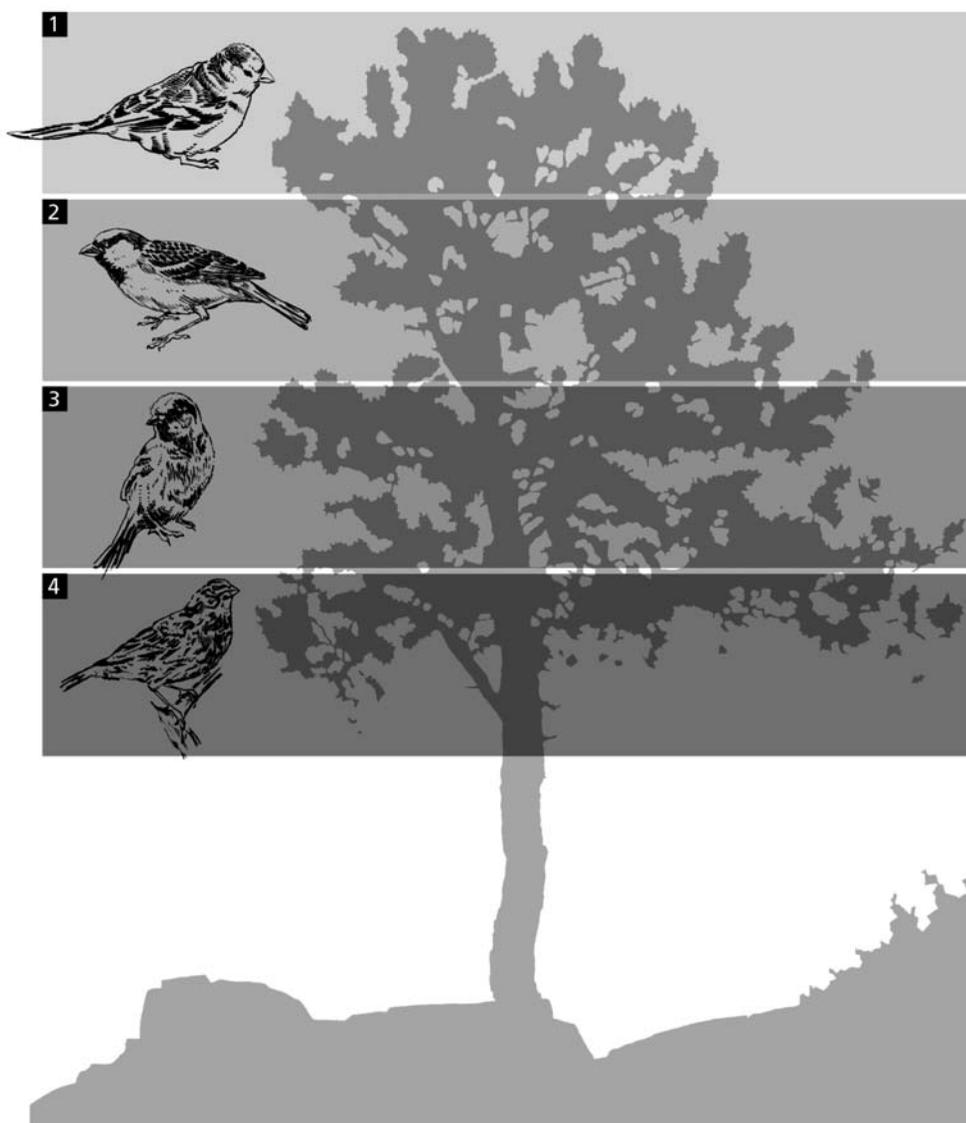
## BREVE HISTÓRICO EVOLUTIVO DAS ADAPTAÇÕES

Inicialmente julgamos importante esclarecer alguns conceitos que estão fortemente ligados às relações dos seres vivos com o seu meio e às suas estratégias adaptativas.

Existem três aspectos importantes nessas relações. A área, o habitat e o nicho ecológico.

A **área de uma espécie** é o espaço geográfico que ela ocupa e que pode ser marcado em um mapa. É aquilo que chamamos de distribuição geográfica de uma espécie, cujos limites podem ser climáticos, fisiológicos ou ambos atuando em conjunto.

O **habitat** de um organismo é o espaço físico onde ele efetivamente vive. Este espaço pode ser definido pela localização geográfica ou pelas características da vegetação. O habitat de certas gramíneas, por exemplo, é o cume das altas montanhas (localização geográfica), enquanto o de muitas orquídeas é a floresta úmida (tipo de vegetação).



**Figura 8.1:** Exemplos simples de nichos ecológicos. Modificado de MacArthur, 1958.

Já o conceito de **nicho ecológico** inclui, além do espaço físico (habitat), o papel do organismo na comunidade. Neste conceito, o nicho inclui a totalidade das necessidades ambientais de um organismo **mais** a sua relação com outros organismos do ecossistema.

Um bom exemplo você encontrará na **Figura 8.1**, resultante de um trabalho que compara nichos ecológicos de quatro espécies de pássaros. Todos vivem nos mesmos pinheirais (habitat) e todos se alimentam de insetos. Porém cada espécie ocupa um nicho diferente, porque se alimentam e constroem seus ninhos em partes diferenciadas das árvores.

Considerando o que você aprendeu com nossas aulas anteriores, principalmente as que tratam dos fatores abióticos, é possível pensarmos que dentro de um ambiente físico existem naturalmente nuances ou gradientes de luminosidade, temperatura, umidade, características químicas do solo, salinidade etc., que podem constituir nichos. E que as espécies tendem a adaptar-se a essas condições. Nos climas temperados, por exemplo, a temperatura à noite abaixa a 0°C ou menos nas altas montanhas. Nesses ambientes, algumas plantas em forma de roseta (bromélias) mantêm um isolamento térmico junto às bainhas das folhas, criando um **microclima especial** onde vive uma fauna de insetos. E assim por diante, há microclimas diferentes dentro de um ambiente, dentro de um tipo de vegetação, ao longo de uma mesma árvore. Nesses casos, o nicho ecológico representa uma condição especial dentro de um habitat, onde vive um organismo com exigências especiais, tendo desenvolvido algumas adaptações que o permitem ocupar este nicho.

### **ADAPTAÇÕES DAS PLANTAS PARA A VIDA NA SUPERFÍCIE**

Ao longo do seu processo evolutivo, as plantas necessitaram de certas características morfológicas que lhes permitissem viver em um ambiente muito diferente do ambiente aquático original.

Pense nas plantas aquáticas atuais. Elas estão a pouca distância da água de que necessitam para seu metabolismo e fotossíntese, não é? Os nutrientes de que precisam estão dissolvidos nessa água e banham todo o corpo da planta.

Mas, para viver fora d'água, as plantas (e outros organismos também) precisam de uma cobertura externa mais ou menos impermeável que evite o seu dessecamento ao ar através da transpiração da água interior. Essa cobertura é a **cutícula**, que aparece desde as primeiras formas vegetais de superfície. Por ser impermeável, essa cutícula além de evitar a perda de água não permite a sua entrada, nem a de nutrientes

dissolvidos, nem as trocas de gases como  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ . Em algumas plantas como as briófitas (os musgos), a cutícula é muito fina, logo a barreira que ela oferece é parcial. Nas plantas semi-aquáticas ou de terra firme ela é mais espessa, impermeável. A solução para o problema das trocas foi o desenvolvimento de pequenos orifícios na cutícula, que se abrem e fecham controlando as trocas e que se chamam **estômatos**.

Observe quantos processos adaptativos são envolvidos apenas na passagem de um ambiente aquático submerso (o caso das algas) para um outro semi-aquático ou de superfície ou mesmo o de terra firme. Mas você também já percebeu que as condições reinantes nesses ambientes são tão diferentes em seu conjunto de influências que, sem toda essa evolução que capacitasse os organismos a ocuparem ou **criarem** novos nichos, nem mesmo você estaria aqui agora, estudando conosco!

Avancemos um pouco mais. Como falamos das algas anteriormente, comecemos por elas o belo caminho evolutivo e adaptativo dos organismos na ocupação dos ambientes. As algas não necessitam de complexos sistemas de translocação de alimentos, pois seu corpo é sempre banhado pela água e pelos solutos necessários ao seu crescimento e desenvolvimento. Os produtos da fotossíntese são elaborados na maioria de suas células ou translocados de célula a célula.

Já para viver fora da água, primeiramente a planta vai precisar de um **sistema de sustentação** do tipo fibras, vasos etc., que garanta o deslocamento de substâncias no interior do seu corpo. Junto com um eficiente sistema de sustentação, as plantas terrestres desenvolveram e especializaram órgãos que executam diferentes funções. São vários os exemplos. O sistema vascular, formado por vasos transportadores de metabólitos e da água absorvida, estruturas que fazem a fotossíntese (as folhas e os caules verdes), estruturas de absorção de água e sais minerais do solo (raízes, radículas, rizomas), órgãos especializados em reprodução (esporângios, estróbilos, flores).

Por falar em estruturas de reprodução, os próprios meios de dispersão também mudam do ambiente aquático para o ambiente e terra firme. Nesse último ambiente, os propágulos não mais são dispersos pelas correntes aquáticas. Ao sair da água, novos mecanismos de dispersão tornaram-se possíveis.

O vento é um deles, podendo levar as estruturas germinativas das plantas a grandes distâncias da planta-mãe. Os novos caracteres morfológicos que compreendem cutícula, estômato, tecido vascular e de sustentação, juntamente com a especialização de diferentes partes da planta mais o vento como fator de dispersão, tornaram finalmente possível a conquista dos continentes pelas plantas.

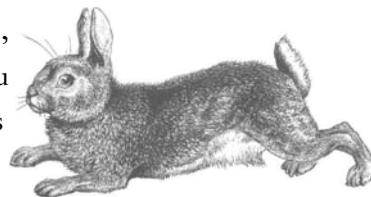
Se você leu com atenção o parágrafo anterior, temos a certeza de que pelo menos identificou também aqui um pouco da graça daquela canção do Caetano Veloso a que nos referimos na Aula 5.

Avancemos um pouco mais na compreensão das estratégias adaptativas dos organismos. Você já conhece os mecanismos de seleção, incluindo a seleção natural? Pois esse tipo de seleção é o princípio único e fundamental que orienta a íntima correspondência entre os organismos e o meio ambiente. Os atributos adquiridos pelos indivíduos bem ajustados ao seu meio passam para os seus descendentes e são preservados. Desse modo, sobrevivem aqueles organismos que se mostram mais aptos no processo de enfrentar e utilizar uma série de atributos do meio, garantindo a manutenção e sobrevivência de sua espécie.

A seleção natural expressa, resumidamente, três importantes propriedades da vida e suas relações com o meio ambiente. A primeira é a **variação genética** entre os indivíduos de uma população, porque embora os indivíduos pertencentes a uma mesma população também pertençam à mesma espécie, não são todos iguais. Verifique esse fato entre nós, os humanos. Temos diferentes alturas, cor de pele, cor de cabelo, cor de olhos, ainda que dentro de uma mesma família. A segunda propriedade relaciona-se com a **herança**, ou seja, a transmissão dos atributos dos pais aos seus descendentes, e a terceira é o **ajustamento evolutivo** do indivíduo, decorrente da influência direta e decisiva do meio ambiente.

Compreender essa última propriedade é muito importante. O projeto particular que nós observamos no ajustamento dos organismos ao seu meio não é exatamente adquirido por seleção natural. É muito mais que isso! O próprio meio ambiente é o molde desse projeto, de tal modo que as interações entre seres vivos e seus ambientes resultam em diferentes capacidades e aptidões de sobrevivência e sucesso reprodutivo entre indivíduos com diferentes atributos.

Encontramos um bom exemplo disso em Ricklefs (1993). Se um coelho corre mais ou menos rápido não tem muita importância. O que conta é o seu ajustamento, ou seja, a influência da sua maior ou menor rapidez nos seus descendentes. E o que é que realmente determina isso? O predador do coelho, ele é o **agente da seleção!** Somente na presença do agente de seleção a velocidade do coelho tem consequência concreta na sua sobrevivência. Nesse caso, o fator do ambiente que atuou como agente de seleção foi outro organismo, um fator biótico (predador), mas você já sabe que, tanto fatores bióticos quanto abióticos ou físicos podem atuar dessa forma, definindo e selecionando aptidões que garantem a manutenção e sobrevivência dos organismos.

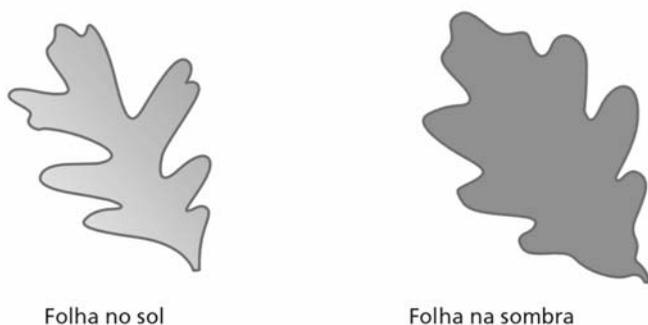


A variação genética e a herança são ocorrências mais ou menos fáceis de verificar. Quanto à primeira delas, você pode lembrar aqui as diferenças entre indivíduos na mesma população, como aquele exemplo dos humanos. Cor de pele, cabelo, olhos etc. Quanto à herança, lembre-se da tendência entre os indivíduos de uma mesma família a apresentarem semelhanças em muitos outros atributos. Por essa razão, criadores de plantas e de animais puderam, ao longo de séculos, selecionar linhagens que apresentassem um atributo desejado. Puderam alterar a aparência (ou fenótipo) de uma população para obter esse caráter ou atributo. Lã mais comprida, aumento na produção de leite e ovos, frutas mais doces e com aparência mais atraente. Todo esse processo é resultante do que denominamos seleção artificial, e nesse caso, o agente de seleção é o homem.

As distribuições das plantas revelam claramente os efeitos dos diferentes fatores, que variam em diferentes escalas de distância. O clima, a topografia, a química e a textura do solo exercem, nessa ordem, influências cada vez mais refinadas na distribuição geográfica. A elevação, a inclinação, a exposição e a rocha-matriz subjacente – fatores que modificam o ambiente da planta – variam mais nas regiões montanhosas.

Mudanças em uma condição ambiental normalmente acarretam mudanças em outras. O aumento da umidade do solo, por exemplo, altera a disponibilidade de nutrientes. Variações na quantidade e na fonte de matéria orgânica no solo criam gradientes paralelos de acidez, umidade e nitrogênio disponível.

Tais fatores freqüentemente interagem de formas complexas, determinando a distribuição das plantas. Desse modo, você percebe que as adaptações de um organismo em suas formas de fisiologia e comportamento, não podem ser facilmente separadas do ambiente no qual ele vive.



**Figura 8.2:** Comparação entre as áreas superficiais de folhas de sombra e de sol.

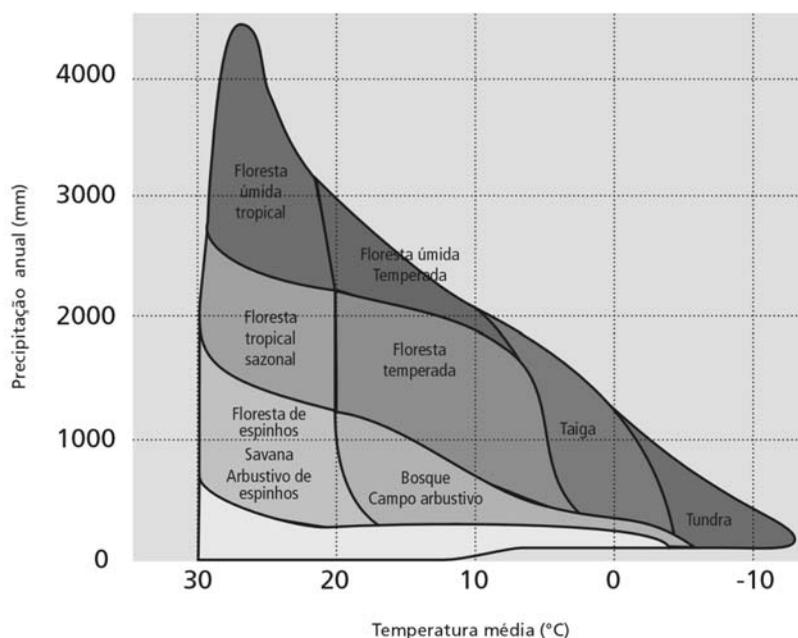
Pense numa comparação entre folhas de floresta úmida e de deserto. As primeiras são tipicamente largas e finas, o que proporciona uma grande área superficial para absorção de luz e, claro, para perda de água. Já as árvores do deserto têm folhas pequenas e finamente divididas, às vezes nem possuem folhas. A **Figura 8.2** compara duas formas de folhas de uma árvore de carvalho, uma de sol e outra de sombra. As que se aquecem muito ao sol perdem mais rapidamente calor por suas bordas, de modo que quanto mais cheia de bordas, mais fria a folha e também menor a perda de água. Mesmo numa única planta, as folhas completamente expostas ao sol podem estar moldadas em diferentes formas para dissipar calor e conservar água melhor do que as folhas sombreadas.

Em geral, as adaptações das plantas e dos animais os tornam bem ajustados ao ambiente no qual eles vivem, por isso encontramos uma correlação íntima entre adaptação e meio ambiente.

## O CLIMA E A DISTRIBUIÇÃO DAS PLANTAS

A denominação dos seres vivos segue sistemas de classificação pelos quais são dados nomes aos animais e às plantas com base em similaridades. Os botânicos desenvolveram sistemas de classificação para comunidades inteiras de plantas. Os esquemas foram baseados nas características estruturais: altura da vegetação, estruturação das

folhas, formas dominantes de plantas. Pelo fato de que esses traços ou características estruturais permitem o florescimento das plantas ou, pelo menos, sua sobrevivência no ambiente físico no qual estão instaladas, existe então uma estreita correspondência entre zonas de vegetação e clima. Dessa maneira, é possível associar formas de plantas diretamente com o clima através do exame de distribuição dos tipos de vegetação relacionados às variações climáticas.



**Figura 8.3:** Classificação de Whittaker (1967) por tipos de vegetação sobrepostos em gráfico de temperatura e pressão.

Na **Figura 8.3**, você pode observar uma classificação de Whittaker para os tipos de vegetação sobrepostos num gráfico de temperatura e precipitação (chuvas), refletindo as formas de plantas dominantes. Nas áreas tropicais e subtropicais com temperaturas médias entre 20°C e 30°C, os tipos de vegetação variam de uma verdadeira floresta úmida tropical que, como o próprio nome diz, é úmida o ano todo, até um deserto. Verifique também na figura que o volume anual de chuvas, da floresta tropical úmida até o deserto cai de 4.000 milímetros/ano até zero. Os climas intermediários sustentam florestas sazonais, ou seja, algumas ou todas as árvores perdem suas folhas durante a estação seca, existindo também florestas secas e pequenas ou de vegetação rasteira com muitas árvores espinhosas.

As comunidades de plantas nas áreas temperadas seguem o padrão das comunidades tropicais, com os mesmos tipos característicos da vegetação em ambas. Mas, nos climas mais frios, a precipitação varia tão pouco de uma localidade a outra que a vegetação fica fracamente diferenciada em relação ao clima. Nos locais onde a temperatura atinge abaixo de  $-5^{\circ}\text{C}$ , todas as plantas podem ser reunidas num único tipo denominado tundra.

Finalmente, vimos que os fenômenos adaptativos nos seres vivos representam o produto de uma longa história evolutiva das mudanças ocorridas no meio ambiente e nos organismos, lembrando um mecanismo de ação-reação. Vimos que muitos fatores físicos e químicos podem limitar as distribuições das plantas e dos animais. A luz, além de servir como estímulo comportamental e como mecanismo para a medida do tempo, representa um fato importante para iniciar as épocas de reprodução e outros sucessos críticos nos ciclos vitais de plantas e de animais. O solo e sua estrutura como o substrato que detém o conteúdo de nutrientes, afetam as distribuições locais das plantas.

Vimos também que a predação é outro importante fator de adaptação, porque o predador termina agindo como um elemento de seleção em relação a outros organismos. Em resumo, as relações predador-presa, em última instância, fazem com que o predador regule os padrões de abundância de suas presas.

Desse modo, esperamos que os estudos desta nossa aula tenham conduzido você a dar mais um passo em direção à ampliação dos horizontes de seu aprendizado ecológico. Certamente conduziram, mas lembramos a você que não acumule dúvidas. Volte ao texto quantas vezes você achar necessário, e discuta as dúvidas que restarem com seus tutores.

**RESUMO**

- Os atributos dos organismos mudam com o processo evolutivo;
- Estrutura e funcionamento dos seres vivos evoluem em resposta às características do meio ambiente, que podem apresentar nuances ou gradientes de fatores, expressando nichos ecológicos;
- A seleção é um processo que orienta a correspondência entre os organismos e seu meio ambiente;
- As três propriedades mais importantes da seleção natural são a variação genética individual, a herança e o ajustamento evolutivo.

## EXERCÍCIOS

1. Escreva, resumidamente, quais as duas grandes conseqüências da mudança dos atributos individuais ao longo dos tempos?
2. Como você definiria a área de uma espécie?
3. O que você entende como habitat de uma espécie?
4. O que é um nicho ecológico?
5. Encontre no texto um exemplo de adaptação a grandes variações de temperatura nos climas temperados.
6. Por que as plantas aquáticas submersas não necessitam de cutícula?
7. As plantas aquáticas submersas têm estruturas que promovem a troca de gases e a entrada de nutrientes?
8. O que são os estômatos?
9. O que você identifica como parte do sistema de sustentação das plantas terrestres?
10. Quais são as principais estruturas de absorção de água e sais minerais do solo nas plantas terrestres?
11. Quais as três propriedades importantes da vida na relação dos organismos com o meio ambiente?
12. Qual é o molde de ajustamento dos seres vivos ao ambiente?
13. Como você definiria um agente de seleção?
14. Qual a razão de pessoas da mesma família exibirem muitos caracteres semelhantes?
15. Qual a propriedade da vida faz com que indivíduos da mesma população apresentem alguns caracteres diferenciados (cor de cabelo, cor de olhos etc.)?
16. Como você explica a diferença de forma, na mesma planta, de folhas que estão sempre expostas ao sol e as de sombra?

## AUTO-AVALIAÇÃO

Se você já compreendeu que as adaptações representam ajustamentos dos organismos à maioria das condições ambientais;

Se entendeu que, mais importante que a atuação isolada de um fator ambiental, é a integração complexa dos fatores que atuam na adaptação dos organismos;

Se está convencido que a seleção termina por conduzir alguns organismos ao ajustamento ecológico e que esses organismos deixam mais descendentes adaptados. Parabéns! Você está realmente chegando ao ponto de juntar todos os nossos itens já estudados, desde a descrição dos fatores ambientais, naquele pensamento das propriedades emergentes, no qual as partes de um todo são estudadas separadamente para compor um grande e interdependente pensamento ecológico!



# Transferência de energia e biomassa I

## AULA 9

### objetivos

Nesta aula, esperamos que você já esteja conseguindo juntar grande parte dos conceitos estudados anteriormente, para que possamos focar a produtividade nos ecossistemas. É muito importante que você esteja sempre voltando a ler as aulas anteriores, porque dessa forma estaremos adicionando novos blocos de "construção" em nossos conceitos, para que nesta aula você possa:

- Entender o funcionamento dos ecossistemas em termos dos princípios da termodinâmica;
- Compreender a importância das trocas de matéria e do fluxo energético nos sistemas vivos como fundamental na manutenção da ordem e da complexidade dos ecossistemas;
- Entender a importância do Princípio das Propriedades Emergentes no surgimento de novas características no interior das interações nos sistemas vivos;
- Entender a dinâmica de reações de redução e oxidação nas transformações de substâncias inorgânicas em compostos orgânicos pelos vegetais.

## INTRODUÇÃO

Esta aula trata de um assunto muito especial no que diz respeito à produtividade e sua organização nos ecossistemas. Aqui você vai compreender melhor nossa insistência em relacionar tudo o que estudamos nas aulas anteriores aos padrões termodinâmicos envolvidos nas relações dos organismos com o seu meio ambiente ou entre eles próprios.

O químico Lotka foi o primeiro cientista a considerar os sistemas vivos em termos termodinâmicos. E qual a importância dessa abordagem em nossos estudos? Poderíamos dizer, sem medo de errar, que a grande importância dessa abordagem reside no fato de que as entradas, transformações, assimilações e saídas de energia e matéria entre os sistemas fornecem uma **linguagem comum** para nossas descrições ecológicas.

De acordo com Ricklefs (1995), a abordagem termodinâmica dos ecossistemas funciona como a “moeda” de energia que descreve sua estrutura e comportamento. Eugene Odum, da Universidade de Georgia, retratou os ecossistemas como diagramas de fluxos de energia, os quais veremos oportunamente.

Deste modo, estudaremos os níveis de assimilação e transformações da energia, seus caminhos no interior dos sistemas e as relações de alimentação que ligam esses fluxos energéticos numa verdadeira teia alimentar. Mas achamos necessário falar um pouco mais sobre a expansão da termodinâmica para os sistemas ecológicos, com o intuito de fornecer a você informações mais detalhadas que deverão ser muito úteis em seus futuros estudos.

## BREVE HISTÓRICO DO PENSAMENTO SISTÊMICO

O fato de falarmos constantemente em ecossistemas, ecologia sistêmica, sistemas vivos e pensamento sistêmico nos oferece uma boa oportunidade para avaliarmos a adoção desse pensamento pelos ecólogos ao longo do tempo.

Antes da década de 40 já eram utilizados os termos “sistema” e “pensamento sistêmico”, mas veremos adiante que um cientista chamado Bertalanffy estava determinado a discutir novas maneiras de pensar os fenômenos biológicos. Na verdade, o significado da palavra sistema designa um todo integrado, cujas propriedades essenciais surgem das relações entre suas partes. Expliquemos melhor. Uma molécula de água é formada por dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio, certo? Você sabe também que as propriedades físicas e químicas de cada uma das categorias dos átomos envolvidos na formação dessa molécula são diferentes, porque dependem de especificidades definidas na Tabela Periódica. Mas o interessante é que, quando essas duas categorias atômicas se juntam para formar a molécula de água, surgem então propriedades dessa substância, que são diferentes daquelas de cada uma das categorias atômicas envolvidas em sua formação.

O que você acabou de ler é a definição simplificada do **Princípio das Propriedades Emergentes**, uma consequência da **ORGANIZAÇÃO HIERARQUIZADA** dos sistemas biológicos. Esse princípio postula que, à medida que os componentes ou subconjuntos (os átomos de H e O do exemplo anterior) combinam-se para produzir sistemas funcionais maiores, **emergem** (surgem) **novas propriedades** que não estavam presentes no nível anterior. Vejamos um outro exemplo. Quando certas algas e animais celenterados (do grupo das medusas) evoluem em conjunto para formar um coral, o mecanismo de ciclagem dos nutrientes se torna muito mais eficiente, de modo que produz uma alta taxa de produtividade em águas reconhecidamente pobres em nutrientes. Dessa maneira, a grande diversidade e alta produtividade dos recifes de coral são **propriedades emergentes**, encontradas unicamente no nível da comunidade do recife.

Assim, podemos afirmar que não basta estudar as partes isoladas dos sistemas para sabermos as propriedades do seu conjunto. Nesse caso, a soma das propriedades das partes não é igual às propriedades do todo.

### ORGANIZAÇÃO HIERÁRQUICA

O sistema consiste de componentes que podem ser arranjados numa série graduada, interagindo regularmente e formando um todo unificado.

Podemos voltar ao nosso Bertalanffy. Ele identificou na década de 40 um dilema que intrigava os cientistas desde o ingresso da nova idéia de evolução no pensamento científico. Esse dilema pode ser resumido, no momento, da seguinte forma. Para os biólogos evolucionistas, os sistemas vivos caminham da desordem para a ordem energética, enquanto a termodinâmica clássica preconizava para o mundo todo a idéia de uma máquina que busca o equilíbrio térmico com o meio, que tudo um dia pararia de funcionar inevitavelmente, em meio a um grande caos energético. Essa é uma história muito esclarecedora nos seus estudos futuros, por isso precisamos recordar aqui os princípios da termodinâmica explorados principalmente na nossa Aula 5.

Sobre o primeiro princípio, que é o da conservação da energia, não temos o que discutir. A questão que se relaciona intimamente com a definição e, principalmente, o funcionamento dos sistemas está na segunda lei ou princípio da termodinâmica, denominada lei da entropia ou lei da dissipação da energia.

O segundo princípio da termodinâmica foi formulado pela primeira vez por um matemático francês chamado Sadi Carnot, baseado no funcionamento de máquinas térmicas. Segundo esse princípio, há uma **tendência** nos fenômenos físicos no sentido da **ordem para a desordem**. O princípio afirma que qualquer sistema físico isolado ou fechado se encaminhará espontaneamente em direção a uma desordem sempre crescente e, para expressar essa direção na evolução desses sistemas sob uma forma matemática, foi introduzida uma nova quantidade denominada “**entropia**”. É muito importante que você acompanhe atentamente o seguinte raciocínio. De acordo com a segunda lei, a entropia de um sistema fechado continua aumentando e, como essa evolução é acompanhada de uma desordem energética, então a entropia é uma medida dessa desordem.

Agora, você há de concordar conosco num ponto sobre o qual já há informação na nossa quinta aula. Se alguma energia no processo de transformação através dos sistemas é dissipada sob a forma de calor, nós devemos ficar com a idéia de um processo irreversível, de que toda a máquina do mundo caminha para o equilíbrio, para a finalização do seu funcionamento e que tudo ficará parado, sem trocas, sem fluxos.

É aqui que entra o grande dilema observado por Bertalanffy entre o pensamento evolucionista dos biólogos e essa dura imagem da evolução dos sistemas fechados, das máquinas, do cosmo.

No final do século XIX, então, o dilema estava estabelecido. De um lado, o pensamento evolucionista mostrando que o universo vivo caminha da **desordem para a ordem**, em direção a estados de complexidade sempre crescente. Do outro, aquela tendência irreversível de um motor que pára de funcionar, um mundo em desordem sempre crescente.

Bertalanffy não resolveu o problema, mas avançou um passo importantíssimo ao reconhecer que o mundo vivo se constitui de **sistemas abertos** e que, diferentemente dos sistemas fechados que se estabelecem num estado de equilíbrio térmico, eles se mantêm **afastados do equilíbrio**. Você lembra quando nós exemplificamos, na Aula 4, um manguezal como o de Mangaratiba, no Rio de Janeiro, informando que nos sistemas em geral aquilo que nós consideramos entrada de energia pode vir de outros sistemas vizinhos? Pois é assim que funciona nos sistemas ditos abertos. Para um manguezal, a migração para o mar de alguns tipos de camarões, peixes ou mexilhões representa **uma saída** de matéria (e de energia concentrada em seus compostos orgânicos corporais), mas representa uma das **entradas de matéria e energia para o sistema marinho**. É o fluxo de energia e a circulação de matéria que mantêm os sistemas vivos longe do equilíbrio!

Na Aula 5, nós afirmamos que os sistemas vivos alcançam uma baixa entropia às custas de uma troca contínua de energia e matéria com o meio ambiente, lembra? Pois foi o que Bertalanffy postulou. Esse é o ponto importante. Em **sistemas abertos**, a **entropia** (ou desordem) **pode decrescer**, de modo que a **termodinâmica clássica**, que lida com sistemas fechados no equilíbrio ou próximos dele, **não é apropriada** para descrever sistemas abertos, longe do equilíbrio. Mas não dissemos que qualquer sistema na biosfera funciona de acordo com os princípios da termodinâmica? Estamos sendo contraditórios agora? Não, não há contradição. O que ocorre é que Bertalanffy na década de 40 não dispunha de técnicas matemáticas mais refinadas, que pudessem explicar a expansão da termodinâmica para os sistemas vivos.

Só na década de 70 o também químico russo Ilya Prigogine reavaliou matematicamente a segunda lei, repensando as visões científicas tradicionais de ordem e desordem, resolvendo a contradição entre os biólogos evolucionistas e os físicos clássicos. Esse cientista aprimorou a idéia de Bertalanffy por meio da definição das “estruturas dissipativas” dos sistemas em sua auto-regulação energética.

As estruturas dissipativas dos sistemas vivos são responsáveis, como o nome indica, pela dissipação de energia ao longo de todo o processo de entrada, assimilação e transformação no interior dos organismos. Agora temos a certeza de que você compreendeu melhor aquela nossa afirmação constante da Aula 5 de que os sistemas vivos criam e mantêm um alto grau de organização interna (uma baixa entropia), à custa dessa contínua troca de matéria entre os componentes sistêmicos.

Dessa forma, Ilya Prigogine nos passou a contribuição de um grande inovador dos fundamentos científicos de sua época. Suas contribuições à termodinâmica do não-equilíbrio renderam-lhe o prêmio Nobel de Química, em 1977. Sua ampla visão do pensamento científico nos presenteou com a expressão “a escuta poética da natureza”, reintegradora do homem ao universo que ele observa desde os tempos mais distantes. Porque a observação tem levado o ser humano, ao longo dos tempos, à fascinante descoberta do seu entorno e de suas íntimas interações. Encontramos essas manifestações em diferentes áreas do pensamento humano. Ainda na Antigüidade Grega, o filósofo Heráclito confirmava suas observações na frase “**Tudo flui**”, fornecendo uma idéia de sua percepção da grande mutabilidade do seu ambiente total. Na poesia, encontramos essa manifestação em Alberto Caeiro, um dos **HETERÔNIMOS** de Fernando Pessoa: “...Sei ter o pasmo essencial / que tem uma criança se, ao nascer/ reparasse que nascera de veras.../ Sinto-me nascido a cada momento / para a eterna novidade do mundo...”.

#### **HETERÔNIMO**

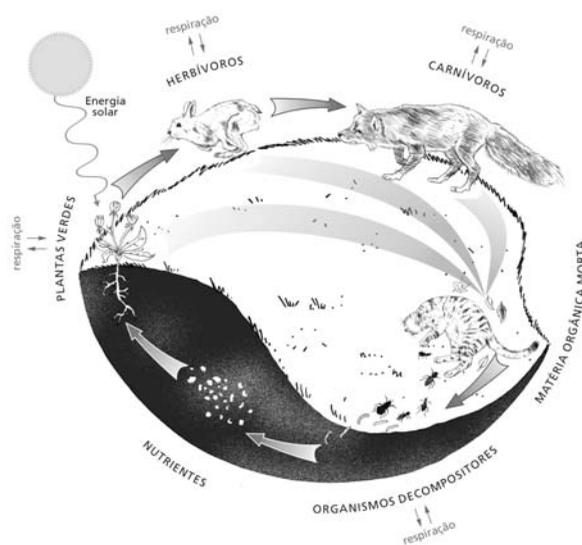
Diz-se da produção literária publicada sob outro nome, que não o do autor.

Esperamos que você tenha aproveitado muito bem essa explicação inicial sobre os sistemas vivos, suas diferenças fundamentais em relação aos sistemas físicos, suas relações com os princípios da termodinâmica e, principalmente, as suas propriedades emergentes. Passaremos agora para o estudo da entrada, assimilação, transformações e dissipações da energia nos sistemas ecológicos, bem como da circulação de matéria nesses sistemas. Como essa história começa da mesma maneira através

da qual se estruturam os ecossistemas, ou seja, com uma certa hierarquia, iniciaremos nosso estudo pelo nível dos organismos produtores iniciais, os vegetais verdes, cujo processo básico de transformação da energia é a fotossíntese.

## A FOTOSSÍNTESE

As plantas verdes desempenham um papel vital no fluxo de energia através de todos os ciclos ecológicos. Suas raízes extraem água e sais minerais da terra, e os sucos resultantes sobem até as folhas onde se combinam com o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) retirado do ar para formar açúcares e outros compostos orgânicos. É nesse processo, conhecido como fotossíntese, que a energia solar é convertida em energia química, ficando confinada, “presa” nas substâncias orgânicas, à medida que o oxigênio é liberado para o ar, podendo ser novamente assimilado por plantas e animais, na respiração.



**Figura 9.1:** Esquema simplificado de cadeia alimentar.

Na medida em que os vegetais são consumidos por animais que, por sua vez, são consumidos por outros animais, os seus nutrientes passam por uma teia ou cadeia alimentar, enquanto parte da energia é dissipada como calor por meio da respiração e como resíduo por meio da excreção. Na **Figura 9.1** você tem um exemplo de representação simplificada de uma cadeia alimentar. Os resíduos, assim como as plantas e os animais mortos, são decompostos

por organismos decompositores (fungos, bactérias e artrópodes dos diferentes ecossistemas) que os quebram em nutrientes básicos para serem mais uma vez utilizados pelas plantas verdes.

#### **GAIA**

É o nome grego para a “deusa da Terra”.

Naturalmente, a figura que você observou está muito simplificada. Cadeias alimentares reais só podem ser entendidas no contexto de teias ou redes alimentares muito complexas, nas quais os nutrientes básicos aparecem em muitos compostos químicos diferentes. Os estudos mais atualizados têm expandido e aprimorado a compreensão dessas teias através da **Hipótese** ou **Teoria de GAIA**, de Lovelock (1979), vista na aula 1. Essa hipótese sustenta que os organismos, principalmente os microrganismos, evoluíram junto com o ambiente físico, formando um complexo sistema de controle que mantém favoráveis as condições de vida na Terra. Isso porque nós já sabemos que os organismos não só se adaptam ao seu ambiente físico mas, através de sua ação conjunta nos ecossistemas, também adaptam o ambiente geoquímico às suas necessidades biológicas. Assim, as comunidades dos organismos e os seus ambientes de entrada e saída de energia desenvolvem-se em conjunto, como ecossistemas.

Há evidências de que os organismos fotossintetizadores surgiram na Terra há pelo menos 3,5 bilhões de anos atrás. Eram cianobactérias, ou cianofícias. Esses organismos utilizavam a energia solar elaborando

#### **ORGANISMOS AERÓBICOS**

São aqueles que utilizam oxigênio em seu metabolismo, em contraste com os anaeróbios.

#### **ESTRATOSFERA**

Camada cuja altura em relação ao nível do mar pode ultrapassar os 50 km. Entre 25 e 30 km se situa a camada de ozônio. Abaixo dela temos a atmosfera pouco espessa, mas essencial para a vida, porque fornece o oxigênio para a respiração dos seres vivos, filtra radiações prejudiciais e amortece a diferença de temperatura entre o dia e a noite.

seu próprio alimento a partir de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água, eliminando oxigênio, da mesma forma que os vegetais verdes atuais, contribuindo para o aumento do oxigênio livre na atmosfera. Essa acumulação de oxigênio permitiu o aparecimento de **ORGANISMOS AERÓBIOS** e a proliferação da vida nos mares. Permitiu também o desenvolvimento de uma camada de ozônio na **ESTRATOSFERA**, a qual funciona como um filtro eficiente para as radiações

ultravioletas.

## REAÇÕES BÁSICAS NAS TRANSFORMAÇÕES BIOLÓGICAS DA ENERGIA

Plantas e animais representam elementos integrados em moléculas orgânicas que constituem o organismo individual. Esses compostos proporcionam a energia necessária à manutenção do organismo sob a forma de ligações químicas entre átomos e moléculas. Essas ligações “armazenadoras” de energia surgem de mudanças químicas entre os átomos de diversos elementos. Nos sistemas biológicos, duas dessas mudanças, ou reações básicas, são muito importantes nas transformações energéticas. Uma delas é a **reação de redução** química do carbono, que se realiza quando o átomo de carbono **recebe elétrons** de outro elemento. A outra é a **oxidação**, reação que ocorre quando o átomo de carbono **cede elétrons** a outro elemento.

Durante a fotossíntese, as plantas reduzem a forma oxidada do carbono, que é o  $\text{CO}_2$ . Esse átomo assim modificado forma novos compostos como os carboidratos, dos quais um dos mais importantes é a glicose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), que possui altos níveis de energia em sua estrutura molecular. Então, vamos resumir para entender melhor. **Para armazenar** a energia da emissão solar as plantas **reduzem o carbono**, gerando os compostos fotossintéticos. **Para liberar** essa energia em seus processos de crescimento, tanto plantas quanto animais desfazem os resultados da fotossíntese **oxidando o carbono** novamente em  $\text{CO}_2$ . É essa transformação que libera a energia, parte da qual é utilizada nas necessidades dos organismos, enquanto outra parte é dissipada como calor. Entendeu bem, agora?

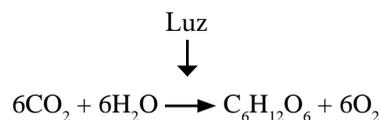
E o oxigênio, onde entra? Avancemos com muita atenção no que vem a seguir. Num sistema de reações químicas das transformações energéticas é razoável pensarmos que, se um elemento é oxidado (cedeu elétrons) é porque o outro elemento participante da reação foi reduzido (recebeu elétrons), não é simples? Pois fotossíntese e respiração são processos que envolvem a **redução e a oxidação complementares** do carbono e do oxigênio! Esse elemento em sua forma oxidada é o oxigênio molecular ( $\text{O}_2$ ), ocorrendo como gás tanto na atmosfera como dissolvido na água. Em sua forma reduzida, ocorre nas moléculas de água. Vejamos então como se passam essas reações nos dois processos citados.

Na **fotossíntese**, o **carbono** sob sua forma oxidada de  $\text{CO}_2$  é **reduzido**, à medida que o **oxigênio** é **oxidado**, passando de sua forma reduzida na molécula de água para sua forma molecular, gasosa ( $\text{O}_2$ ). Já **durante a respiração**, o **oxigênio** oxidado molecular e gasoso é inalado e **reduzido** para sua forma existente na molécula de água, enquanto o **carbono** é **oxidado** para a forma na qual ele se apresenta como  $\text{CO}_2$ , liberando energia.

Mas aí você pode estar se perguntando por que o acoplamento de uma reação de redução com outra de oxidação libera energia? Porque a redução do oxigênio é **termodinamicamente mais fácil**, exige menos consumo de energia do que a redução do carbono. Aqui vale lembrar a você que isso depende do tamanho do raio iônico do elemento. O do oxigênio é maior que o do carbono, ou seja, nesse elemento a última camada de elétrons está mais distante da força de atração do núcleo, por isso é mais fácil perder ou receber elétrons. Sendo assim, a oxidação (retirada de elétrons) do carbono libera mais energia do que aquela consumida na redução do carbono.

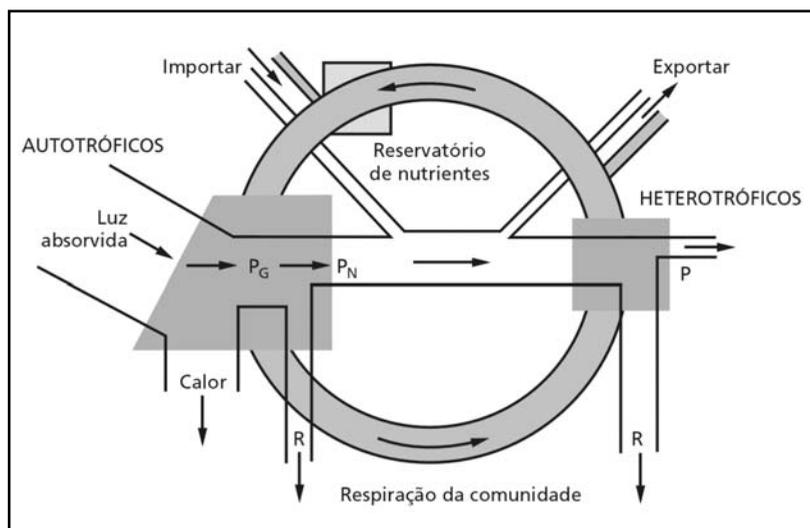
### **BALANÇO QUÍMICO DA FOTOSSÍNTESE. A PRODUÇÃO PRIMÁRIA**

As plantas, como já sabemos, capturam a energia radiante do sol e a transformam em energia química de ligação nos carboidratos. A glicose e outros compostos orgânicos podem ser transportados através das plantas ou podem ser armazenados para posterior liberação de energia pela respiração. A fotossíntese une quimicamente dois produtos inorgânicos comuns, o  $\text{CO}_2$  e a água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), para formar glicose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) um produto orgânico, com liberação de  $\text{O}_2$ . O balanço químico total da reação fotossintética é:



Quimicamente, o processo fotossintético significa o armazenamento de uma parte da energia radiante solar sob a forma de energia potencial ou “presa” no alimento. Esse processo supre a construção dos carboidratos de que a planta precisa para crescer e sintetizar tecidos. Rearranjadas e montadas, as moléculas de glicose se transformam em gorduras, óleos e celulose, por exemplo. Combinadas com nitrogênio, fósforo, enxofre e magnésio, os carboidratos simples derivados da glicose produzem um conjunto de proteínas, ácidos nucléicos e pigmentos.

Como as plantas precisam de energia para sintetizar e manter seus tecidos, elas usam muito da energia que assimilam através da fotossíntese para suprir essas necessidades e, conseqüentemente, encontramos nos seus tecidos muito menos energia do que o total assimilado. Assim, é possível distinguir duas medidas da energia assimilada. A **produção bruta**, representando a energia total bruta assimilada pela planta, e a **produção líquida**, que é aquela acumulada na biomassa (tecidos, flores, frutos etc.). Devido ao fato de que as plantas ocupam a primeira posição na cadeia alimentar, os ecólogos se referem a essas medidas como **produção primária bruta e líquida**. A diferença entre as duas é a energia da respiração. A **produção secundária** é representada pelas taxas de armazenamento energético nos níveis dos consumidores. Na **Figura 9.2**, adaptada de Odum (1983) você poderá observar a alocação de energia em termos de produção. Essa é uma figura que representa o fluxo unidirecional de energia e a reciclagem da matéria. Observe os níveis de produção. Nos seres heterótrofos, a sua produção é normalmente denominada secundária.



**Figura 9.2:** Exemplo de utilização da energia entre autótrofos e heterótrofos.

$P_G$  = produção primária bruta;  
 $P_N$  = produção primária líquida;  
 $P$  = produção secundária;  
 $R$  = respiração.

Antes de estudarmos o processo da fotossíntese em termos dos *passos* nas reações químicas e de rendimento, achamos importante que você conheça alguns mecanismos básicos utilizados pelas células nesse processo.

### UMA VISÃO RESUMIDA DO METABOLISMO VEGETAL

A primeira informação importante neste ponto do nosso estudo é que todas as reações no interior das células dos organismos são intermediadas por outras moléculas orgânicas. As células vivas funcionam como máquinas químicas sob temperatura constante. Elas podem funcionar desse modo porque possuem as moléculas orgânicas denominadas **enzimas** que são catalisadores, ou seja, são compostos que aumentam grandemente a velocidade das reações químicas sem serem consumidos no processo. O interessante desse fato é que as enzimas são moléculas de proteínas de diferentes tipos e tão altamente especializadas que cada tipo de enzima pode catalisar apenas um tipo de reação química. Dessa forma, centenas de diferentes enzimas são necessárias no metabolismo de qualquer célula. Elas podem catalisar em segundos seqüências complexas de reações que necessitariam dias, semanas ou meses de trabalho para serem realizadas num laboratório de química!

As enzimas, portanto, são as unidades mais simples da atividade metabólica, cada uma catalisando uma reação química específica. No entanto, o metabolismo é melhor discutido em termos de seqüências multienzimáticas, nas quais cada uma dessas seqüências catalisa os passos sucessivos de uma dada via metabólica, podendo ser de 2 a 20 enzimas atuando de maneira consecutiva e interligada. Os produtos sucessivos dessas transformações são chamados de intermediários metabólicos ou metabólitos.

O metabolismo tem duas fases: o **catabolismo** e o **anabolismo**. O catabolismo é a fase degradativa na qual as diversas moléculas orgânicas, nutrientes, carboidratos, lipídios e proteínas provenientes do meio ambiente ou dos reservatórios de nutrientes da própria célula são degradadas por reações consecutivas em produtos finais menores e mais simples. É na fase catabólica que ocorre a liberação da energia contida na estrutura química das moléculas orgânicas.

Em certos passos de uma dada via metabólica, a maior parte da energia é conservada sob a forma de uma molécula transportadora de energia, conhecida como **adenosina trifosfato**, ou **ATP**. Alguma energia também pode ser conservada na forma de hidrogênios ricos energeticamente e transportados por uma molécula de **coenzima nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADPH)** em sua forma reduzida.

O anabolismo é também chamado de biossíntese, e representa a fase sintetizante ou construtiva do metabolismo. Nessa fase, as pequenas moléculas precursoras ou unidades fundamentais são reunidas para formar as macromoléculas como as proteínas e os ácidos nucléicos. Como a biossíntese resulta em aumento de tamanho e complexidade das moléculas, ela requer gasto de energia, o que é providenciado através da quebra do ATP em ADP (adenosina difosfato). A biossíntese de alguns componentes celulares também requer átomos de hidrogênio ricos em energia que são fornecidos pelo NADPH. Observe que as vias catabólicas liberam energia sob a forma de ATP e NADPH que serão usadas nas vias anabólicas para converter moléculas precursoras pequenas em macromoléculas celulares.

## FUNCIONAMENTO BÁSICO DA FOTOSÍNTESE

A fotossíntese nas plantas verdes se realiza em duas etapas principais: as **reações luminosas**, que ocorrem obrigatoriamente em presença de luz e as **reações escuras**, que podem ocorrer tanto na presença quanto na ausência de luz.

Nas reações luminosas a clorofila e outros pigmentos das células fotossintetizantes absorvem a energia radiante e a conservam em moléculas de ATP e NADP. Simultaneamente, liberam oxigênio.

Nas reações escuras o ATP e o NADPH gerados na fase clara ou luminosa são usados para reduzir o dióxido de carbono, formando glicose e outros produtos orgânicos. No esquema da **Figura 9.3**, adaptada de Lehninger (1984), você poderá observar melhor esses processos.

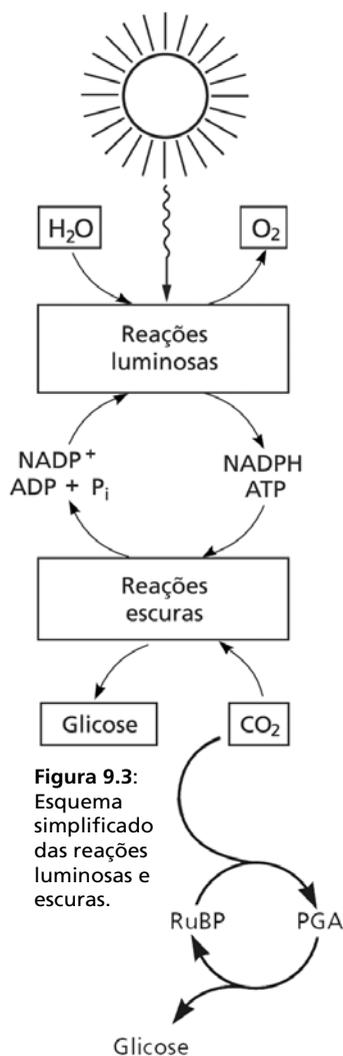
As reações escuras (fase escura ou química) como é chamada, representa a fixação do CO<sub>2</sub>, através de três tipos de fotossíntese:

**PLANTAS C3** – que possuem apenas o Ciclo C3 (Ciclo de Calvin) de fixação do CO<sub>2</sub>, onde a Ribulose bi fosfato carboxilase, a Rubisco, fixa o CO<sub>2</sub>, na ribulose bi fosfato, produzindo duas moléculas de gliceraldeído 3 fosfato (3C).

**PLANTAS C4** – que possuem a enzima ativa de fixação a PEP carboxilase = fosfoenol piruvato carboxilase. Que possuem o ciclo C4 de fixação, pois o primeiro composto formado é o oxaloacetato com 4 C.

**PLANTAS CAM** – Plantas que apresentam metabolismo ácido das crassuláceas, abrem o estômato à noite, para fixar o CO<sub>2</sub>, e acumulam ácido málico. Durante o dia, fecham os estômato e transformam o ácido málico em amido.

A glicose é sintetizada a partir do CO<sub>2</sub> através de um ciclo complexo de reações denominado ciclo de Calvin, no qual o único carbono do CO<sub>2</sub> é fixado sob a forma de gliceraldeído-fosfato, uma molécula intermediária inicial do processo. Essa reação é catalizada por uma enzima denominada **ribulose-difosfato ou RuBP**. Na **Figura 9.4** você visualiza o esquema básico do ciclo, com a utilização de CO<sub>2</sub> e a produção da glicose. A passagem cíclica do ciclo de Calvin pode ser assim representada:  $CO_2 + RuBP \rightarrow 2PGA$ , onde PGA é a molécula de gliceraldeído-difosfato. Vários ciclos depois da produção do PGA, o ciclo de Calvin disponibiliza o



**Figura 9.3:** Esquema simplificado das reações luminosas e escuras.

**Figura 9.4:** Esquema simplificado do Ciclo de Calvin.

átomo de carbono do  $\text{CO}_2$  para a síntese da glicose. Mas você sabe que esse composto possui seis carbonos ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ). De onde vêm os outros carbonos de sua estrutura? Para a produção de cada molécula de glicose o ciclo de Calvin dá seis “voltas”, ou seja seis repetições. Por isso, o balanço geral que mostramos anteriormente é  $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ .

Até aqui, vimos os processos que terminam por chegar à produção da glicose nos vegetais, através das reações luminosas, escuras e do ciclo de Calvin. Na segunda parte de nossa aula, estudaremos o destino da glicose formada ao nível dos produtores, tanto nos próprios vegetais quanto nos seres heterótrofos (aqueles que não sintetizam seu próprio alimento). O importante é que você guarde bem a informação de que, seja qual for o nível trófico, os seres heterótrofos usam como ponto de partida em suas próprias reações os alimentos produzidos pelos seres autótrofos (as plantas verdes, produtoras por excelência).

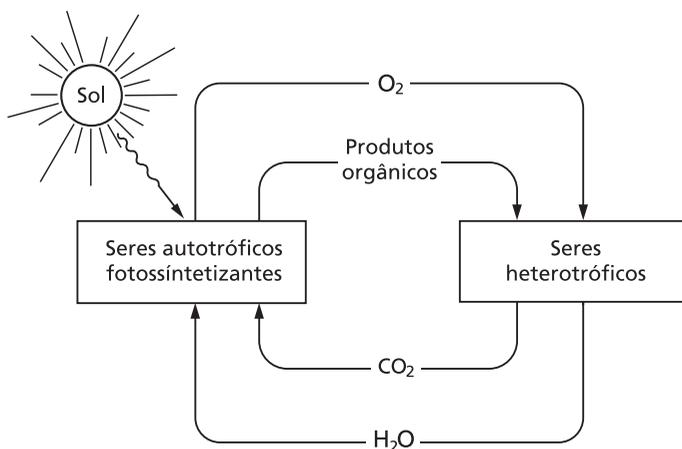


Figura 9.5: Resumo esquemático da fotossíntese.

A Figura 9.5 exemplifica bem o que queremos dizer. Nela você percebe que a energia do sol é a fonte final de toda a energia biológica. É a fonte utilizada pelos seres autótrofos (as células fotossintetizantes) que, juntamente com substâncias como água e dióxido de carbono, fornecem glicose e oxigênio molecular. Esses últimos produtos citados serão, então, utilizados pelos seres heterótrofos que realizarão a quebra da glicose (glicólise). Veremos que os vegetais também realizam a glicólise. O destino dos produtos dessas reações é que irão diferir entre vegetais e seres heterótrofos.

## RESUMO

Você acabou de estudar a primeira parte da aula sobre transferência de energia e biomassa. É bem possível que tenham permanecido algumas dúvidas, afinal surgiram conceitos relativamente novos, além de um pequeno, porém necessário, histórico sobre a abordagem sistêmica na Ecologia. Mas, se após esse estudo você conseguiu:

- Compreender a base do pensamento ecossistêmico;
- Observar o princípio das propriedades emergentes em muitos exemplos ao seu redor;
- Unir aos conceitos anteriormente citados toda a questão do equilíbrio nos sistemas vivos e físicos;
- Relacionar a estrutura básica da fotossíntese com as idéias de produtividade e de fluxo de energia do nível dos produtores até os seres heterótrofos... Parabéns! Você está preparado para estudar o próximo item. Mas, não esqueça. Não deixe as dúvidas se acumularem. Procure esclarecê-las o mais rápido possível, porque desse modo você tornará o seu estudo muito mais agradável.

## EXERCÍCIOS

1. Defina sistema.
2. Que são propriedades emergentes?
3. Por que não podemos estudar uma parte isolada de um ecossistema e extrapolar suas propriedades para a totalidade desse ecossistema?
4. Qual foi o dilema científico identificado por Bertalanffy?
5. Em que sistema você encontra tendências para a desordem energética?
6. Qual foi a grande idéia de Bertalanffy que levou Prigogine a adequar os sistemas vivos aos princípios da termodinâmica?

7. Onde é armazenada a energia nos sistemas vivos?
8. Em que fase do funcionamento de um ecossistema você identifica as “estruturas dissipativas” de Prigogine?
9. Como funciona o esquema de oxidação e redução na fotossíntese?
10. Por que as reações complementares de oxidação e redução liberam energia?
11. Defina produção bruta.
12. O que é produção líquida?
13. Quais as duas fases mais importantes do metabolismo nos seres vivos?

### AUTO-AVALIAÇÃO

Se, após o estudo desta aula, você já se sente capaz de compreender o aparecimento de novas propriedades na interação entre os sistemas biológicos;

Se conseguiu raciocinar em termos da adequação do funcionamento dos sistemas biológicos aos princípios básicos da termodinâmica;

Se percebeu a importância histórica na evolução do esforço científico para solucionar os dilemas ou conflitos como o que ocorreu entre os biólogos evolucionistas e os físicos da termodinâmica clássica da década de 40 até a década de 70;

Se apreendeu corretamente os conceitos de produtividade, assimilação, transformação e armazenamento energético nas células vegetais;

Se conseguiu distinguir as fases mais importantes do metabolismo nos sistemas vivos... Parabéns! Você está preparado para a próxima aula. Quando surgirem dúvidas, lembre-se, não desanime nunca. Procure seus tutores. Eles irão facilitar muito o seu caminho rumo ao sucesso nos estudos!



## Transferência de energia e biomassa II

AULA

# 10

## objetivos

Com esta aula, estamos encerrando o capítulo sobre transferência de energia e biomassa nos ecossistemas. Ao final, você deverá ser capaz de:

- Compreender o funcionamento mais geral da produção de energia e biomassa no interior dos ecossistemas;
- Identificar os processos químicos de estocagem energética, tanto na quebra da molécula de glicose quanto em ciclos mais complexos de liberação da energia;
- Identificar a quebra da glicose nos organismos anaeróbicos;
- Identificar as diferentes formas de estratificação trófica nos ecossistemas, tais como cadeias alimentares, redes tróficas, níveis tróficos e pirâmides ecológicas.

## INTRODUÇÃO

Na aula anterior, vimos como as plantas captam a energia luminosa e, juntamente com a utilização de  $\text{CO}_2$  e água, produzem glicose através de reações complementares de oxidação e de redução, liberando oxigênio. Passaremos agora ao estudo do catabolismo da glicose, ou glicólise, como mecanismo central do metabolismo não apenas de animais e vegetais, mas também da maioria dos microrganismos. A seqüência de reações da glicólise difere de uma espécie para outra apenas na forma de regulação de sua velocidade e no destino metabólico do piruvato (um composto comum a todas as vias glicolíticas) formado.

Você leu anteriormente as palavras **catabolismo**, **oxidação** e **redução**. Esperamos que não tenha restado nenhuma dúvida quanto à definição de cada uma delas. Mas, se você quiser, pode consultar a aula anterior para esclarecer melhor. Após nosso estudo da glicólise, veremos as cadeias, redes alimentares e níveis tróficos. Esses assuntos irão, com certeza, fechar um pequeno ciclo de conceitos e processos que já foram vistos anteriormente.

## AS FASES DA GLICÓLISE

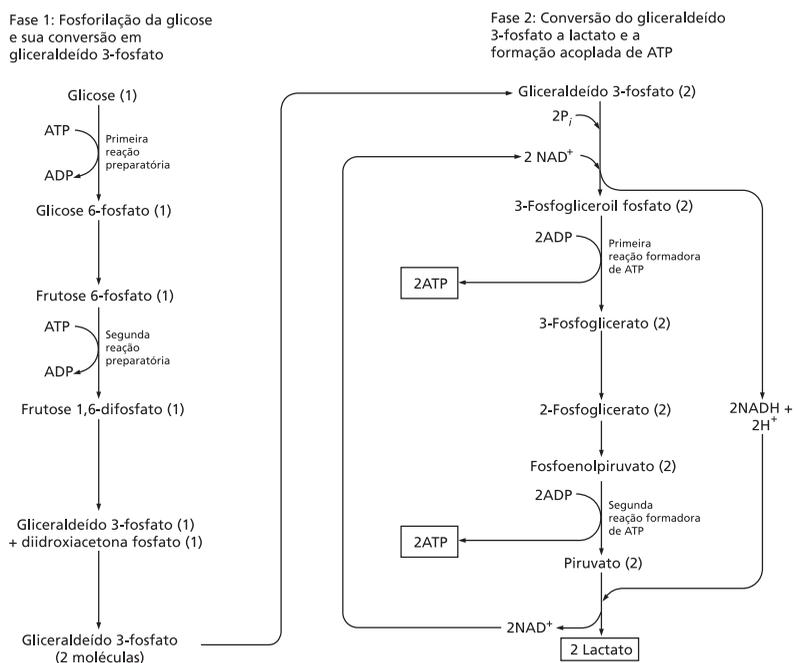
A molécula de glicose, como você já sabe, tem 6 átomos de carbono ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) e é quebrada em duas moléculas de piruvato, cada uma com 3 átomos de carbono. Essa quebra, ou **lise** (daí a palavra glicólise), é realizada pela ação de 10 enzimas em seqüência, sendo realizada em duas fases.

A primeira fase da glicólise é a **fase preparatória**, assim chamada porque serve para coletar todas as cadeias carbônicas das **hexoses** (cadeias com 6 carbonos, como a glicose que você já conhece, além da frutose, manose, galactose) existentes nas células, transformando-as num único produto comum, que é o **gliceraldeído 3-fosfato**. Não desanime, porque não é difícil de entender. Vamos ver de onde vem esse gliceraldeído 3-fosfato. Assumindo que a hexose utilizada foi a glicose, o primeiro passo é a sua **fosforilação** (ceder fosfatos a uma molécula). E quem cede os fosfatos? Acertou se pensou na molécula de ATP! A glicose é fosforilada duas vezes. Primeiro no carbono número 6, depois, no carbono número 1, sendo a nova molécula assim formada denominada frutose **1,6-difosfato**. Nesse ponto, a molécula de frutose 1,6-difosfato é quebrada ao meio, gerando duas moléculas com três átomos de carbono, o gliceraldeído 3-fosfato. Esse é o produto da primeira fase da glicólise e você viu que realmente não foi difícil entender o processo.

Até aqui, temos certeza de que você está compreendendo bem. Porque você já conhece a molécula de glicose, sabe que o ATP é uma molécula de reserva de energia e sabe que ela pode perfeitamente fosforilar outras moléculas. Essa molécula na forma de ATP é o trifosfato de adenosina, lembra? Cedeu um fosfato para a molécula de glicose chegar à glicose 6-fosfato, e transformou-se em ADP, ou difosfato de adenosina. E o outro fosfato do carbono 1 da glicose? Outra molécula de ATP cede mais um, transforma-se em ADP e fornece a molécula de frutose 1,6-difosfato, que será finalmente quebrada em duas moléculas de gliceraldeído 3-fosfato.

Neste ponto, você já deve estar pensando que foi necessário **gastar** energia para preparar a molécula de glicose para ser quebrada em duas outras com três átomos de carbono cada uma. É verdade, nessa primeira fase só houve gasto, mas você vai ter a oportunidade de observar um grande retorno adiante.

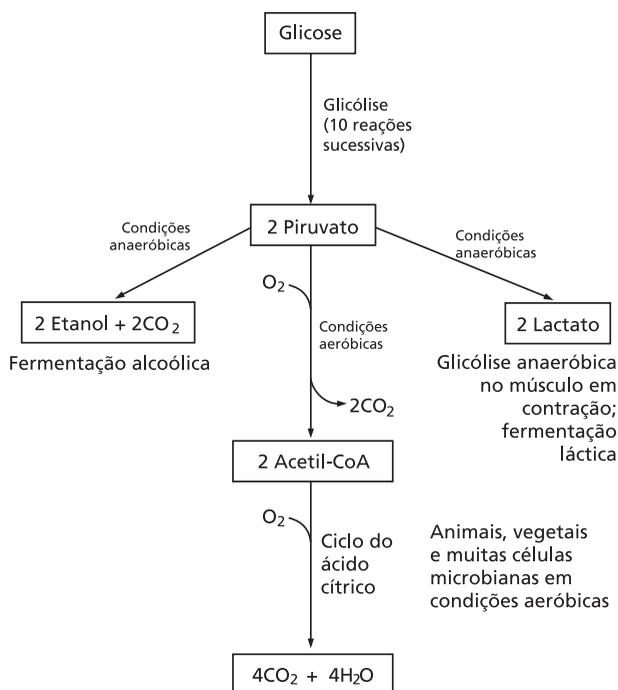
A segunda fase da glicólise representa o **pagamento** daquele gasto inicial. Na **Figura 10.1**, você observa essas duas fases muito claramente. Não se preocupe com todos esses nomes de compostos intermediários. O importante é que aquelas duas moléculas de **gliceraldeído 3-fosfato** vindas da primeira fase são transformadas em duas moléculas de **piruvato**. E os fosfatos? Foram transferidos para moléculas de ADP, restaurando as moléculas de ATP! Aí você pode perguntar. Para que restaurar a molécula de ATP? Para armazenar energia. Não esqueça que o ATP é, por excelência, a molécula armazenadora de energia.



**Figura 10.1:** Esquema das duas fases da glicólise.

Veja no lado direito da figura que a energia liberada na transformação de duas moléculas de gliceraldeído 3-fosfato em duas moléculas de piruvato foi armazenada em duas moléculas de ADP, que passaram a ATP. Agora o rendimento é de quatro moléculas de ATP, certo? Não, não está certo, porque precisamos **descontar** aqueles dois que foram gastos na primeira fase. Então, o rendimento total, o *ganho líquido* da glicólise realizada em duas fases é de dois ATP.

Agora temos a certeza de que você está preparado para analisar a **Figura 10.2** conosco. Veja uma molécula de glicose com seis carbonos transformada em duas moléculas de piruvato, de três carbonos cada uma, após 10 reações que nós descrevemos naquelas duas fases iniciais. Aí o piruvato pode tomar três caminhos.



**Figura 10.2:** Esquema simplificado das três possíveis vias metabólicas do piruvato.

No primeiro, as duas moléculas de piruvato originam aquelas duas moléculas de lactato à direita da figura. Elas são formadas em condições anaeróbicas (na ausência de oxigênio). Esse tipo de reação ocorre com os microrganismos da fermentação do leite e nos músculos dos vertebrados. Você já observou que, depois de um grande esforço físico (uma corrida forte, por exemplo), podemos até sentir cãibras? Pois é, a falta de oxigenação nos músculos faz com que se acumulem moléculas de ácido láctico ou lactato, provocando essa sensação.

À esquerda da figura, os dois piruvatos originaram duas moléculas de etanol, juntamente com duas moléculas de CO<sub>2</sub>. Observe que esse processo também ocorreu em condições anaeróbicas. Aqui são outros tipos de microrganismos que atuam. No nosso exemplo, cujo produto final as pessoas costumam consumir muito gelado, são fungos da família saccharomicetácea, mais especificamente *Saccharomyces cerevisiae*, que agem nos grãos de cereais de cevada formando a cerveja, com a valiosa ajuda humana no papel de mestre cervejeiro.

As receitas seculares para a produção de vinho e cerveja são praticadas há muito tempo, antes mesmo do nascimento da ciência química. Mas foi apenas em 1856 que o pesquisador Louis Pasteur provou que a fermentação de açúcar (glicose) em álcool era obra de microrganismos e não magia negra. Ele foi contratado por produtores franceses de vinho para investigar o motivo de certas safras de uva produzirem um vinho ruim, transformado em vinagre. Ele então realizou experimentos mostrando que soluções estéreis (não contaminadas) de glicose não sofrem fermentação, mas as que ficam expostas ao ar fermentam por obra da contaminação por esporos de levedura e por outros microrganismos.

**OL**

É a terminação para uma categoria de compostos orgânicos denominada álcool.

Mas não nos esqueçamos do terceiro caminho seguido pelas duas moléculas de piruvato geradas a partir da glicose, o caminho do meio da **Figura 10.2**. Esse é o caminho metabólico da maioria das células animais, vegetais e alguns microrganismos em condições aeróbicas (em presença do oxigênio). Aqui, o piruvato é oxidado, liberando duas moléculas de  $\text{CO}_2$  e se transformando em duas moléculas de Acetil-CoA (Acetil Coenzima A). Essas moléculas entrarão num ciclo denominado ciclo do ácido cítrico, gerando uma importante quantidade de energia e fornecendo como produtos finais  $\text{CO}_2$  e água. Nós vamos estudar esse ciclo que, da mesma forma que a glicólise, não é de difícil compreensão. Vamos fixar o que vimos até agora em termos de rendimento energético para a célula. A **primeira fase da glicólise gasta energia**. A **segunda fase é conservadora** de energia porque você viu que, apesar de ter formado 4 ATP, temos de descontar os dois que foram gastos na primeira fase, portanto continuamos com dois. O **ciclo do ácido cítrico libera uma quantidade** muito maior de energia do que toda a glicólise.

#### KILOCALORIA (Kcal)

É a unidade energética obtida na quebra de uma unidade molecular de glicose.

Só para você observar o quanto são diferentes, em termos de rendimento energético, o ciclo do ácido cítrico e a glicólise vamos mostrar algumas unidades. A quebra da glicose até lactato ou etanol (**parcialmente oxidada**, portanto) rende **47,0 kcal/mol**. Mas quando a glicose é **totalmente oxidada** a  $\text{CO}_2$  e água no ciclo do ácido cítrico (o caminho do meio da **Figura 10.2**), a energia liberada é de **686 kcal/mol!**

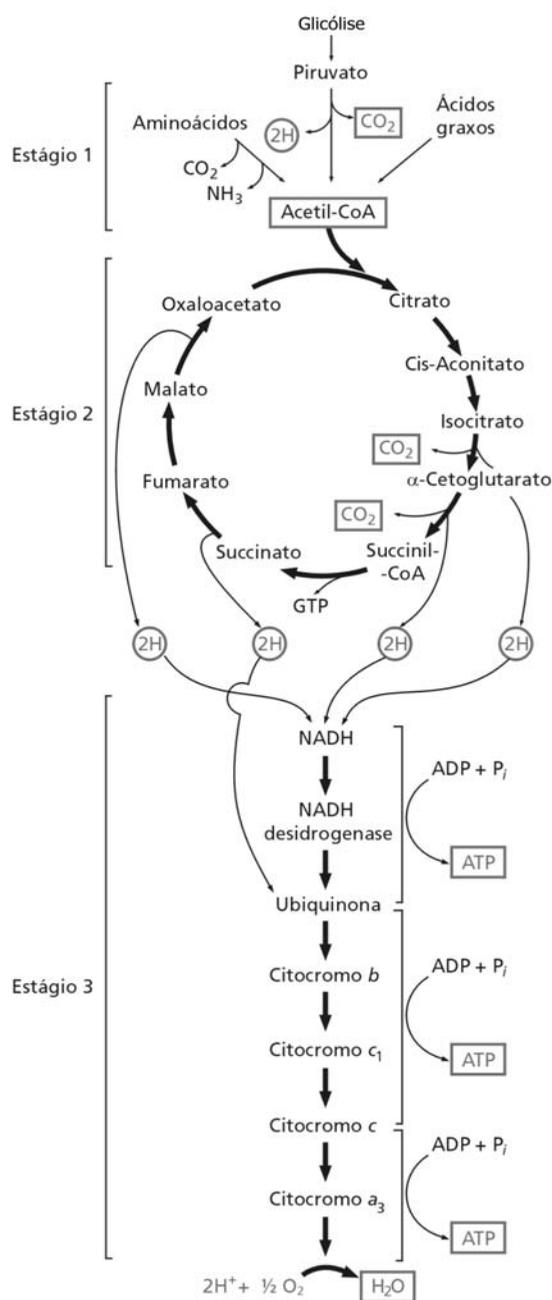
### O CICLO DE KREBS OU CICLO DO ÁCIDO CÍTRICO

Observe (com muita paciência) a **Figura 10.3**. À primeira vista, ela pode parecer complicada. Mas nós queremos dela o que é essencialmente interessante para o nosso estudo. Portanto, nada de sustos. Você lembra que para entrarmos nesse ciclo era necessário que o piruvato se transformasse em duas moléculas de Acetil-CoA? Pois são os aminoácidos, os carboidratos e os ácidos graxos (gorduras) que têm os seus esqueletos moleculares degradados para formar os grupos acetil da Acetil-CoA. É esse composto que entra no ciclo de Krebs, o qual ocorre nas mitocôndrias das células com membrana nuclear (eucarióticas) e no citoplasma das células procarióticas (sem membrana nuclear).

O ciclo de Krebs é um sistema enzimático circular. Essa é uma observação importante, pois estabelece uma diferença fundamental com a glicólise, que funciona numa seqüência linear de passos catalisados enzimaticamente.

Uma volta no ciclo inicia-se pela doação feita pelo Acetil-CoA de seu grupamento acetil (com 2 carbonos) ao composto de 4 carbonos, denominado oxaloacetato, originando um composto com 6 carbonos, o citrato. Esse composto transforma-se em isocitrato que vai ser desidrogenado (perde hidrogênios), liberando  $\text{CO}_2$  e originando um composto com 5 átomos de carbono, o alfa-cetogluturato. Nova liberação de  $\text{CO}_2$  e temos o succinato, com 4 átomos de carbono. Três passos depois, o oxalato é regenerado. Após uma volta do ciclo, o oxalato está pronto para reagir com outra molécula de Acetil-CoA. O ciclo de Krebs é o processo de respiração celular, como você já percebeu pela intensa liberação de  $\text{CO}_2$ . Os eventos mais importantes da respiração celular estão no estágio 3 da **Figura 10.3**. É onde são transportados os elétrons oriundos das voltas do ciclo de Krebs e a fosforilação oxidativa, processos altamente liberadores de energia.

A cadeia transportadora de elétrons também funciona em seqüência, de modo que a glicólise, o ciclo de Krebs e a fosforilação oxidativa possuem mecanismos de regulação inter-relacionados e coordenados. Finalmente, é importante ressaltar que esses três passos da oxidação total da glicose estão de tal forma coordenados entre si que funcionam como uma verdadeira máquina de produção de ATP.



**Figura 10.3:** Esquema do ciclo de Krebs.

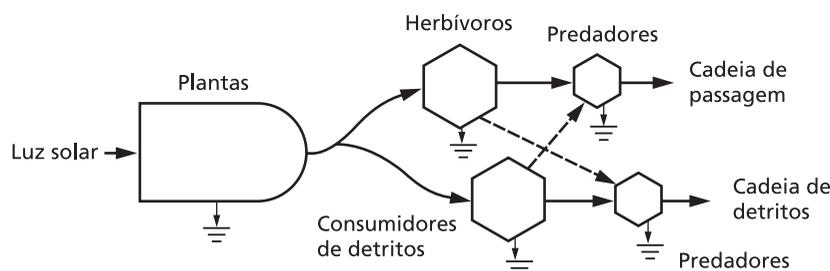
## CADEIAS ALIMENTARES, REDES ALIMENTARES E NÍVEIS TRÓFICOS

De acordo com Odum (1983), as cadeias alimentares são bem conhecidas de todo mundo, porque “podemos comer o peixe, que comeu o peixinho, que comeu o zooplâncton, que comeu o fitoplâncton, que fixou a energia solar; ou podemos comer a vaca, que comeu o capim, que fixou a energia solar; ou podemos usar uma cadeia muito mais curta, comendo o cereal, que fixou a energia solar”.

A transferência alimentar desde a fonte nos autótrofos (plantas) através de uma série de organismos que consomem e são consumidos chama-se **cadeia alimentar** ou **cadeia trófica**. Em cada transferência são perdidos sob forma de calor entre 80% e 90% da energia potencial. Por isso, quanto menor for a cadeia alimentar, ou quanto mais próximo o organismo estiver do início da cadeia, maior será a energia disponível para a população.

São conhecidos dois tipos básicos de cadeia alimentar. A **cadeia de pastagem**, que começa com uma base de planta verde, passa por herbívoros que pastam (comem células ou tecidos vegetais vivos), até os carnívoros que são os comedores de animais. O outro tipo de cadeia alimentar é a cadeia de **detritos**, cuja fonte inicial é formada pela queda de material morto ao solo, passando para os microrganismos e depois para os detritívoros e os seus predadores.

As cadeias alimentares não estão isoladas no ambiente. Estão interligadas por padrões que geralmente são denominados **redes alimentares** ou redes tróficas. Uma classificação trófica de função pode ser esquematizada a partir da noção de que organismos que obtêm seu alimento através do mesmo número de estágios estão no mesmo **nível trófico**. Desse modo, as plantas verdes ocupam o primeiro nível trófico (dos produtores), os herbívoros ocupam o segundo nível (dos consumidores primários), carnívoros primários ocupam o terceiro nível (consumidores secundários) e o quarto nível pertence aos carnívoros secundários (consumidores terciários). Os seres humanos podem ser tanto consumidores primários quanto secundários, já que nossa dieta compreende geralmente uma mistura de alimento vegetal e animal.



**Figura 10.4:** Modelo de fluxo energético.

Na **Figura 10.4**, adaptada de Odum (1983), você pode observar um modelo de fluxo energético em forma de Y, ou de dois canais, considerado mais realista do que o modelo de um canal por diversas razões. Primeiramente, esse modelo é adequado à estrutura estratificada básica dos ecossistemas. Depois, o consumo direto de plantas vivas e a utilização de matéria orgânica morta geralmente ocorrem separados no tempo e no espaço. Finalmente, os macroconsumidores (animais) e os microconsumidores (fungos e bactérias consumidores de matéria morta) diferem muito na relação tamanho-metabolismo e nas técnicas necessárias ao seu estudo.

Em todos os ecossistemas, as cadeias de pastagem e de detritos estão interligadas. Nem todo o alimento ingerido pelos consumidores é realmente assimilado. Normalmente, o material não digerido sai nas fezes, indo para a cadeia de detritos. A redução de energia em elos sucessivos da cadeia é um fator que limita o seu comprimento nos ecossistemas, pois cadeias muito longas terminam por disponibilizar muito pouca energia potencial nos últimos elos.

## CONCENTRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS TÓXICAS

Sabemos que a distribuição de energia não é o único fator influenciado pelas cadeias alimentares. Alguns outros têm grande importância. Certas substâncias, por exemplo, em vez de se dispersarem, tornam-se cada vez mais concentradas à medida que passam pelos elos de uma cadeia alimentar. É o caso de substâncias químicas destinadas ao combate de pragas nas plantações destinadas ao consumo humano. Desse modo, o consumo ao longo dos elos da cadeia termina por acumular o composto nos elos finais. A esse processo dá-se o nome de **biomagnificação trófica**.

## ESTRUTURA TRÓFICA E PIRÂMIDES ECOLÓGICAS

A caracterização trófica de um ecossistema pode ser definida através da **estrutura trófica**, resultante da interação dos fenômenos na cadeia alimentar (a perda de energia em cada transferência) com a relação tamanho-metabolismo dos organismos envolvidos.

A **quantificação da estrutura trófica** pode ser realizada a partir da medida em termos da biomassa por unidade de área ou em termos da energia fixada por unidade de área e tempo, em níveis tróficos sucessivos. Além disso, a estrutura e a função tróficas podem ser mostradas graficamente através da utilização das **pirâmides ecológicas**, nas quais o primeiro nível dos produtores constitui a base, enquanto as camadas sucessivas constituem os outros níveis tróficos. São três os tipos de pirâmides ecológicas. Primeiramente, temos a **pirâmide de números**, na qual são representados os números de indivíduos em cada nível trófico. Em seguida, temos a **pirâmide de biomassa**, representando o peso seco total, valor calórico ou outra medida qualquer de material vivo. Finalmente, temos a **pirâmide de energia**, na qual podemos observar o fluxo energético e/ou a produtividade em níveis tróficos sucessivos.

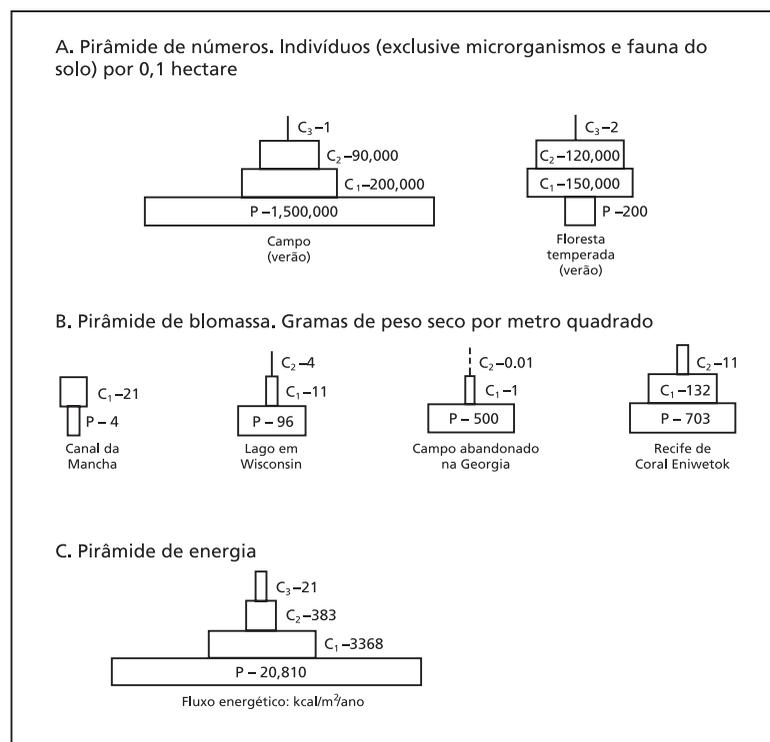


Figura 10.5: Exemplos de pirâmides ecológicas.

Na **Figura 10.5**, você pode observar exemplos das três categorias de pirâmides ecológicas, em diferentes ecossistemas. Veja que as pirâmides de números e de biomassa podem ser total ou parcialmente invertidas, isto é, a base pode ser menor do que as camadas superiores. Isso pode acontecer perfeitamente se os indivíduos produtores forem maiores que os consumidores individuais. Já a pirâmide de energia deve ter sempre uma forma reta piramidal, não invertida e você já sabe por quê. A energia segue um fluxo único, não circula como a matéria. Por esse motivo, a pirâmide de energia é, sem sombra de dúvida, a que melhor fornece uma imagem geral da natureza funcional das comunidades. Ao contrário das pirâmides de números e de biomassa que ilustram estados instantâneos (os organismos presentes num dado momento), a pirâmide de energia demonstra a velocidade de passagem da massa alimentar ao longo da cadeia trófica. Por isso, a sua forma não é afetada pelo tamanho ou pela taxa metabólica dos indivíduos envolvidos e, quando todas as fontes de energia são consideradas, ela permanecerá sempre na posição direita, **por causa da segunda lei da termodinâmica**.

Esperamos que você tenha aproveitado bastante esses nossos encontros, e que seus conhecimentos tenham realmente se ampliado, mas, se permanecem dúvidas, não hesite em procurar os tutores para esclarecê-las.

## RESUMO

Chegamos ao ponto do nosso estudo no qual você conseguiu acrescentar mais *blocos de construção* ao seu conhecimento ecológico. Certamente você tem discutido com seus tutores as dúvidas surgidas ao longo desta construção. Desse modo, se você conseguiu:

- compreender em termos gerais o funcionamento básico da produção, estocagem e liberação da energia nos sistemas vivos;
- identificar os processos mais importantes através dos quais a estrutura alimentar se distribui em níveis, cadeias e redes tróficas, você realmente está de parabéns!

Nós também estamos contentes com o sucesso do seu esforço e dedicação. Assim, você está preparado para prosseguir em seus estudos. Mas não esqueça que os tutores podem discutir com você suas dúvidas!

## EXERCÍCIOS

1. Quais as fases importantes da glicólise?
2. Quais os principais produtos finais da degradação anaeróbica do piruvato ao entrar no ciclo do ácido cítrico?
3. Qual o destino das moléculas de Acetil-CoA no ciclo do ácido cítrico?
4. Como se define uma cadeia alimentar ou cadeia trófica?
5. Quais os tipos principais de cadeia alimentar?
6. O que são redes alimentares?
7. Como se estruturam os níveis tróficos nas cadeias alimentares?
8. O que é biomagnificação trófica?
9. O que são as pirâmides ecológicas?
10. Por que as pirâmides de números e de biomassa podem aparecer invertidas e a de energia não?

# Ciclos biogeoquímicos I

AULA

# 11

## objetivos

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Perceber a importância geral dos ciclos biogeoquímicos do carbono, nitrogênio e fósforo na organização ambiental do planeta;
- Conhecer os principais estoques e fluxos do carbono, nitrogênio e fósforo no nosso planeta, e os principais processos biogeoquímicos envolvidos;
- Identificar questões/problemas ambientais associados aos ciclos biogeoquímicos do carbono, nitrogênio e fósforo.

## INTRODUÇÃO

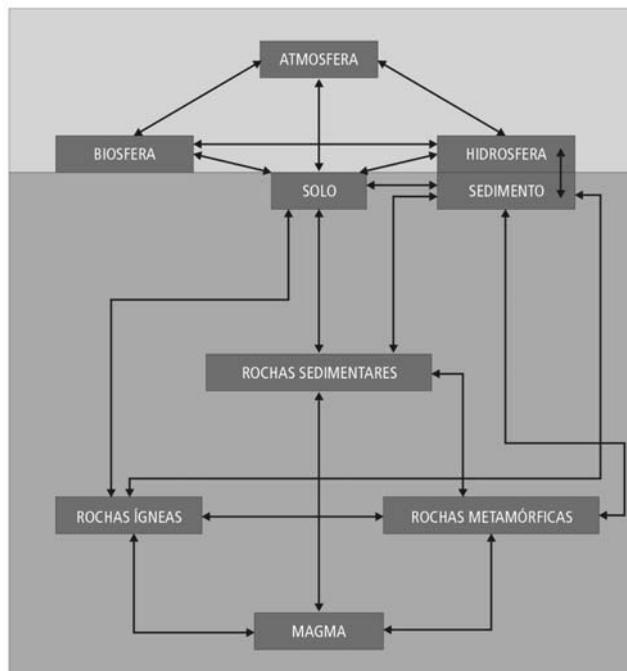
Nesta aula, estudaremos os ciclos biogeoquímicos do carbono (C), do nitrogênio (N) e do fósforo (P). Procuraremos indicar a importância desses ciclos, considerando uma perspectiva ecológica de aprendizagem. Você deverá compreender por que a manutenção de estoques e concentrações em compartimentos e de fluxos entre compartimentos representa um estado de equilíbrio extremamente complexo e delicado para a nossa sobrevivência no planeta.

A organização ambiental — física e biológica — observada na Terra está relacionada a certos padrões de fluxo, estoque e concentração de diferentes espécies químicas ocorrentes nas geosferas: atmosfera, litosfera, pedosfera, hidrosfera e biosfera. Alterações nesses padrões, por fatores naturais ou antrópicos, podem comprometer, portanto, a ordem ambiental da Terra e, conseqüentemente, a existência de populações biológicas e dos ecossistemas tal como os conhecemos. Diante das muitas alterações ambientais produzidas recentemente por atividades humanas – especialmente após a revolução industrial –, conhecer ou ‘monitorar’ os ciclos biogeoquímicos de certos elementos-chave representa uma aplicação especialmente importante, concreta e pragmática para o gerenciamento ambiental presente e para uma avaliação sobre o futuro do nosso planeta.

## CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Ciclos biogeoquímicos envolvem uma idéia de migração / transformação cíclica de elementos/compostos químicos entre os compartimentos biótico e abiótico, em função da participação de processos físicos, químicos, biológicos e geológicos, considerando diferentes escalas de tempo e espaço. As principais rotas de migração dos elementos químicos entre compartimentos e geosferas são mostradas na **Figura 11.1**. Na mesma figura também podemos ver a distinção que há entre o chamado ciclo exogênico (essencialmente ocorrente na superfície do planeta) e o endogênico (predominantemente associado a rochas de vários tipos). O sistema Terra é, no entanto, essencialmente fechado, e, portanto, a quantidade (massa) total dos diferentes elementos químicos é basicamente constante. Contudo, a distribuição dos estoques nas geosferas pode ser mais ou menos variável e depende dos diferentes processos cíclicos, organizados em diferentes escalas de tempo. Para se ter uma idéia, no caso do elemento carbono os ciclos podem levar entre 100 e 10<sup>9</sup> anos, dependendo dos

reservatórios e processos biogeoquímicos envolvidos. Numa escala geográfica, podemos estudar o ciclo biogeoquímico de um elemento químico num contexto global ou considerando localmente um ecossistema específico, aquático ou terrestre. Embora este tipo de abordagem represente uma fração de um ciclo maior, sua aplicação é de extrema valia para o entendimento dos ecossistemas. Aqui, no entanto, trataremos dos ciclos biogeoquímicos preferencialmente no âmbito de uma escala global, geral. A atualidade do tema pode ser atestada pelas recentes observações de tendências de mudança do ambiente em nosso planeta (por exemplo, aquecimento global, chuvas ácidas, eutrofização de sistemas aquáticos etc.)

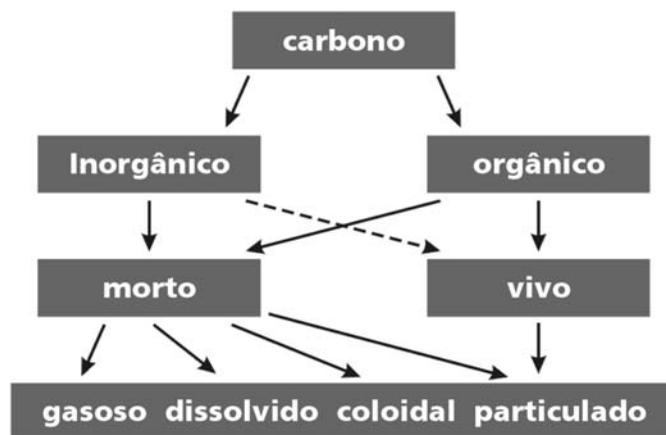


**Figura 11.1:** Principais rotas de migração de elementos/compostos químicos entre geosferas e compartimentos da litosfera. A área mais escura refere-se ao ciclo endogênico (predomínio associado a rochas de vários tipos), enquanto a área mais clara se refere ao ciclo exogênico (predominantemente superficial, acima da crosta terrestre). Note que os solos e sedimentos podem atuar como interfaces entre os dois tipos de ciclos (Fonte: adaptado de Manahan (1994) *Environmental Chemistry*).

## CICLO DO CARBONO (C)

### Estoques e Fluxos

O carbono está presente em todos os grandes compartimentos do planeta: na atmosfera, nos oceanos e outros sistemas aquáticos, nos solos, sedimentos, rochas e biota. Assim como muitos outros elementos essenciais, o carbono pode ser encontrado na natureza como mostrado na **Figura 11.2**. Devemos lembrar, no entanto, que o carbono tem uma importância especial para a biota, uma vez que ele constitui um elemento central na organização da matéria orgânica.



**Figura 11.2:** Formas química, biológica e física de apresentação do carbono. Na verdade, o esquema vale também para outros elementos essenciais como o nitrogênio e o enxofre. Já o fósforo, efetivamente, não se apresenta no estado gasoso. A seta tracejada (inorgânico – vivo) indica produtos biogênicos não associados a tecidos vivos (por exemplo, exoesqueletos, carbonato de cálcio).

Na Terra, a maior reserva de C encontra-se nos sedimentos e rochas da crosta onde estima-se haver uma quantidade igual a  $75 \times 10^{21}$  g (80% como carbonatos, 18% como *kerogen* e os outros 2% como carvão, petróleo etc.). Para se ter uma melhor idéia sobre o significado quantitativo desse número, ele equivale a cerca de 99,9% de todo o carbono encontrado no nosso planeta! Entretanto, essa reserva é basicamente estática, endogênica, inerte quimicamente, não sendo funcionalmente reativa às formas vivas. O fluxo anual de carbono atribuído, por exemplo, ao intemperismo do *kerogen* (usualmente identificado como a matéria orgânica amorfa e insolúvel de rochas sedimentares) equivale ao incorporado em sedimentos marinhos, sendo

igual a ~ 0,1-0,2 Pg (petagramas =  $10^{15}$  g). Isto é apenas ~ 0,1% do fluxo biológico de carbono ocorrente na superfície da Terra, que é igual a ~ 200 Pg (produção primária + mineralização). Conseqüentemente, o tempo de residência do carbono naqueles reservatórios é extremamente longo, aproximadamente 100 milhões ou 0,1 bilhão de anos! Portanto, em termos práticos, numa escala humana, a importância ecológica desse ciclo é mínima.

Como indicado anteriormente, apenas ~ 0,1% do carbono terrestre está efetivamente associado a sistemas superficiais, acima da crosta do planeta. O maior estoque de carbono ativo – disponível na superfície do planeta – encontra-se nos oceanos, na forma de carbono inorgânico dissolvido (CID, ~ 40.000 Pg C). Outros estoques de carbono quantitativamente importantes, presentes na superfície da Terra, incluem o associado:

- aos carbonatos e húmus dos solos (~ 3000 Pg C);
- ao dióxido de carbono atmosférico (~ 660 Pg C) e, em menor quantidade, ao metano ( $\text{CH}_4$ );
- às plantas terrestres (~ 600 Pg C);
- ao material orgânico dissolvido (~ 800 Pg C) presente nos oceanos e outros sistemas aquáticos, tipicamente referido como carbono orgânico dissolvido (COD).

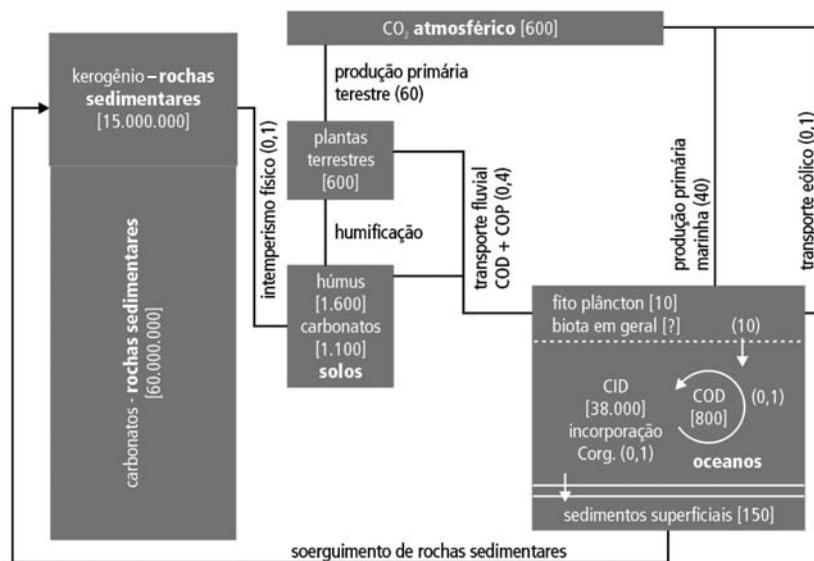
O fitoplâncton, apesar da sua importante participação global nos fluxos anuais de carbono fixado fotossinteticamente — cerca de 40% ou ~ 40 Pg —, é responsável por uma biomassa de apenas ~ 1-2% do carbono associado às plantas terrestres, o que equivale a cerca de 10 Pg C. Como já foi visto anteriormente, a fotossíntese global propicia um fluxo de aproximadamente 100 Pg C ano<sup>-1</sup>. De modo semelhante, o fluxo global de carbono liberado devido às atividades de respiração/mineralização da matéria orgânica praticamente equivale ao fixado pela produção primária.

Você sabia que existe um sistema internacional associado a grandezas? Através deste sistema, podemos, por exemplo, dizer que 1.000 anos é igual a 1 kano, ou que 1.000.000.000 de gramas é igual a 1 Gg!

Sistema Internacional (SI) de Unidades:

Prefixo	Símbolo	Fator
exa	E	$10^{18}$
peta	P	$10^{15}$
teta	T	$10^{12}$
giga	G	$10^9$
mega	M	$10^6$
kilo	k	$10^3$
hecto	h	$10^2$
deca	da	10
deci	d	$10^{-1}$
centi	c	$10^{-2}$
mili	m	$10^{-3}$
micro	$\mu$	$10^{-6}$
nano	n	$10^{-9}$
pico	p	$10^{-12}$
fento	f	$10^{-15}$
ato	a	$10^{-18}$

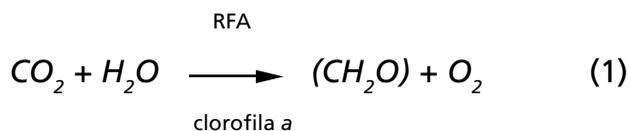
Devemos destacar ainda os fluxos físicos e essencialmente equitativos de carbono, ocorrentes entre os oceanos e a atmosfera, nos quais outros ~ 100 Pg C ano<sup>-1</sup> sofrem dissolução e evasão na forma de CO<sub>2</sub>. Um esquema integrado incluindo as maiores reservas de carbono orgânico e inorgânico do planeta e os fluxos médios anuais de carbono orgânico pode ser visto na **Figura 11.3**.



**Figura 11.3:** Representação esquemática dos principais reservatórios de carbono orgânico e inorgânico da Terra e fluxos de produção primária e de carbono orgânico no ciclo biogeoquímico global (pré-industrial). Valores entre colchetes se referem a estoques de carbono em Pg (= 10<sup>15</sup> g) e valores entre parênteses indicam fluxos anuais de carbono orgânico, também em Pg. Para simplificar, os fluxos de respiração não são mostrados. COP e COD se referem a carbono orgânico particulado e dissolvido. CID se refere a carbono inorgânico dissolvido (isto é, CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). (Dados compilados de vários autores, figura modificada de Hedger e Keil, 1995).

## Papel Biológico no Equilíbrio Redox do Carbono

Os fluxos globais de carbono associados à produção primária e à mineralização (respiração/decomposição) da matéria orgânica regulam, em grande parte, os estoques de carbono reduzido e oxidado nos reservatórios superficiais. Portanto, na Terra, o balanço redox do carbono reflete uma equilibrada e complexa ação biofísica. Num sentido geral, o ciclo redox do carbono apresenta uma ligação intrínseca com o ciclo de outros elementos biogeoquimicamente relevantes, como o do N, P, S e O. Isso se deve ao fato de que a constituição da matéria viva envolve certos elementos preferenciais em função da organização de certas biomoléculas qualitativa e quantitativamente importantes (por exemplo, proteínas, carboidratos). Dessa forma, através do ciclo do carbono podemos ter uma indicação sobre o ciclo de muitos outros elementos essenciais ou constitutivos da matéria orgânica. No caso do oxigênio, essa inter-relação pode ser compreendida pelas equações reversas associadas às atividades de fotossíntese oxigênica (1) e respiração aeróbia (2), como se segue (ver também o ciclo do oxigênio).



(CH<sub>2</sub>O) representa a matéria orgânica fotossintetizada (tipicamente glicose) e/ou respirada (por exemplo, glicólise), RFA se refere à região do espectro solar associado à radiação fotossinteticamente ativa (400-700nm).

Nesse ponto é importante sabermos que, além do metabolismo aeróbio, o mais abundante em nosso planeta, existem também organismos fototróficos (fotossintetizantes) anoxigênicos, quimiolitotróficos, quimiorganotróficos anaeróbios incluindo, neste último caso, aqueles que realizam respiração anaeróbia e fermentação. Bactérias metanogênicas, metanotróficas, homoacetogênicas, sulfato-redutoras, ferri-redutoras, desnitrificantes, entre outras, exemplificam várias possibilidades de metabolismo essencialmente anaeróbio, que também, obviamente, participam do ciclo do carbono. Um fato importante é que o carbono orgânico pode compor moléculas refratárias (ou recalcitrantes) e lábeis.

No primeiro caso, os compostos apresentam uma resistência relativamente elevada à degradação microbiológica. Ligninas e substâncias húmicas (humina, ácidos húmicos e fúlvicos) – produzidos por alterações e degradações parciais de fontes vegetais, principalmente – constituem exemplos típicos associados a esse grupo. Substâncias recalcitrantes são especialmente metabolizadas por organismos anaeróbios. Proteínas, carboidratos e lipídios, porém, constituem exemplos de macromoléculas lábeis — mais susceptíveis à ação enzimática de microrganismos, sendo preferencialmente oxidados em ambiente óxico. A participação relativa de compostos refratários ou lábeis deverá, desta forma, afetar o ciclo do carbono em ecossistemas específicos. Isto é, o ciclo tenderá a ser mais lento ou mais rápido se apresente em maior abundância, respectivamente, compostos do primeiro e do segundo tipo.

Como podemos perceber, todos os organismos, aeróbios e anaeróbios, têm uma participação no ciclo do carbono. Nesse sentido, a manutenção no tempo de condições ambientais minimamente conservativas ou estáveis pode ser compreendida como o resultado de um amplo e complexo equilíbrio redox ocorrente no nosso planeta.

## Paleo-CO<sub>2</sub>

Numa escala de tempo geológico há indicações de que as concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico nem sempre estiveram situadas dentro das faixas associadas ao tempo recente ou atual. Através da utilização de modelos teóricos (por exemplo, Berner, 1991) e considerando uma abrangência temporal próxima a 600 milhões de anos antes do presente, podemos verificar razões CO<sub>2</sub>(t)/CO<sub>2</sub>(0) tão variadas quanto ~18 e 0. Por essa escala cronológica podemos observar que os níveis de CO<sub>2</sub> atmosférico tenderam a diminuir à medida que nos aproximamos do tempo recente. Em grande parte, o resultado final daquela evolução de CO<sub>2</sub> atmosférico reflete uma excedente fixação fotossintética de carbono em comparação ao carbono orgânico oxidado por processos respiratórios. O desequilíbrio entre esses dois processos resultou, simultaneamente, por um lado, em um acúmulo de oxigênio e, por outro, em uma diminuição das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera da Terra.

## CO<sub>2</sub> Hoje

Apesar da verificação das observações anteriormente referidas, uma preocupação contemporânea de muitos cientistas está relacionada ao fato de que a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico vem crescendo consistentemente desde o início da revolução industrial até os dias atuais, de cerca de 275 para 365 ppmv (partes por milhão por volume), e esta tendência se mantém. Mas, se a concentração de dióxido de carbono na atmosfera chegou, pelo menos em tese, a ser 18 vezes maior que a atual, por que então deveríamos nos preocupar com os atuais níveis de CO<sub>2</sub> atmosférico? Pense nisso antes de continuar a sua leitura!

Como o CO<sub>2</sub> é um ‘gás-estufa’ — que absorve parte da radiação eletromagnética emitida da superfície da Terra em direção à atmosfera —, o aumento da sua concentração acarretará, possivelmente, um aquecimento global e uma mudança sobre o padrão climático atual. Podemos prever, principalmente, uma importante modificação no atual padrão hidrológico do planeta, com alterações de distribuição e intensidade de chuvas, bem como uma diminuição (fusão) de geleiras e conseqüente elevação do nível do mar. Nesse caso, as populações que vivem próximas às regiões costeiras seriam particularmente afetadas.

Problemas relacionados a intensas tempestades, inundações e secas rigorosas seriam provavelmente intensificados e os ecossistemas teriam de ser reorganizados nas várias regiões do planeta. Aqui percebemos a complexidade que é o corolário ambiental: uma modificação nas atuais concentrações de  $\text{CO}_2$  atmosférico pode afetar o comportamento do ciclo hidrológico e do clima em várias regiões do planeta. Essas questões práticas indicam a importância da regulação natural, física e biológica, do ciclo biogeoquímico do carbono para a manutenção das atuais condições ambientais da Terra e, ainda, também mostram que o homem pode perturbar todo esse equilíbrio (para o seu enriquecimento, leia o Texto Complementar 1, “Influências Antrópicas sobre o Carbono Atmosférico”).

#### TEXTO COMPLEMENTAR 1. INFLUÊNCIAS ANTRÓPICAS SOBRE O CARBONO ATMOSFÉRICO

Por que exatamente estariam aumentando as concentrações médias de dióxido de carbono na atmosfera terrestre? De que forma estaria o homem perturbando o ciclo biogeoquímico do carbono? O fato é que, aparentemente, a intensa e contínua demanda por recursos energéticos e materiais utilizados para sustentar o modelo econômico-tecnológico-cultural das populações humanas começa a não ser suportado pela capacidade tampão que o ambiente naturalmente apresenta. Pelo menos é o que tem sido observado numa escala de  $10^2$  anos. Há uma injeção artificial de dióxido de carbono devida, principalmente, à queima de combustíveis fósseis e mudanças nos usos da terra, como, por exemplo, destruição de florestas por atividades de desmatamento e queimadas. Por essas ações antrópicas calcula-se que aproximadamente 7 Pg de C (na forma de  $\text{CO}_2$ ) sejam lançados anualmente para a atmosfera. Calcula-se também que ~46% dessa entrada seja compartimentalizada naquele reservatório e ~29% nos oceanos. O destino do restante, ~25%, ainda é motivo de especulação e de incertezas. De qualquer modo, para a atmosfera, aquela injeção de  $\text{CO}_2$  representa um aumento líquido anual de aproximadamente 0,5% de carbono sobre o seu atual estoque, que é de ~ 660 Pg (observar a **Figura 11.3**).

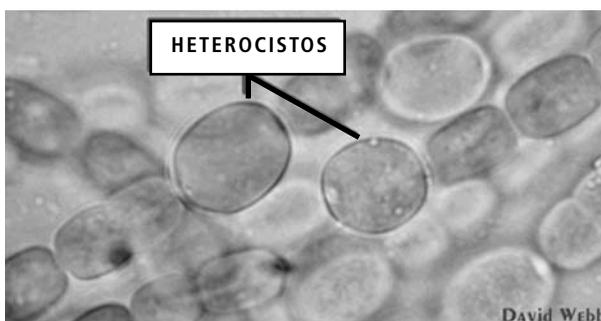
## CICLO DO NITROGÊNIO (N)

### Participação biológica

Na constituição da matéria viva, o nitrogênio assume um papel relevante na composição de biomoléculas vitais. Na forma orgânica compõe os aminoácidos, peptídeos, proteínas, ácidos nucleicos, além de muitos outros constituintes menores. Na natureza, ele existe em muitos estados de oxidação, desde - 3 (por exemplo,  $\text{NH}_3$ ) a + 5 (por exemplo,  $\text{NO}_3^-$ ). Apesar da sua abundância na atmosfera, cerca de 78% por peso, sua forma química, como nitrogênio molecular ( $\text{N}_2$ ,  $\text{N}=\text{N}$ ), é do ponto de vista termodinâmico a mais estável e também a mais inerte das formas vivas. Nesse sentido, microrganismos fixadores de nitrogênio molecular atuam como se fossem uma espécie de ‘gargalo’ biológico, disponibilizando nitrogênio a outros organismos incapazes de realizar esse processo de fixação. A importância ecológica desses organismos é, portanto, chave na organização do ciclo biogeoquímico do nitrogênio.

Em certos contextos ambientais onde há pobreza de nutrientes inorgânicos nitrogenados, fixar  $\text{N}_2$  representa uma vantagem competitiva aos organismos que apresentam essa capacidade. Certas plantas (por exemplo, leguminosas) também se beneficiam da associação com bactérias fixadoras de nitrogênio. Solos agrícolas ou naturais podem assim sofrer uma menor perda de nutrientes nitrogenados e serem mais férteis em função da presença desses tipos de organismos.

Os organismos fixadores de nitrogênio são relativamente pouco numerosos, sendo principalmente representados por uma série de cianobactérias (**Figura 11.4**) e outros procariontes aeróbios como por exemplo *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*. *Clostridium pasteurianum*, uma bactéria fototrófica anoxigênica, também é capaz de fixar  $\text{N}_2$  em meio anóxico. No processo biológico de fixação, o  $\text{N}_2$  acaba sendo convertido em amônia ( $\text{NH}_3$ ). Semelhantemente ao que ocorre com a fixação de carbono inorgânico por processos fotossintéticos, estima-se que 60% do nitrogênio fixado biologicamente ocorram nos ambientes terrestres e 40% nos ambientes aquáticos.



**Figura 11.4:** Detalhe de *Anabaena*, uma cianobactéria, mostrando em destaque heterocistos (estruturas responsáveis pela fixação de N molecular). Fonte: [www.botany.hawaii.edu/.../AkineteHeterocystLMHigh300Lab.jpg](http://www.botany.hawaii.edu/.../AkineteHeterocystLMHigh300Lab.jpg)

Ainda considerando as principais transformações bioquímicas do nitrogênio, é importante conceituar os processos de nitrificação, assimilação (imobilização), amonificação e desnitrificação. Na nitrificação, a amônia — um composto volátil — ou o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) são primeiro transformados em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) por um grupo de bactérias do gênero *Nitrosomonas* e, seqüencialmente, o nitrito é convertido a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) por um outro grupo de bactérias denominado *Nitrobacter*. Tanto o amônio quanto o nitrato podem ser assimilados por algas e/ou vegetais superiores, sendo convertidos em aminas de grupos protéicos, principalmente. O processo de nitrificação ocorre na dependência da presença de oxigênio molecular. Inversamente, por processos de decomposição e/ou putrefação de compostos orgânicos, pode haver desaminação e geração de amônia (amonificação), que pode ocorrer tanto em meio óxico quanto em meio anóxico. No processo de desnitrificação em ambientes subóxicos ou anóxicos (por exemplo, sedimentos subsuperficiais) e ricos em matéria orgânica morta, o nitrato é utilizado como aceptor de elétrons (respiração anaeróbia), gerando nitrito. Por sua vez, o nitrito é transformado em óxidos nitrosos ou diretamente em nitrogênio molecular. *Pseudomonas*, *Bacillus* e outros gêneros de bactérias aeróbias facultativas podem atuar no processo de desnitrificação. A geração de  $\text{N}_2$  pela desnitrificação fecha o ciclo biologicamente mediado do nitrogênio.

Uma visão simplificada das principais biotransformações do N é apresentada na **Tabela 11.1**. Observe o caráter cíclico e a separação dos processos e de organismos em função da característica ambiental, óxica ou anóxica.

**Tabela 11.1:** Síntese das principais biotransformações sofridas pelo N nos ciclos biogeoquímicos.

Processo	Reações	Características relevantes
Fixação de N <sub>2</sub>	$2N_2 + 6H_2O \rightarrow 4NH_3 + 3O_2$	O processo requer energia luminosa ou química. Exemplos de organismos fixadores: Rhizobium, Azobacter, Gloeocapsa, Plectonema.
Mineralização (por exemplo, amonificação)	N-orgânico N-inorgânico	Reação desassimilativa (oxidação).
Imobilização (assimilação)	N-inorgânico N-orgânico $NH_4^+$ R-NH <sub>2</sub> $NO_3^-$ R-NH <sub>2</sub>	Reação assimilativa (redução) realizada por produtores primários e certas bactérias.
Amonificação (produção de N-amoniaca)	N-orgânico R-NH <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> + Energia + outros produtos (1)  R-NH <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> OH <sup>-</sup> (2)	(1) Consumo heterotrófico do pool orgânico e liberação de aminas e aminoácidos;  (2) Microrganismos heterotróficos como fungos e bactérias realizando a amonificação propriamente dita dos produtos aminados.
Nitrificação (oxidação de amônia/amônio até nitrato)	$2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$ + Energia (3)  $2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^- +$ Energia (4)	(3) libera 65 kcal/mole de energia (realizado pelo grupo nitrosomonas) – afeta a taxa de transformação de nitrito a nitrato;  (4) libera 17,8 kcal/mole de energia (realizado pelo grupo nitrobacter).
Desnitrificação (transformação de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ou NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> a N <sub>2</sub> O ou N <sub>2</sub> )	$4NO_3^- + 2H_2O \rightarrow 2N_2 + 5O_2 + 4OH^-$  $C_6H_{12}O_6 + 6NO_3^- \rightarrow 6CO_2 + 3H_2O + 6OH^- + 3N_2O +$ Energia (5)  $5S + 6KNO_3 + 2CaCO_3 \rightarrow 3K_2SO_4 + 2CO_2 + 3N_2$ (6)	(5) Realizada por <i>Pseudomonas</i> ;  (6) Ambiente anóxico/subóxico no qual o nitrato ou o nitrito serve como acceptor final de elétrons na oxidação da matéria orgânica. Processo realizado por muitas bactérias anaeróbias e/ou aeróbias facultativas;  (7) Certos organismos quimioautotrofos (por exemplo, <i>Thiobacillus</i> ) também podem realizar desnitrificação (6).

## Estoques e fluxos

Numa perspectiva mais propriamente biogeoquímica, o ciclo global do nitrogênio pode ser resumido assim: o maior estoque encontra-se ‘aprisionado’ nas rochas e equivale a cerca de  $190 \times 10^{21}$  g, que é cerca de 2,5 vezes maior que o estoque de carbono no mesmo reservatório. Do mesmo modo, na atmosfera, o estoque de nitrogênio é muito superior ao de carbono, sendo igual a  $\sim 3,8 \times 10^{21}$  g contra os  $0,0006 \times 10^{21}$  g C. Os fluxos biologicamente mediados e os estoques orgânicos são, no entanto, bem mais baixos que os observados para o carbono. Assim, por exemplo, a fixação fotossintética do carbono no planeta é cerca de  $\sim 417$  vezes maior que a associada ao nitrogênio ( $100 \text{ Pg C ano}^{-1} : 0,24 \text{ Pg N ano}^{-1}$ ) e o estoque de nitrogênio em plantas terrestres e fitoplâncton marinho é em média, respectivamente, cerca de 50 e 30 vezes menor que o de carbono nesses vegetais ( $600 \text{ Pg C} : 12 \text{ Pg N}$ ;  $10 \text{ Pg C} : 0,3 \text{ Pg N}$ ). Esses números indicam que não há, necessariamente, relação quantitativa, proporcional, entre as reservas de um determinado elemento nas geosferas do planeta e da sua abundância na constituição da biota. As propriedades químicas dos elementos devem, nesse sentido, representar um fator relevante para a organização e evolução da matéria viva.

## TEXTO COMPLEMENTAR 2. N ARTIFICIAL X EUTROFIZAÇÃO

Como anteriormente mencionado, a principal via biológica que disponibiliza o  $N_2$  atmosférico numa forma assimilável para os produtores primários decorre da fixação de nitrogênio por certos organismos procariontes. Parte da fixação natural de nitrogênio ocorrente na Terra se dá ainda por processos físicos através de descargas elétricas na atmosfera — aproximadamente 85% da fixação natural de nitrogênio na Terra é de origem biológica. Entretanto, uma certa quantidade de nitrogênio também é fixada por processos mediados antropogenicamente em função da queima de combustíveis fósseis ( $\sim 25 \text{ Tg ano}^{-1}$ ), ou industrialmente através da produção de fertilizantes nitrogenados para a agricultura ( $\sim 85 \text{ Tg ano}^{-1}$ ), ou ainda através do cultivo de leguminosas ( $\sim 30 \text{ Tg ano}^{-1}$ ), além da queima de vegetação terrestre. Essa geração de nitrogênio antrópico traz conseqüências ambientais expressas principalmente na organização trófica de certos ecossistemas aquáticos. Nesse sentido, tem sido observado um aumento na freqüência e abrangência geográfica de problemas relacionados à eutrofização (enriquecimento nutricional) de lagoas, rios e sistemas aquáticos costeiros, com formação de *blooms* algais, incluindo organismos produtores de toxinas (por exemplo, certos dinoflagelados e cianobactérias, principalmente). A migração de espécies nitrogenadas do ambiente terrestre para o aquático se dá, principalmente, por lixiviação de certos compostos presentes nos solos ou por deposição atmosférica seca e/ou úmida. Entretanto, a mobilidade dos compostos não é necessariamente a mesma. A amônia anidra, por exemplo, tende a se transformar em íon amônio ( $NH_4^+$ ) em pH ácido e, nesse caso, a mobilidade diminui por causa da atração eletrostática com argilo-minerais presentes nos solos, os quais apresentam carga líquida negativa. Já o nitrato, apesar de ser prontamente assimilado pelas plantas, é também muito solúvel em água, sendo mais facilmente lixiviado e transportado para corpos d'água adjacentes. Nesse sentido, a adição de certos inibidores de nitrificação em fertilizantes amoniacais tem aumentado a eficiência de fertilização e prevenido, em parte, a poluição de corpos d'água. Ainda assim, devemos lembrar que parte do nitrogênio amoniacal adicionado aos solos pode sofrer volatilização e ser depositada por via atmosférica em sistemas aquáticos. Outros problemas ambientais colaterais, relacionados à produção antrópica de N, são a chuva ácida e a destruição da camada de ozônio por liberações de óxidos de nitrogênio.

## CICLO DO FÓSFORO (P)

O ciclo do P não apresenta fase gasosa, mas ainda assim certa quantidade desse elemento é transportado via atmosfera em função da ação da energia do vento (eólica) sobre partículas de poeira fosfatadas, liberadas de solos e rochas. Comparativamente ao ciclo do C e do N, o ciclo global do P é eminentemente lento, endergônico, sendo essencialmente dirigido do continente para os oceanos. O seu retorno ao continente se dá através do ciclo das rochas em função de movimentos tectônicos e atividade vulcânica, num processo cíclico que leva entre  $10^3$  a  $10^6$  anos.

Nos solos, o P encontra-se principalmente como fosfato de cátions maiores (por exemplo, Ca, K, Mg e Fe). Normalmente, as formas químicas do P são pouco solúveis em água, sendo muitas vezes um elemento limitante à vida vegetal. Assim como o C e o N, o P também é um elemento essencial (também classificado como macronutriente), sendo, no entanto, requerido em menor quantidade que os primeiros. Na matéria viva, o fósforo está presente nos ácidos nucleicos, nas moléculas transferidoras de energia de ligações fosfato, sistema ADP-ATP (adenosina di- e trifosfato, respectivamente), nas coenzimas nucleotídicas, por exemplo, nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADP) e muitas outras moléculas como em fosfolipídios. O P é também estruturalmente essencial para o desenvolvimento de ossos e dentes em espécies animais. A presença de compostos artificiais de P nos ambientes terrestre e aquático está relacionada principalmente ao emprego de inseticidas organofosforados em culturas agrícolas, os quais, de um modo geral, são extremamente tóxicos aos organismos.

Muitas vezes o P torna-se um fator-chave, responsável pela eutrofização de sistemas aquáticos (assim como o N), especialmente quando disponibilizado em maior quantidade para organismos vegetais limitados por aquele elemento. Fundamentalmente, esses problemas derivam de ações humanas associadas à fertilização agrícola, aporte de esgotos domésticos e industriais, desmatamento e erosão de solos, que acabam por enriquecer artificialmente a concentração de P em muitos ambientes aquáticos continentais, principalmente.

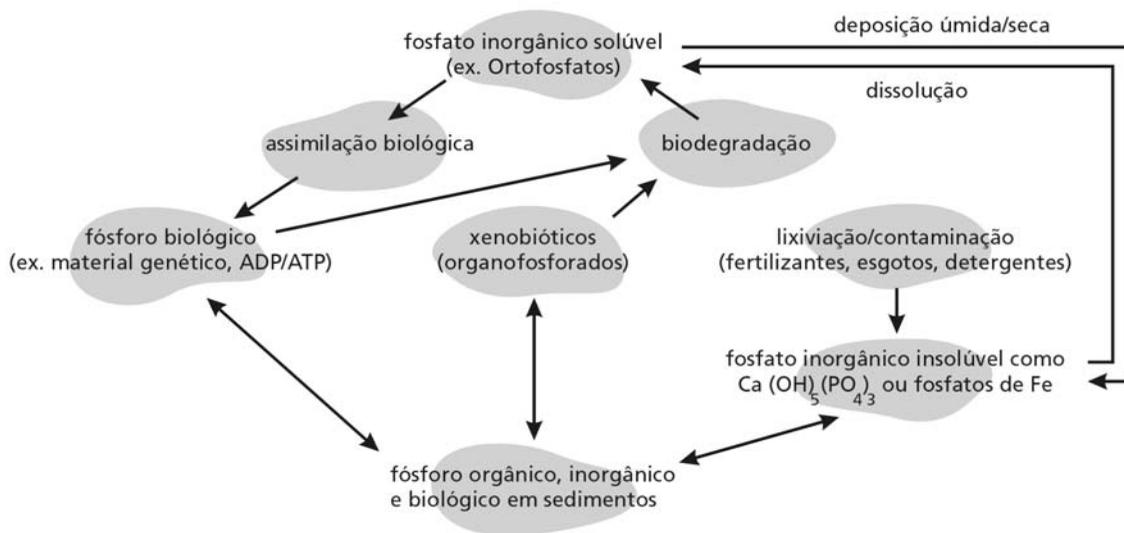
Como foi mencionado, o ciclo do P é relativamente lento se considerados os processos globais de intemperismo de rochas fosfatadas e a sua pouca mobilidade em água. Entretanto, essa pouca disponibilidade faz com que os organismos vegetais assimilem o P ativamente, quando disponível nos ecossistemas. Assim, numa escala humana, o ciclo do fósforo tem mais sentido se estudado localmente, considerando a organização hierárquica dos ecossistemas. Nos sistemas terrestres, observa-se muitas vezes que uma grande parte do P absorvido pelas plantas é reciclado no mesmo ambiente, retornando ao solo. Nos sistemas aquáticos, a principal forma solúvel e biodisponível ao fitoplâncton e macrófitas aquáticas é o ortofosfato. Nos lagos, a disponibilização de P pode se dar internamente pela solubilização de compostos fosfatados presentes nos sedimentos, sendo esse processo facilitado em condições ambientais de pouco ou nenhum oxigênio dissolvido. Na **Figura 11.5**, podemos observar importantes processos comumente verificados em ecossistemas aquáticos continentais.

Nos oceanos, a disponibilidade de P é especialmente marcante em áreas de ressurgência, em função de processos de advecção horizontal e vertical, que propiciam o afloramento de águas profundas e ricas em nutrientes às camadas iluminadas, as quais são propícias à realização de fotossíntese. O P é então transferido para outros organismos via trófica e a sua reentrada no ambiente físico superficial se dá em função da liberação de exudatos, excretas e material fecal pela biota em geral, além da mineralização da matéria orgânica morta. O *guano*, material fecal produzido por aves marinhas, é particularmente rico em fósforo, representando uma importante fonte desse elemento nos ambientes costeiros povoados por esses tipos de organismos. O material não aproveitado pode ser incorporado em sedimentos e rochas sedimentares e pode formar deposições fósseis de organismos marinhos.

Nas últimas décadas, tem-se discutido e avaliado a possibilidade de se utilizar macrófitas aquáticas (por exemplo, *Eichhornia crassipes*, aguapé) como bioacumuladoras de substâncias tóxicas, metais pesados e nutrientes nitrogenados e fosfatados, a fim de reduzir a poluição de corpos d'água.

Esse tipo de tratamento é particularmente desenvolvido na Índia, China e em países do sudeste asiático. Entretanto, a utilização de plantas aquáticas em larga escala para tratamento de esgotos e despoluição de corpos d'água depende ainda de avaliações experimentais mais profundas e consistentes.

Nesse ponto, concluímos importantes aspectos relacionados aos ciclos biogeoquímicos do C, N e P – importantes elementos constitutivos da matéria viva em nosso planeta. Na verdade, não devemos nos esquecer de que há uma relação intrínseca entre os ciclos biogeoquímicos de elementos essenciais, uma vez que a constituição da matéria viva depende de certas proporções mínimas entre esses elementos para o exercício de sua funcionalidade (crescimento e a sua própria existência). Na próxima aula, trataremos ainda do ciclo hidrológico e dos ciclos do oxigênio e do enxofre e finalizaremos então esse tema, relativo aos ciclos biogeoquímicos.



**Figura 11.5:** Representação esquemática de importantes processos comumente ocorrentes em ecossistemas aquáticos interiores (Adaptado de Manahan, S.E., *Environmental Chemistry*. Lewis Publishers, 811pp.).

**RESUMO**

Nesta aula, aprendemos como os ciclos biogeoquímicos operam de um modo geral. Introduzimos no estudo termos de aprendizagem como compartimentos, estoques, concentrações e fluxos de elementos. Nesse sentido, apresentamos a distribuição dos principais estoques de C, N e P nas geosferas do planeta e discutimos os principais processos de superfície que envolvem transformações (física, química e biológica) daqueles elementos em seus ciclos biogeoquímicos. Ressaltamos, ainda, alguns problemas ambientais associados, principalmente, a alguns tipos de perturbação antrópica.

**EXERCÍCIOS**

1. O que são ciclos biogeoquímicos?
2. Por que estudar ciclos biogeoquímicos?
3. É possível estudar o ciclo biogeoquímico de um elemento tanto num ecossistema específico — como, por exemplo, num lago — como globalmente?
4. Onde estão localizados e quais são os três maiores estoques de carbono e de nitrogênio da Terra?
5. Dê exemplos de como certas ações antrópicas podem perturbar os ciclos biogeoquímicos e a ordem ambiental do planeta.
6. Como o carbono fixado na matéria viva é ciclicamente disponibilizado para nova fixação biológica?
7. Conceitue e explique as principais transformações biológicas sofridas por moléculas nitrogenadas no ciclo do nitrogênio.
8. Por que o fósforo muitas vezes atua como um elemento-chave na regulação da abundância de organismos vegetais em sistemas aquáticos?
9. Como o fósforo é transportado no meio atmosférico?

## ORIENTAÇÃO PARA A RESOLUÇÃO DOS EXERCÍCIOS

1. O aluno deverá expor em sua resposta a noção de migração cíclica dos elementos nos compartimentos ambientais e indicar ou exemplificar a participação de processos físicos, químicos e biológicos.
2. O aluno deverá ressaltar a importância ambiental — física e biológica — da manutenção de estoques, concentrações e fluxos de elementos entre os compartimentos da Terra (ou em um ecossistema) para que possa suportar um ambiente adequado à sobrevivência das espécies.
3. Neste quesito, o aluno deverá incorporar a noção de sistema de estudo (Terra, mata, rio, lago etc.) e associá-lo a uma escala funcional de trabalho. Deve ser capaz de compreender que o comportamento biogeoquímico de um elemento está associado à definição de um sistema e compartimentos inseridos.
4. O aluno deverá se reportar aos itens “Estoques e Fluxos” associados aos ciclos do carbono e do nitrogênio, observar a **Figura 11.3** e consultar a **Tabela 11.1**.
5. No caso do carbono, o aluno deverá associar práticas antrópicas como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento de florestas a efeitos de aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico e associações de natureza climática (por exemplo, efeito estufa). No caso do nitrogênio e do fósforo, o aluno poderá associar efeitos secundários de fertilização de terras agriculturáveis e do despejo de esgotos domésticos sobre corpos d’água, levando estes à eutrofização.
6. O aluno deverá indicar a complementaridade que há entre os processos biológicos de produção primária e de mineralização da matéria orgânica, utilizando, se possível, equações associadas aos processos referidos.
7. O aluno deverá se familiarizar com a terminologia específica, referente aos processos de transformação biológica de compostos nitrogenados (por exemplo, nitrificação), indicando o principal substrato e produto de cada transformação.
8. O aluno deverá associar a baixa disponibilidade de fósforo nos ecossistemas à natureza do ciclo biogeoquímico deste elemento, e, secundariamente, incorporar a idéia de fator limitante (associada à lei do mínimo, de Liebig) como fator-chave para o crescimento de populações vegetais.
9. O aluno deverá explicar a importância dos ventos para a dispersão de partículas fosfatadas, e ressaltar que o P não se apresenta, significativamente, em estado gasoso.

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Perceber a importância geral dos ciclos biogeoquímicos da água, do oxigênio e do enxofre na organização ambiental do planeta;
- Conhecer os principais estoques e fluxos de H<sub>2</sub>O, O e S no nosso planeta, e os principais processos biogeoquímicos envolvidos;
- Identificar questões/problemas ambientais associados aos ciclos biogeoquímicos da água, do oxigênio e do enxofre.

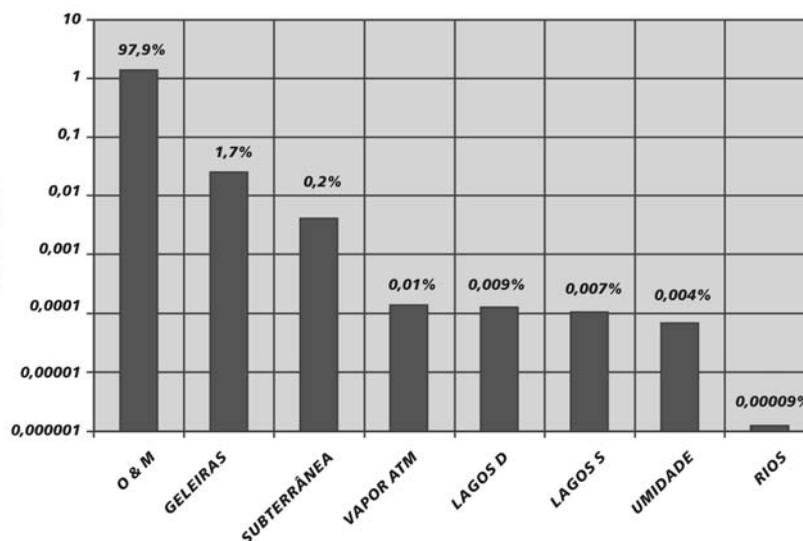
## INTRODUÇÃO

Na aula anterior estudamos os ciclos do C, N e P; nesta aula estudaremos os ciclos da água (H<sub>2</sub>O), do oxigênio (O) e do enxofre (S), procurando identificar a importância dos mesmos numa perspectiva ecológica de aprendizagem. Assim como na aula anterior, você deverá compreender porque a manutenção de estoques, concentrações e fluxos — de elementos/compostos — representa um estado de equilíbrio extremamente complexo e delicado para a nossa sobrevivência no planeta. Embora todo elemento essencial tenha um ciclo biogeoquímico associado, podendo apresentar particularidades específicas, acreditamos que o aprendizado relativo aos ciclos do C, N, P, H<sub>2</sub>O, O e S seja suficiente e representativo do tema “ciclos biogeoquímicos”.

### CICLO DA ÁGUA (HIDROLÓGICO) UMA APRESENTAÇÃO GERAL

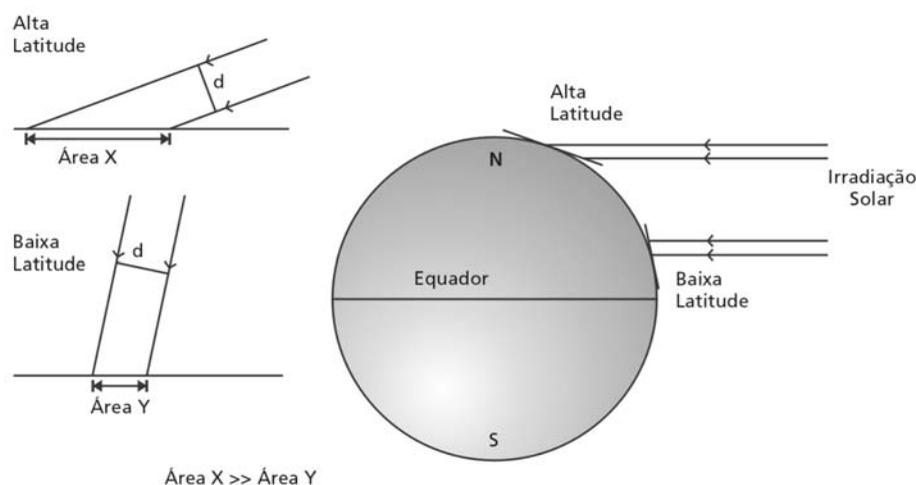
A água está presente em todas as geosferas do nosso planeta. Quantitativamente, no entanto, o ciclo hidrológico é essencialmente exogênico (associado às superfícies do planeta) e físico (exossomático, abiótico). Nas superfícies da Terra encontramos água nos estados líquido (sistemas aquáticos, água subterrânea), gasoso (vapor d’água atmosférico) e sólido (geleiras). A distribuição, absoluta e relativa, dos estoques de água superficial e subsuperficial em nosso planeta pode ser visto na **Figura 12.1**. Como podemos perceber, as principais reservas de água doce (geleiras, subterrânea, lagos e rios) não chegam a 2% do total de água encontrado junto às superfícies da Terra, que equivale a  $\sim 1,5 \times 10^9$  km<sup>3</sup>.

**Figura 12.1:** Participação volumétrica, relativa e absoluta, das principais reservas de água da Terra: oceanos e mares (O & M), glacial (geleiras), atmosférica (vapor ATM), lagos doces e salgados (lagos D, lagos S), umidade associada a solos e subsolos (umidade) e fluvial (rios).



Essencialmente, a radiação solar governa a distribuição dos principais estoques e fluxos de água da Terra. Em função da geometria oblato-esferoidal, isto é, uma forma esférica, mas apresentando um certo achatamento, a intensidade de radiação é heterogênea na superfície da Terra, sendo comparativamente menor nas altas latitudes em relação às baixas (Figura 12.2). Outros fatores igualmente importantes para a definição do ciclo hidrológico na Terra relacionam-se:

- à inclinação do eixo polar;
- aos movimentos de rotação e translação;
- à distribuição de terras emersas e oceanos.



**Figura 12.2:** Radiação solar na superfície da Terra. Note o motivo de a irradiação solar nas altas latitudes serem menores que nas baixas latitudes. Um mesmo fluxo de fótons é distribuído em áreas significativamente diferentes (no exemplo, áreas x e y).

Fundamentalmente, esses fatores são relativamente conservativos, e as regularidades observadas no ciclo hidrológico refletem, em grande parte, esse complexo astrofísico. Atualmente, as regularidades do ciclo hidrológico e dos padrões climáticos parecem, no entanto, estar ameaçados pela produção aumentada de ‘gases-estufa’ (ex.,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), especialmente evidenciado após a revolução industrial. Como mencionado na aula relativa ao ciclo do carbono, a participação crescente de gases-estufa na atmosfera pode perturbar as relações entre temperatura, ciclo hidrológico e o clima da Terra.

## CICLO HIDROLÓGICO: AMBIENTE E VIDA

Dentre os principais processos de fluxo cíclico de água destacam-se os fenômenos de precipitação e evaporação (Figura 12.3). A absorção de radiação solar pela água realiza o trabalho de evaporação. Devido ao seu *alto calor latente de vaporização*, são necessárias 585 calorias para evaporar um grama de água a 20°C, sem que haja mudança da temperatura. As plantas terrestres também contribuem com o ciclo hidrológico através da absorção e evapotranspiração de água. Contudo, o vapor d'água atmosférico, ao sofrer condensação, libera a mesma quantidade de calor e potencializa o fenômeno da precipitação (como água líquida ou gelo). Essas propriedades são importantíssimas para a realização de transferência e balanço de calor na Terra, essencialmente dos mares para a atmosfera, e das regiões de média latitude para os extremos polares. Observe que o ciclo hidrológico não se resume ao ciclo da água, mas também armazena e transporta calor.

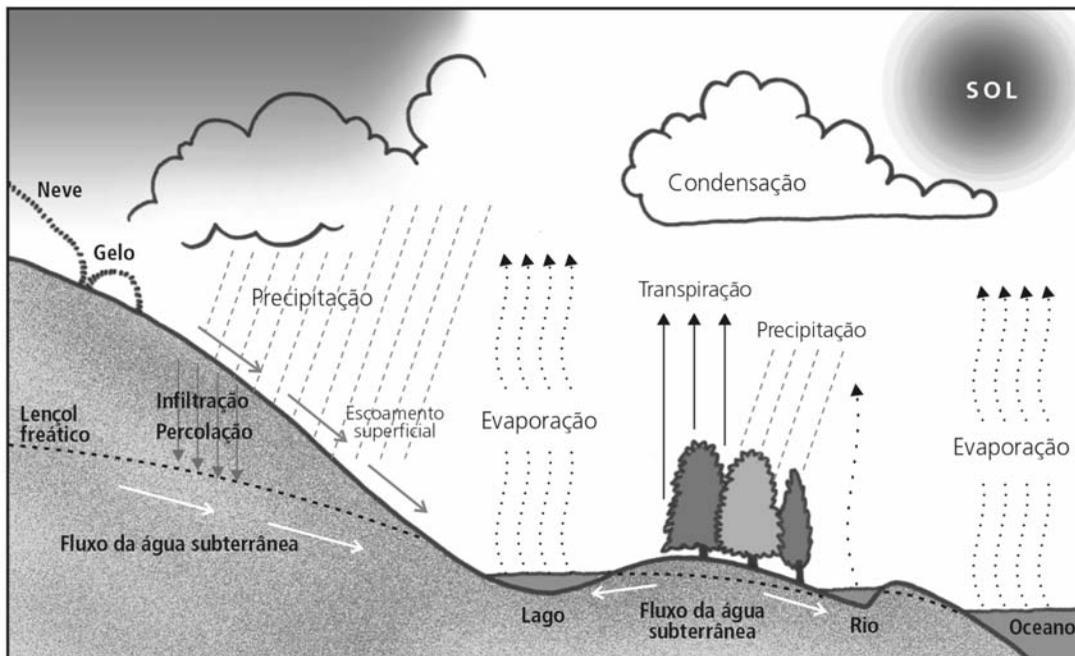
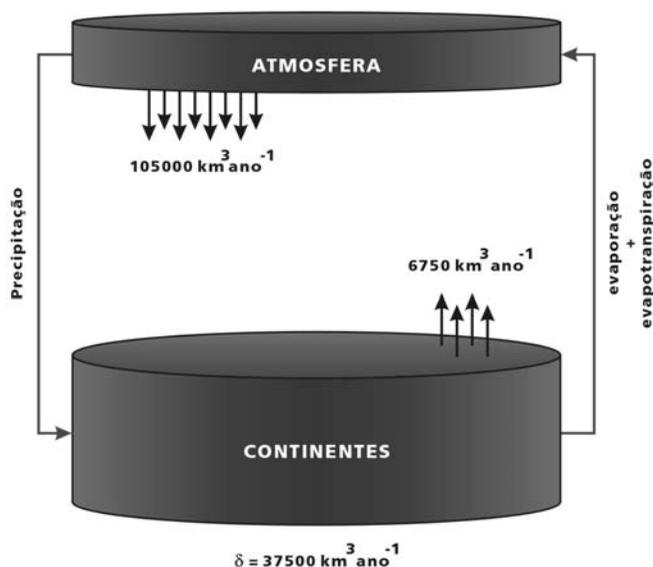


Figura 12.3: Processos físicos do ciclo hidrológico. Observe como se destaca a representação do fenômeno de precipitação em detrimento da evaporação/evapotranspiração nas terras emersas.

Devemos notar que, apesar de haver um balanço de massa estacionário entre os fluxos globais de evaporação/transpiração e precipitação (ver Dinâmica da Terra, Aula 1), nos continentes, o primeiro processo é quantitativamente menor do que o segundo (Figura 12.3).

Devido a esse “simples” padrão de circulação de água e transporte de energia, entre oceanos e continentes, temos um excedente de água nos continentes ou um potencial hídrico de utilização. Isto é, o desequilíbrio entre os processos de evaporação/evapotranspiração e precipitação nos continentes dá uma idéia do potencial teórico, aparente, de água doce disponível às populações humanas (Figura 12.4, leia o Texto Complementar 1: "Água Doce – Um Recurso Limitado"). Em termos reais, no entanto, a disponibilidade de água doce para a população humana mundial deve ser muitíssimo menor, visto que o mal uso e a deterioração dos recursos hídricos afeta negativamente essa disponibilidade. Além disso, apesar de representar uma ínfima quantidade em relação ao reservatório oceânico ( $\sim 0,003\%$ ), os  $37.500 \text{ km}^3$  repostos anualmente aos oceanos equilibram o ciclo global anual da água em nosso planeta.



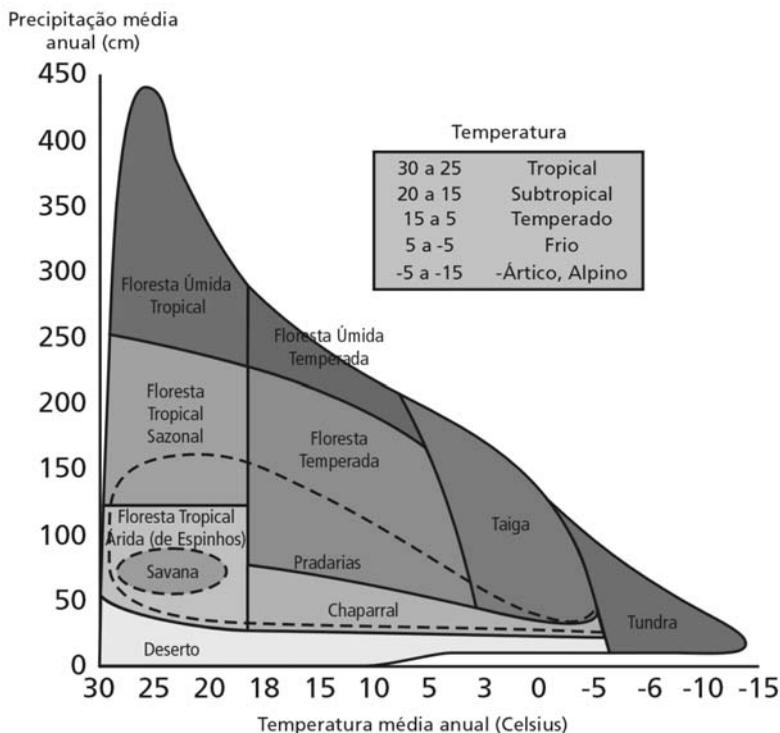
**Figura 12.4:** Figura esquemática indicando o desequilíbrio entre os processos de precipitação e de evaporação/evapotranspiração globalmente ocorrentes nos continentes. Numa base anual, a diferença entre esses processos dá um “excedente” de água aos continentes reunidos, que é de aproximadamente  $37.500 \text{ km}^3$ . Esse “excedente” indica o potencial teórico aparente, de água de circulação aproveitável, anualmente disponível para usos múltiplos (ex.: agricultura, indústria, consumo doméstico, fisiológico). Os tamanhos dos cilindros, atmosfera e continentes indicam – fora de escala – as reservas de água nesses sistemas.

Outro aspecto importante relacionado ao ciclo hidrológico se relaciona ao seu papel na organização global dos sistemas ecológicos, e pode ser estimado pelos padrões de distribuição de comunidades biológicas na Terra. Nos sistemas aquáticos, em grande parte, as diferenças de conteúdo iônico (salinidade), que marcam os ambientes de água doce e marinho, resultam do contínuo processo de transporte de sais via continente-rio-oceano.

**BIOMA**

O termo bioma está associado a um tipo de ecossistema caracteristicamente identificado por uma comunidade biológica (biocenose). Um ótimo exemplo de bioma são os ecossistemas formados por típicas comunidades vegetais (fitocenose), como são a tundra, a caatinga, ou as florestas.

Obviamente, os limites de distribuição de organismos aquáticos seguem também, em grande parte, adaptações e/ou tolerâncias em relação a essa variável, salinidade. Frequentemente, distinguem-se claramente espécies de água doce, salobra e marinha. Nos sistemas terrestres, a distribuição e os regimes hidrológicos em todo o planeta influenciam e dão suporte à distribuição de espécies biológicas, que expressam adaptações compatíveis aos padrões estabelecidos. A distribuição de **BIOMAS** vegetais terrestres como tundra, florestas tropicais, savana, taiga, entre outros, exemplificam relações com a disponibilidade de água (e condições de temperatura) em função, por exemplo, dos índices de precipitação anual nas várias localidades/regiões do planeta. Um exemplo dessas influências na definição de biomas é mostrado na **Figura 12.5**.



**Figura 12.5:** Precipitação, temperatura e associação de biomas.

Fonte: *Ecoscience: Population, Resources, Environment.*, Paul R. Ehrlich, and John P. Holden, W. H. Freeman, Nova York, 1977.

## O PAPEL DAS PLANTAS NA ECONOMIA DE ÁGUA

A vegetação terrestre tem um importante papel na regulação (retenção/liberação) e, conseqüentemente, nas taxas de escoamento de água sub e superficial, o que afeta a economia de água nos ambientes terrestres. A ausência de cobertura vegetal em solos favorece e/ou intensifica não só as taxas de evaporação, mas também o transporte superficial e a exportação de material dissolvido e particulado (ex. nutrientes, argilo-minerais) para ecossistemas aquáticos adjacentes.

Freqüentemente, a desertificação de certas regiões tem sido atribuída à remoção de cobertura vegetal e às conseqüentes alterações **PEDOLÓGICAS** – como empobrecimento em nutrientes e laterização (precipitados de óxidos de Al e Fe) dos solos – e climáticas promovidas por essas intervenções antrópicas. Independente dessa observação, há também desertos naturais em função de regimes de pluviosidade muito baixos em certas regiões do planeta, o que resulta em escassez de água e/ou mínima disponibilidade para a existência de vida vegetal ou animal (leia o Texto Complementar 2: “O que é desertificação?”). Mais uma vez, podemos perceber que a questão ambiental é regida por uma interação de fatores diversos e cuja complexidade pode apresentar conseqüências ou desdobramentos muito extensivos às ações propriamente efetuadas de degradação ou perturbação dos sistemas ecológicos.

**PEDOLOGIA**  
(DO GREGO, *PEDON* =  
SOLO OU TERRA)

É um ramo da ciência, que estuda a origem, evolução e a classificação dos solos.

### TEXTO COMPLEMENTAR 1. ÁGUA DOCE – UM RECURSO LIMITADO

A água doce efetivamente (prontamente) disponível, anualmente, para consumo é cerca de apenas 1% do total contido nos rios, lagos e lençóis freáticos. Em realidade, esse estoque natural é, no entanto, ainda menor se considerarmos os freqüentes problemas de poluição/contaminação das águas como um efeito de atividades antrópicas (ex.: poluição por metais pesados, ou por agrotóxicos, ou por macronutrientes; desmatamento, assoreamento etc.). Segundo levantamento feito pela Agência Nacional de Águas (ANA), cerca de 70% dos rios que fazem parte das bacias hidrográficas que vão de Sergipe ao Rio Grande do Sul estão seriamente comprometidos por altos índices de poluição. A qualidade da água está sendo afetada negativamente pela ocupação desordenada do solo, pela contaminação por resíduos e/ou efluentes industriais, agrícolas (ex.: agrotóxicos e fertilizantes) e domésticos (ex.: esgotos), pelo desmatamento de matas ciliares e por certas práticas impactantes de mineração. A deficiência de saneamento básico atinge oito estados da faixa do Atlântico Sul. No Brasil, apenas 20% do esgoto urbano passa por estação de tratamento para a remoção de poluentes, o resto é despejado nos rios. As constatações fazem parte dos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, elaborado pela Agência Nacional de Águas (*Correio Brasiliense*, 05/12/2001).

Globalmente, a demanda por água doce é cada vez maior, principalmente em função do crescimento populacional humano. Outro fator a ser considerado é que não há necessariamente correlação positiva entre adensamentos populacionais e disponibilidade de água nas várias regiões habitadas da Terra. Assim, há regiões pouco povoadas (baixa densidade demográfica) e onde a disponibilidade de água é abundante, e vice-versa. No Brasil, a água é um recurso abundante, mas a sua distribuição no território nacional é marcadamente heterogênea. Temos cerca de 15% (8.000 km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>) da água doce disponível no mundo, e deste total nada menos do que 70% encontram-se na Amazônia — região de baixíssima densidade populacional. O Nordeste dispõe de apenas 3%, cabendo às outras regiões proporções mais ou menos iguais do restante (*O Globo*, 20/03/02). Muitas populações, já no presente, sofrem os efeitos da escassez de água e necessitam otimizar o uso racional desse recurso para viabilizar a oferta em relação às demandas múltiplas (ex. fisiológica, doméstica (urbana e rural), industrial, agricultura). Muito provavelmente, nas próximas décadas, a água deverá ser um fator crítico, limitante do crescimento da população humana mundial.

Recentemente no Brasil (anos 2001-2002), pudemos verificar a importância da água para a produção energética do país. Problemas conjunturais de ordem natural (baixos índices pluviométricos) e antrópica (falta de investimentos no setor) resultaram em medidas de racionamento de energia. Esses exemplos mostram como a água é de fato um recurso limitado e essencial para a vida.

## TEXTO COMPLEMENTAR 2. O QUE É DESERTIFICAÇÃO?

Conforme a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, a desertificação foi definida como sendo a degradação da terra nas zonas áridas, semi-áridas e subúmidas secas resultantes de fatores diversos tais como as variações climáticas e as atividades humanas.

Este conceito foi discutido durante a Conferência do Rio (ECO 92) e é, hoje, internacionalmente aceito. Seu conteúdo pode ser entendido em dois níveis:

1) No que diz respeito às variações climáticas, a seca é um fenômeno típico das regiões semi-áridas;

2) No que diz respeito às ações de degradação da terra induzidas pelo homem, deve-se entendê-la como tendo, pelo menos, cinco componentes, conforme propõe a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO):

a) degradação das populações animais e vegetais (degradação biótica ou perda da biodiversidade) de vastas áreas do semi-árido devido à caça e à extração de madeira;

b) degradação do solo, que pode ocorrer por efeito físico (erosão hídrica ou eólica e compactação causada pelo uso da mecanização pesada) ou por efeito químico (salinização ou sodificação);

c) degradação das condições hidrológicas de superfície devido à perda da cobertura vegetal;

d) degradação das condições geoidrológicas (águas subterrâneas) devido a modificações nas condições de recarga;

e) degradação da infra-estrutura econômica e da qualidade de vida dos assentamentos humanos.

Esta definição foi adotada pelo Programa Nacional das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e, com base nela, foram definidas as áreas suscetíveis à desertificação. As áreas suscetíveis são aquelas submetidas aos climas áridos (árido, semi-árido e subúmido seco).

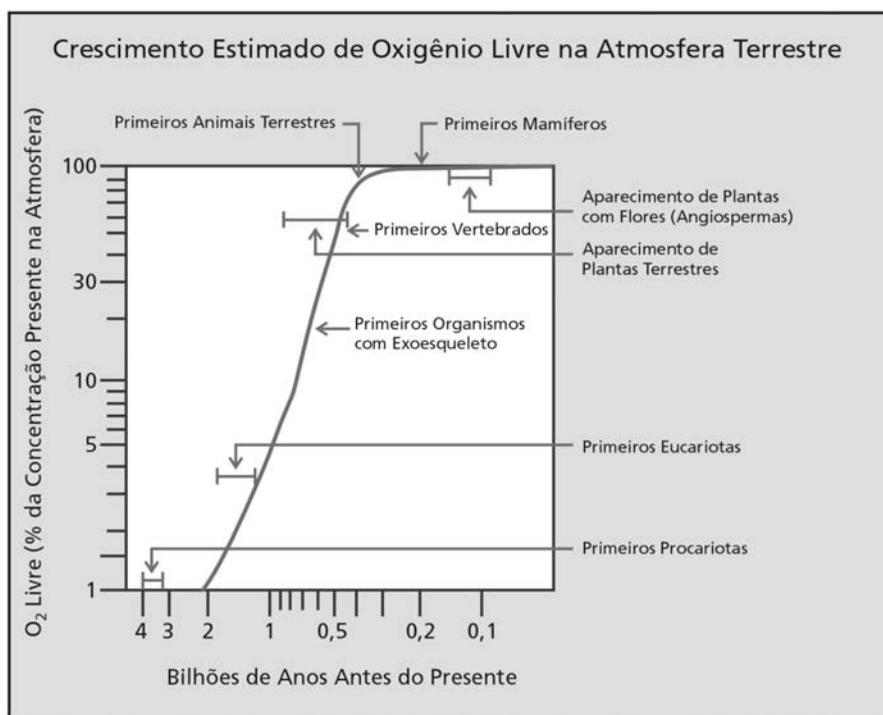
As regiões semi-áridas e subúmidas secas do mundo somam 1/3 de toda a superfície do planeta. São mais de 5 bilhões de ha (51.720.000 km<sup>2</sup>) em cerca de 100 países que podem ser afetados direta e indiretamente pela desertificação.

(Fonte: [www.mma.gov.br/img/redesert/map2.gif](http://www.mma.gov.br/img/redesert/map2.gif))

## CICLO DO OXIGÊNIO

### Atmosfera oxidante: evolução e condicionamento ambiental

Sendo o principal acceptor de elétrons (agente oxidante) na mineralização da matéria orgânica, o oxigênio participa de todos os ciclos biogeoquímicos através de reações de oxirredução, espontâneas ou mediadas biologicamente. Como sabemos, no entanto, isso nem sempre foi assim, isto é, no tempo geológico, considerando uma escala de bilhões de anos atrás, a atmosfera terrestre já foi também essencialmente redutora e anóxica (Figura 12.6).



**Figura 12.6:** Evolução hipotética das concentrações de oxigênio na atmosfera terrestre (valores relativos, normalizados pela condição presente) e indicações da evolução biológica.

A concentração média de oxigênio atmosférico que observamos hoje deriva de um processo biofísico lento, mas foi cumulativo e evolutivo, cujo início se deu aproximadamente há 3 bilhões de anos. Estima-se que somente entre 2 e 0,6 bilhões de anos atrás a concentração de oxigênio alcançou 10% da concentração atual. A base desse processo envolveu simultaneamente o surgimento de organismos fototróficos oxigênicos (por exemplo, cianobactérias) e uma parcial preservação de matéria orgânica morta, em sedimentos profundos e rochas. Na verdade, a maior parte desse oxigênio novo, produzido fotossinteticamente, foi consumido em reações de oxidação de certos minerais da crosta terrestre, principalmente o Fe. Assim, a pirita,  $\text{FeS}_2$ , em presença de oxigênio molecular e água, sofre oxidação pelo oxigênio molecular, gerando, como produtos da reação, óxidos de ferro e sulfatos. Para se ter uma idéia do consumo de oxigênio por essa reação, para oxidar 1 molécula de  $\text{FeS}_2$ , são necessárias 3,5 moléculas de  $\text{O}_2$ . Enormes depósitos de ferro oxidado foram produzidos até aproximadamente 2 bilhões de anos atrás, provavelmente como uma consequência dessa reação química seguida de catálise biológica na qual íons ferrosos são transformados em íons férricos por bactérias (por exemplo, *Thiobacillus*) e, em meio aeróbio, precipitados como óxidos de ferro. A oxidação de  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$  também deve ter sido um importante processo de formação de depósitos de ferro em sistemas aquáticos. Numa atmosfera redutora, o ferro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) predomina e é mais solúvel do que o ferro férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Já o  $\text{Fe}^{3+}$  é extremamente insolúvel, havendo uma ótima condição de precipitação. Depósitos mundialmente conhecidos de minério de ferro, formados em presença de oxigênio, incluem a Austrália (Hammersley Range), a África do Sul (Transvaal), e o Brasil (Minas Gerais). O atual "saldo" (estoque) de oxigênio atmosférico (~ 21% da concentração de gases na atmosfera), resulta, portanto, do balanço excedente entre produção biológica sobre o consumo químico e biológico de oxigênio no Planeta. Entretanto, há milhares de anos, a concentração de oxigênio na atmosfera encontra-se em estado relativamente estacionário, isto é, onde ganhos e perdas se equivalem.

Um dos efeitos do aumento de oxigênio na atmosfera terrestre ao longo de sua história foi a formação de moléculas de ozônio na estratosfera, como uma função da absorção de radiação UV (ultravioleta) por moléculas de oxigênio entre 15-30 km de altitude. Na verdade, continuamente, moléculas de ozônio são simultaneamente formadas e destruídas pela ação da radiação UV proveniente do sol, e conjuntamente o O<sub>2</sub> e o O<sub>3</sub> absorvem até 98% do UV-B e UV-C. Globalmente, calcula-se que esse processo reativo de conversão entre o oxigênio e o ozônio envolva uma massa equivalente a 300 milhões de toneladas por dia!

Absorção de radiação UV-C (solar) e formação de ozônio

$$O_2 + \text{radiação UV } (< 200 \text{ nm}) \rightarrow 2O$$

$$O + O_2 \rightarrow O_3$$

Absorção de radiação UV-B (solar) e destruição de ozônio

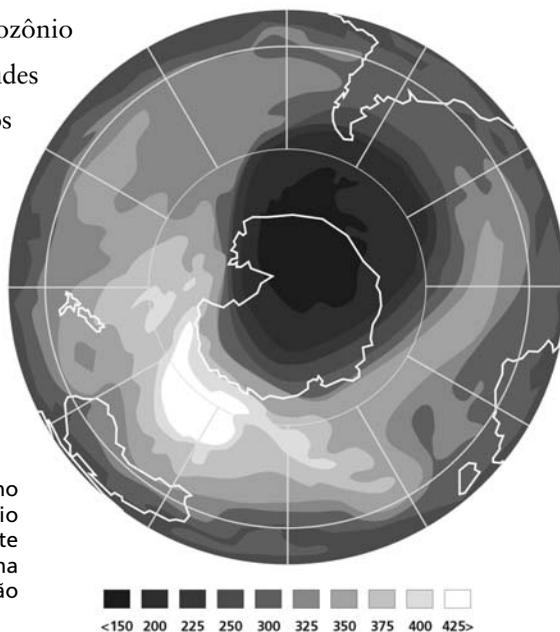
$$O_3 + \text{radiação UV } (200-300 \text{ nm}) \rightarrow O_2 + O$$

$$O + O_3 \rightarrow 2O_2$$

Adaptado da fonte: [www.nasa.gov/About/Education/Ozone/chemistry.html](http://www.nasa.gov/About/Education/Ozone/chemistry.html)

**Quadro 12.1:** Processos de formação e destruição de moléculas de ozônio pela ação (absorção) da radiação UV (solar).

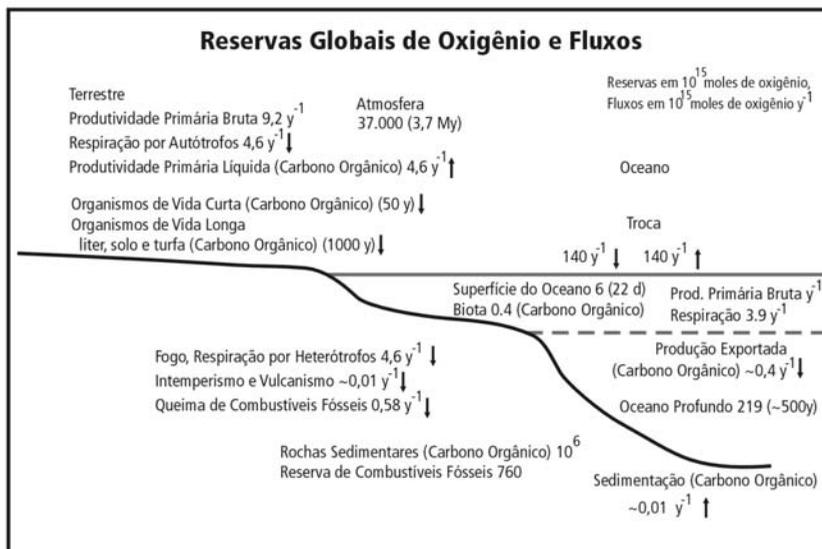
Como sabemos, o ozônio funciona como um escudo através da filtração da radiação UV e protege as formas vivas da ação deletéria ou lesiva provocada por essa radiação de alta energia. Sem a formação da camada de ozônio, a vida que conhecemos hoje não poderia se desenvolver na superfície do nosso planeta. No entanto, constatações recentes, relativas à destruição parcial da camada de ozônio em certas regiões do globo, especialmente nas altas latitudes (**Figura 12.7**), exemplificam um tipo de ameaça aos organismos e ao próprio homem em função das maiores chances destes sofrerem exposição ao UV. Essas observações influenciaram medidas governamentais em todo o mundo no sentido de diminuir ou mesmo coibir a produção de gases destruidores da camada de ozônio (por exemplo, clorofluorcarbonos (CFCs)).



**Figura 12.7:** Imagem mostrando um conspicuo buraco na camada de ozônio no extremo Antártico. Na escala de cores, concentrações de ozônio — em unidades Dobson (DU) — mais baixas estão progressivamente situadas à esquerda da legenda. Uma unidade Dobson é igual a uma camada de ozônio com 0,01 mm de espessura em condições padrão de temperatura, 0°C, e pressão, 1 atm.

## CICLO DO OXIGÊNIO

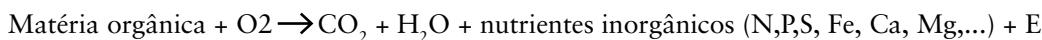
Na atmosfera, encontramos o maior reservatório bioativo de oxigênio (37.000 Pmoles), sendo ~200 vezes maior que o oxigênio encontrado nos oceanos ou na biota viva (Figura 12.8).



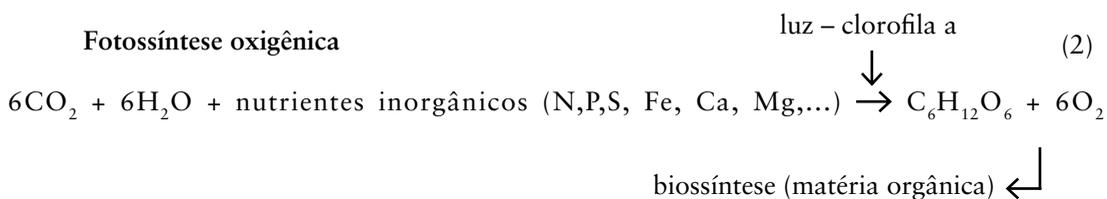
**Figura 12.8:** Ciclo global do oxigênio: reservatórios e fluxos em  $10^{15}$  moles de  $O_2$  (Pmoles  $O_2$ ), e tempos de residência (entre parênteses). Pools (reservatórios) orgânicos como equivalentes de oxigênio.

Como podemos perceber, os principais processos biológicos de absorção e liberação de gás oxigênio relacionam-se, respectivamente, à mineralização e à fotossíntese oxigênica (observar os processos 1 e 2).

**Mineralização (ex.: respiração aeróbia)** (1)



**Fotossíntese oxigênica** (2)



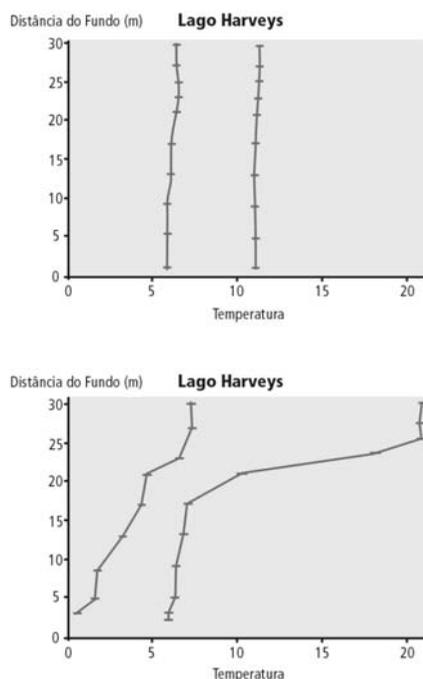


**Figura 12.9:** *Riccia fluitans* realizando fotossíntese e liberando oxigênio. Naveidade, os vegetais também realizam respiração, o que afeta a produção final de oxigênio.

Observe que os processos de mineralização e de fotossíntese são antagônicos e se complementam para a formação do ciclo biológico do oxigênio. Nesse sentido, tanto o oxigênio quanto o dióxido de carbono podem ser utilizados como traçadores metabólicos e/ou como indicadores de produção e mineralização da matéria orgânica. Sistemas ambientais onde a produção de oxigênio (ou o consumo de carbono inorgânico, ex.:  $\text{CO}_2$ ) é maior que o seu consumo (ou a produção de carbono inorgânico),  $P/R > 1$ , são referidos como autotróficos e, no caso inverso, como heterotróficos. Entretanto, devemos lembrar que a solubilidade do oxigênio, assim como a de outros gases, é afetada por fatores físicos e químicos do meio hídrico, tais como temperatura e salinidade. O conteúdo de oxigênio na água tem relação inversa com essas variáveis. Então, devemos entender que para avaliar de forma correta o metabolismo de um ecossistema aquático é fundamental levarmos em conta essas influências.

Um importante desdobramento associado ao funcionamento trófico, especialmente observado em sistemas aquáticos, relaciona-se ao fato de que, à semelhança do que ocorre com os organismos nos sistemas heterotróficos, a maior parte da produção primária origina-se de fontes externas (alóctone ou alogênica), enquanto nos sistemas autotróficos a maior parte da produção primária origina-se no sistema, internamente (fonte autóctone ou autogênica). Esses comportamentos ecofisiológicos indicam, portanto, se a estrutura trófica no sistema ecológico é mais ou menos dependente de fontes externas de matéria orgânica.

Nos sistemas aquáticos, conhecer a distribuição de oxigênio ao longo da coluna d'água também representa uma importante informação para uma caracterização e interpretação de processos físicos, químicos e biológicos. Diferentemente dos ambientes terrestres, onde a concentração de oxigênio é abundante, cerca de 209 ml em 1 litro de ar, nos ambientes aquáticos, a oferta de oxigênio dissolvido é caracteristicamente muito menor, cerca de 8 ml por litro. Em situações de estratificação térmica, encontramos tipicamente um gradiente de concentrações de oxigênio, com valores mais elevados na superfície, onde há luz suficiente para a realização de fotossíntese, e mais baixos na zona profunda, onde muitas vezes há limitação de luz. Entretanto, em sistemas não estratificados, as concentrações de oxigênio tendem a ser homogêneas ao longo da coluna d'água (**Figura 12.10**). Conseqüentemente, a observação de uma condição óxica ou anóxica no meio hídrico, a viabilidade de organismos aeróbios e anaeróbios e os produtos químicos associados a esses metabolismos são criticamente dependentes dos níveis de oxigênio na água.



**Figura 12.10:** Perfis de oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) no lago Harveys (Pensilvânia, EUA). Gráfico superior: perfis essencialmente homogêneos (ortogrado). Gráfico inferior: perfis mostrando um gradiente de concentração de oxigênio e de temperatura (clinogrado).

## CICLO DO ENXOFRE (S)

Dentre os ciclos estudados, o ciclo biogeoquímico do enxofre (S) pode ser considerado um dos mais complexos. Para esta observação contribui o fato de que o enxofre apresenta um maior número de estados de oxidação e certas transformações ocorrem em taxas significativas, não só biológica, mas quimicamente também. Quantitativamente, no entanto, na natureza, três principais estados de oxidação são encontrados: -2 (sulfidril, R-SH, e sulfeto, HS<sup>-</sup>), 0 (enxofre elementar, S<sup>0</sup>), e +6 (sulfato, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Como constituinte da matéria viva, o enxofre participa da estrutura de muitas proteínas, sendo do ponto de vista biológico um elemento essencial. Entretanto, o requerimento de enxofre pela matéria viva é relativamente pequeno quando comparado a outros elementos maiores como C, H e N. A circulação global, envolvendo o reservatório atmosférico, e os baixos requerimentos exigidos pela biota em geral faz do enxofre um elemento normalmente não limitante aos organismos, especialmente para os eucariontes. A dependência por certos compostos sulfurados específicos em associação a condições ambientais óxicas/anóxicas afeta, no entanto, mais freqüentemente, a viabilidade e o crescimento de certas bactérias.

O maior estoque de enxofre encontra-se em sedimentos e rochas da crosta terrestre, na forma inorgânica, como sulfatos e sulfetos minerais (ex.: respectivamente, CaSO<sub>4</sub> e FeS<sub>2</sub>). Contudo, a maior reserva bioativa encontra-se nos oceanos, na forma de sulfato inorgânico. As principais transformações biológicas incluem:

- assimilação de sulfatos minerais por uma grande variedade de organismos (especialmente organismos produtores primários) e conseqüente conversão em compostos orgânicos;
- em ambientes anóxicos e/ou subóxicos, utilização de sulfato como aceptor de elétrons por uma variedade de bactérias sulfato-redutoras, nesse processo, o H<sub>2</sub> e acetato são tipicamente utilizados como doadores de elétrons;

- produção de HS<sup>-</sup> a partir da decomposição/putrefação de compostos orgânicos – também a sulfato-redução produz esse tipo de composto;
- oxidação anóxica de HS<sup>-</sup>, catalisada por bactérias que realizam fotossíntese anoxigênica – processo usualmente encontrado em lagos, em condições ambientais restritas, onde uma quantidade suficiente de luz alcança camadas anóxicas da coluna d'água;
- oxidação de cristais insolúveis de enxofre elementar, S<sup>0</sup>, por bactérias do gênero *Thiobacillus* (principalmente), levando à formação de sulfato e íons de hidrogênio, e conseqüente diminuição do pH;
- produção de sulfeto dimetil (H<sub>3</sub>C-S-CH<sub>3</sub>) como resultado da degradação microbológica de um composto orgânico sulfurado (dimethylsulfonium propionate (DMSP)), encontrado e funcionalmente associado à regulação osmótica de certas algas marinhas.

Como anteriormente mencionado, o ciclo do enxofre também é influenciado por transformações químicas. Nesse caso, as condições ambientais afetam o equilíbrio ou a geração de compostos através de reações físico-químicas. Assim, por exemplo, o HS<sup>-</sup> típico em pH neutro, tende a se transformar em H<sub>2</sub>S em ambientes onde o pH é baixo (ácido) e, em ambientes de pH elevado (alcalino), em S<sup>2-</sup>. Em condições óxicas, o sulfeto HS<sup>-</sup> sofre oxidação espontânea, sendo transformado em sulfato. O sulfeto dimetil, tipicamente produzido nos oceanos, é preferencialmente liberado para a atmosfera, onde sofre reações fotoquímicas de oxidação e é transformado em CH<sub>3</sub>SO<sub>3</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>2</sub>, e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Finalmente, devemos salientar que certos compostos gerados no ciclo do enxofre, por exemplo, o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) e o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) — incluindo aí produtos antrópicos associados à extração e queima de depósitos de petróleo, carvão e gás natural, naturalmente ricos em S — podem apresentar caráter tóxico, acometendo, especialmente, o sistema respiratório dos organismos, ou pode afetar negativamente o equilíbrio das condições ambientais. O SO<sub>2</sub>, por exemplo, está relacionado às chuvas ácidas. Uma visão geral dos processos biológicos e físicos pode ser observado.

## NOTAS FINAIS

Devemos perceber o valor ecológico associado ao conhecimento dos ciclos biogeoquímicos em geral. Precisamente, devemos perceber que a organização ou que a condição ambiental no nosso planeta depende criticamente de certos padrões de fluxo cíclico de elementos entre compartimentos e reservatórios, e que esses fluxos são mediados ou afetados por muitos processos, naturais e antrópicos. Da mesma forma, através do estudo das concentrações, estoques e fluxos de elementos entre os compartimentos de um ecossistema, podemos avaliar o seu estado ecológico geral, estrutural e funcional, e se está submetido a um processo de desequilíbrio ou não.

### RESUMO

Nesta aula, estudamos os ciclos da água, do oxigênio e do enxofre, apresentando a distribuição dos seus principais estoques, concentrações e fluxos nas geosferas do planeta. Discutimos os principais processos de transformação sofridos pela água, pelo oxigênio e pelo enxofre em seus ciclos biogeoquímicos. Ressaltamos a importância da água como recurso natural, como fator de distribuição e/ou organização de sistemas ecológicos (biomas) e, conseqüentemente, de espécies, e o seu papel nos processos de transferência de calor. Também destacamos a importância do oxigênio para a maioria dos organismos da Terra, como elemento metabólico nos processos biológicos de obtenção de energia. Ainda, ressaltamos alguns problemas ambientais associados, principalmente, a alguns tipos de perturbação antrópica.

## EXERCÍCIOS

1. Qual é a principal força reguladora do ciclo hidrológico na Terra? Num sentido complementar, cite três fatores astrofísicos que influenciam o ciclo hidrológico na Terra.
2. Explique como o ciclo da água transporta energia?
3. Quais são os principais estoques e fluxos de água no nosso planeta?
4. Como a distribuição de água pode afetar a organização de biomas e/ou a distribuição de espécies biológicas?
5. Globalmente, nos continentes, há um “excesso” de água circulante ou um potencial hídrico, aparente, de interesse antrópico para diversos fins de utilização (ex. agricultura, indústria, doméstico, fisiológico). Numa base anual, qual é o quantitativo estimado desse potencial? Explique por que, na realidade, a água circulante disponível deve ser muito menor que a estimada?
6. Explique como a atmosfera inicialmente redutora evoluiu à oxidante.
7. Cite um processo químico e um biológico associados ao consumo de  $O_2$  na Terra. Considerando os seus conhecimentos bioquímicos, explique como o  $O_2$  biogênico é produzido.
8. Justifique a afirmativa: Num sentido amplo, o oxigênio viabilizou a biologia que conhecemos hoje.
9. Nos sistemas terrestres o oxigênio dificilmente exerce um papel de fator limitante à biota aeróbia. Explique por que nos sistemas aquáticos a realidade pode ser muito diferente da dos sistemas terrestres.
10. Explique como o oxigênio pode ser utilizado como um traçador metabólico de produção e de mineralização aeróbia de matéria orgânica, sendo especialmente aplicado aos sistemas aquáticos.
11. Do ponto de vista químico, a que se deve a complexidade do ciclo do enxofre?
12. Por que o enxofre apesar de ser um elemento essencial, dificilmente age como fator limitante à matéria viva eucarionte? Por que é mais comum haver limitação de S para o desenvolvimento de certas bactérias?
13. Cite três processos biológicos de transformação do enxofre.
14. Faça um esquema indicando como o pH pode influenciar a transformação de  $H_2S$  à  $S^{2-}$ .



## Sucessão ecológica

AULA

# 13

## objetivos

Esta aula é quase que um fechamento de tudo o que vínhamos discutindo desde fatores ambientais até a aula anterior, sobre as adaptações dos organismos. Aqui você verá a atuação conjunta desses fatores no processo de sucessão no interior dos ecossistemas. Dessa forma, você deverá estar apto ao final desta aula a:

- Identificar os principais conceitos referentes ao processo de desenvolvimento dos ecossistemas;
- Compreender, em termos do que já aprendemos sobre termodinâmica, as tendências dos sistemas à auto-organização e complexidade;
- Identificar as principais formas de sucessão nos ecossistemas.

**INTRODUÇÃO** Sucessão ecológica ou desenvolvimento do ecossistema, assim como a entende Odum (1985), envolve mudanças na estrutura das espécies e nos processos da comunidade ao longo do tempo. Quando não é interrompida por forças externas, a sucessão é bastante direcional e, portanto, previsível. Isso porque os ecossistemas persistem, mas seus componentes mudam, conforme você já percebeu em todas as nossas aulas anteriores. Um dado quase novo nesta nossa atual abordagem é que, segundo Margalef (1991), quando não incidem perturbações externas ao ecossistema, as mudanças tomam características de um aumento de organização ou, pelo menos, de complexidade desse ecossistema.

Desse modo, a sucessão estuda basicamente essas mudanças, de tal maneira que uma simples observação ao nosso redor nos indica que ela ocorre continuamente, seja em culturas de laboratório, na recuperação natural de campos abandonados, em charcos de água de chuva colonizados por uma imensa quantidade de organismos, no repovoamento de superfícies novas submersas na água como é o caso dos cascos das embarcações etc.

Através da aparente simplicidade dessa definição inicial, podemos pensar que a sucessão é efetivamente muito clara na ocupação de ambientes novos, que estavam praticamente desprovidos de vida. Mas nos sistemas que já têm uma história mais longa, que podemos classificar como mais maduros, devemos imaginar que a sucessão pode ser mais logicamente limitada à ocupação de áreas danificadas, como ocorre depois de um incêndio ou depois de um grande vendaval num bosque. Margalef (1991) compara essa manifestação da sucessão à cicatrização de uma ferida, classificando-a de secundária. Por essas razões, devemos iniciar nosso estudo com atenção para as sutilezas desse processo organizador dos ecossistemas.

## AS DIFERENTES FORMAS DE SUCESSÃO

Como dissemos anteriormente, a sucessão resulta da modificação do ambiente físico pela comunidade de organismos de um dado ecossistema, sem esquecer as interações de competição e de coexistência dos indivíduos (com reflexão a nível de populações). Isso quer dizer que a sucessão é **controlada pela comunidade**, embora o ambiente físico oriente a velocidade e o padrão das mudanças, muitas vezes limitando a extensão desse processo.

Se as mudanças sucessionais são determinadas, em grande parte, por interações internas, originadas no interior do ecossistema, elas são denominadas **sucessões autogênicas** (autogeradas). Se, ao contrário, forças como tempestades e incêndios afetam ou controlam regularmente as mudanças, então teremos uma **sucessão alogênica** (gerada externamente).

A seqüência inteira de comunidades que se substituem umas às outras numa determinada área chama-se **sere**. Na sere, as comunidades relativamente transitórias, que serão substituídas, denominam-se **estágios serais**, **estágios de desenvolvimento** ou **estágios pioneiros**. O sistema final, estabilizado em termos de passos sucessionais é denominado **clímax**, que persiste até ser afetado outra vez por perturbações internas ou externas.

Os estudos que descrevem a sucessão em dunas de areia, campos naturais, florestas, litorais marinhos ou outros locais levaram a uma compreensão parcial desse processo, tendo gerado várias teorias e muitas discussões sobre o tema. Odum e colaboradores foram os primeiros a assinalar que a sucessão envolve um forte deslocamento de fluxos energéticos, de modo que o sistema em sucessão dedica cada vez mais energia à manutenção (fundamentalmente nos processos de respiração), à medida que acumulam matéria orgânica, viva ou morta. Margalef (1963-1968) também documentou essa base bioenergética da sucessão, tendo ampliado o conceito.

Vamos explicar melhor este embasamento bioenergético da sucessão. Quando um novo território é aberto ou se torna disponível para a colonização, como um campo agrícola abandonado ou uma nova represa, uma sucessão se instala, com um metabolismo energético onde a produção bruta (P) da comunidade é maior ou menor do que a respiração

(R) e prossegue em direção a uma estabilização onde  $P = R$ . Uma sucessão que começa com P maior que R ( $P > R$ ) é uma **sucessão autotrófica** porque os indivíduos que primeiro colonizam o ambiente são plantas verdes, fotossintéticas, ao contrário de uma **sucessão heterotrófica**, em que  $P < R$ . A sucessão em um substrato previamente desocupado, como no exemplo dos cascos novos das embarcações, é denominada **primária**, enquanto aquela que ocorre em campos agrícolas abandonados, que eram previamente ocupados, denomina-se sucessão **secundária**.

Nos primeiros estágios de uma sucessão autotrófica, com um ambiente predominantemente inorgânico (ou seja, solo nu), a taxa de produção primária ou de fotossíntese total bruta (P) é maior que a taxa de respiração da comunidade. Desse modo, o valor da relação produção/respiração (P/R) é geralmente maior que 1, sendo característica desse tipo de sucessão.

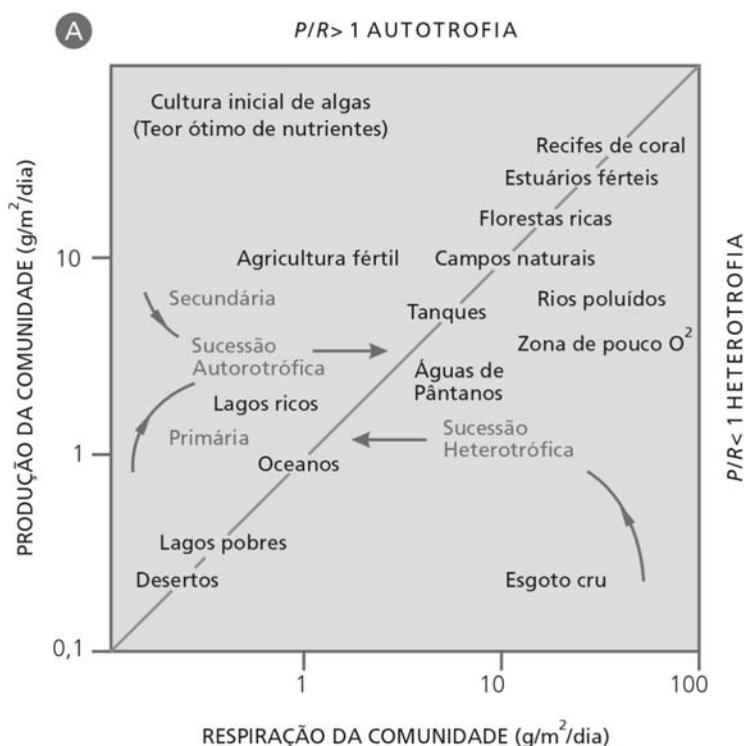


Figura 13.1: Bioenergética da sucessão.

Em um tanque de esgoto, por exemplo, temos um ambiente predominantemente orgânico. Nesse caso, a razão P/R é menor do que 1 e a sucessão é chamada heterotrófica, porque bactérias e outros organismos heterotróficos são os primeiros a colonizarem tais ambientes,

são os pioneiros. Na **Figura 13.1**, retirada de Odum (1993), você poderá observar melhor a bioenergética da sucessão através da posição de vários tipos de comunidades, numa classificação baseada no metabolismo.

Na parte A da figura, no lado esquerdo de uma linha em diagonal, a produção bruta (P) supera a respiração (R) de maneira que a razão P/R é maior que 1, caracterizando a sucessão autotrófica. A situação inversa ocorre no lado direito da diagonal, onde a razão P/R é menor que 1, típica de sucessão heterotrófica. Nesse tipo de sucessão, as comunidades importam matéria orgânica ou vivem de matéria acumulada anteriormente. Um bom exemplo é a cadeia de detritívoros do solo, que vivem da decomposição de matéria orgânica acumulada superficialmente. As setas, em ambos os lados da figura, indicam o sentido dos dois tipos de sucessão.

Na parte B da figura podemos observar um modelo geral da sucessão, com entradas externas periódicas (alogênicas), forças internas ou entradas autogênicas, o sistema em desenvolvimento e a seta indicando o direcionamento da sucessão desse sistema rumo a um sistema mais estabilizado e complexo, o clímax.

Modificações nos principais atributos de um ecossistema durante um processo de sucessão.

#### Modificada de Odum, 1988

<i>Atributos do Ecossistema</i>	<i>Estágio imaturo</i>	<i>Clímax</i>
<b>Energia</b>		
1. Produção / Respiração	> 1	= 1
2. Produção / Biomassa	Alta	Baixa
3. Produção líquida	Alta	Baixa
4. Cadeias alimentares	Herbívoros	Detritos
<b>Estrutura</b>		
1. Matéria orgânica total	Pequena	Grande
2. Nutrientes inorgânicos	Fora da biomassa	Dentro da biomassa
3. Diversidade (riqueza)	Baixa	Alta
4. Zonação e estratificação	Baixa	Alta
<b>História de Vida</b>		
1. Especialização do nicho	Não	Sim
2. Tamanho dos organismos	Pequeno	Grande
3. Ciclos de vida	Curtos / simples	Longos / complexos
4. Pressão de seleção	r	k
5. Produção	quantidade	Qualidade
<b>Homeostasia</b>		
1. Simbioses internas	Não desenvolvida	Desenvolvida
2. Resistência	Baixa	Alta
3. Conservação nutrientes	Pobre	Rica

Já que estamos falando em entradas alogênicas e autogênicas, vamos conhecer melhor suas influências no processo de sucessão.

Já sabemos que na sucessão alogênica o sistema importa matéria ou energia como, por exemplo, forças geológicas, tempestades, perturbações humanas etc. Essas entradas são capazes de modificar, inverter e até sustar as tendências do processo em andamento, ou seja, a sucessão do sistema. Um bom exemplo é a **EUTROFICAÇÃO** de um lago a partir do exterior. Através do despejo de esgotos ou outros efluentes orgânicos ocorre tal acréscimo de nutrientes que o sistema sofre regressão sucessional. No caso em que os processos alogênicos superam em muito os processos autogênicos, o sistema, além de não se estabilizar, pode simplesmente se transformar em um brejo ou mesmo numa comunidade terrestre, devido ao forte acúmulo de matéria orgânica e sedimentos.

As forças autogênicas funcionam como uma entrada interna ou retroalimentação que, geralmente, leva o sistema em direção a algum estado de equilíbrio.

#### **EUTROFICAÇÃO**

Superenriquecimento das águas por nutrientes provenientes de esgotos ou escoamento de águas superficiais ricas em fertilizantes agrícolas, causando crescimento excessivo de bactérias e conseqüente falta de oxigênio para os outros organismos do sistema.

### **SUCESSÃO E CICLAGEM DE NUTRIENTES**

A idéia geral de que as tendências do desenvolvimento sucessional envolvem variações no armazenamento e ciclagem dos nutrientes é bastante discutida e discutível. A razão entre a entrada e a saída de nutrientes é denominada índice de ciclagem. A influência do desenvolvimento sucessional nesse índice seria o seu contínuo aumento durante a maturação do sistema, ou seja, durante os estágios sucessionais que levam o sistema ao clímax. Dessa maneira, os nutrientes são retidos na cobertura vegetal durante um tempo maior, sendo reutilizados depois que a folha cai ao solo e se decompõe. Odum (1993) afirma que existem alguns fatos observados para que acreditemos que o armazenamento e a ciclagem dos nutrientes aumentam durante os estágios sucessionais do sistema, de modo a reduzir a necessidade de nutrientes importados, ou seja, de modo a reduzir a necessidade de entradas alogênicas.

## A SUBSTITUIÇÃO DE ESPÉCIES

As séries sucessionais (seres) normalmente se caracterizam por uma contínua substituição de espécies.

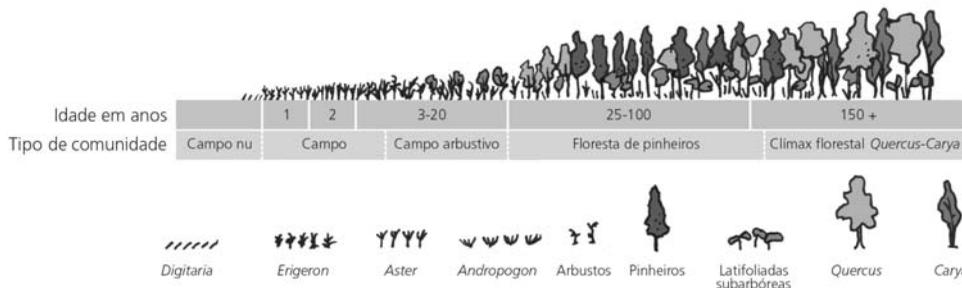
Se o desenvolvimento começar por uma área não ocupada anteriormente, o início da sucessão primária pode demorar e requerer muito tempo para chegar à maturidade. Um exemplo clássico de sucessão ecológica primária costuma ser apresentado em dunas americanas na extremidade meridional do Lago Michigan. O tamanho anterior do lago era muito maior do que o atual, de modo que, nesse recuo, deixou para trás dunas de areia, onde a sucessão costuma ser lenta, pela própria natureza do substrato. Assim, uma série de comunidades de diferentes idades se tornaram disponíveis para observação. A série sucessional inclui estágios pioneiros nas margens do lago e estágios cada vez mais velhos à medida que se afastam das margens.

Alguns pesquisadores conduziram estudos de sucessão em animais e plantas nesse “laboratório natural”, de modo que os resultados demonstraram mudanças nas espécies de animais e plantas, de acordo com a idade crescente das dunas. Espécies presentes no início foram substituídas por outras espécies diferentes nas comunidades mais antigas.

Os vegetais pioneiros em dunas são gramíneas de praia, tais como as do gênero *Ammophila*. A comunidade pioneira é seguida por florestas abertas e secas de pinheiros, depois carvalhos e, finalmente, nas dunas mais antigas, de florestas úmidas de carvalho e noqueira. Esse tipo de sucessão ocorre também em dunas brasileiras, como em Cabo Frio, no Rio de Janeiro, apenas com diferentes espécies, dominantes em climas tropicais.

A sucessão pode ser interrompida quando o vento enterra com areia as plantas e a duna começa a se mover, cobrindo totalmente as plantas no seu caminho. Esse é um bom exemplo de interruptor ou inversor característico de perturbações alogênicas, sobre as quais já falamos anteriormente. Finalmente, à medida que a duna se afasta do lago ou do mar, ela se estabiliza, ocorrendo novamente o estabelecimento

de gramíneas e arbustos ou árvores pioneiras. Um pesquisador (Olson, 1958), utilizando métodos modernos de datação por radiocarbono, calculou que são necessários aproximadamente 1.000 anos para se chegar a um clímax florestal no exemplo do lago em Michigan, ao qual nos referimos anteriormente.



**Figura 13.2:** Exemplo de sucessão secundária.

Na **Figura 13.2**, adaptada de Odum (1993), temos um exemplo de **sucessão secundária**, em campo agrícola abandonado, com as sequências de comunidades vegetais. As plantas pioneiras são anuais e possuem grande poder reprodutivo, como a gramínea *Digitaria* e a herbácea *Erigeron*, que gastam grande parte de sua energia com a dispersão e a reprodução. Depois de dois ou três anos, outras gramíneas (*Andropogon*), herbáceas perenes e arbustos invadem a área. Se houver disponibilidade de sementes por perto, os pinheiros também invadem a área formando uma copa fechada que, por sombreamento excessivo, começam a excluir as pioneiras. Essas espécies de pinheiros são de crescimento lento e permanecem durante muito tempo, juntamente com árvores **LATIFOLIADAS**. Mas pouco a pouco desenvolve-se uma camada subarbórea de carvalho (*Quercus*) e de nozes amargas (*Carya*), que são tolerantes ao sombreamento causado pelos pinheiros. Agora, veja que interessante. Como os pinheiros não podem crescer sob sua própria sombra, os carvalhos e as nozeiras chegam a dominar a cobertura arbórea da floresta, à medida que os pinheiros morrem de doenças, de velhice ou por tempestades.

**LATIFOLIADAS**  
 Árvores que possuem as folhas largas.

### GENERALIZAÇÕES FINAIS SOBRE A SUCESSÃO

É possível resumir algumas generalizações baseadas no estudo comparado do desenvolvimento de ecossistemas que ocupam espaços vazios e os preenchem, em ambientes com diferentes características, incluindo os experimentos de laboratório.

1. Geralmente, tanto a biomassa quanto a produção (P) aumentam separadamente e com velocidades diferentes, com possíveis irregularidades. No caso de sucessão heterotrófica (em locais de esgoto, em madeira morta ou um cadáver), é necessário que você lembre de substituir a produção (que é própria dos vegetais verdes) pelo aporte de matéria orgânica ou nutrientes. A diminuição da razão produção/biomassa total (P/B) também é de ocorrência generalizada no caminho sucessional do sistema. Os especialistas em vegetação sempre viram no aumento da biomassa (ou altura) da vegetação uma variável expressiva do avanço na sucessão;

2. A massa de heterótrofos aumenta em relação com a biomassa total, e as cadeias tróficas aumentam de tamanho, atingindo 5 ou mais “elos”, em parte relacionadas com o desenvolvimento vertical do ecossistema;

3. Aumento progressivo da complexidade estrutural do sistema. Isso funciona como resposta parcial dos organismos a um entorno que perde energia depois de uma perturbação inicial. A sucessão vegetal ocorre paralelamente ao seu desenvolvimento em altura e diferenciação em estratos.

O ambiente chega mesmo a ser criação do próprio ecossistema em desenvolvimento. Um bom exemplo disso é a densa ocupação de ninhos de cupins em alguns solos, nos quais esses organismos chegam a construir um substrato com arquitetura própria e condições de vida particulares. Nas comunidades de corais, por exemplo, alguns organismos incrustantes conseguem grande coesão na construção de seu ambiente particular;

4. Quando a taxa de renovação se torna mais lenta com o aumento da sucessão, os organismos também aumentam seu controle sobre os ciclos dos elementos químicos. É o caso daquele exemplo do índice de ciclagem, ao qual nos referimos anteriormente. Em geral, à medida que o tempo passa, os elementos limitantes permanecem cada vez menos fora dos organismos. Por isso, eles os retêm e armazenam de maneira eficaz em reservas orgânicas, esqueletos, cobertura vegetal, madeira e, desse modo, controlam os fluxos biogeoquímicos. Lembra do que nós falamos antes? Necessitam de menos entradas alogênicas;

5. Finalmente, o tema da auto-organização. Na sucessão, assistimos à passagem de um estado energético inicial para uma situação de maior complexidade, na qual há menos energia disponível. Um bom exemplo disso é fornecido por Margalef (1991) e é representado por uma porção de esterco “recém-

caído” num pasto. A entrada de um **pacote** de matéria orgânica oferece um **armazém** de diferentes materiais, com sua correspondente energia potencial. Os primeiros organismos (bactérias e fungos) que se instalam, consomem e metabolizam com grande velocidade, mas com uma eficiência relativamente baixa, o que quer dizer que realizam muitas reações irreversíveis exotérmicas (liberam muito calor) nas transformações do material. Mas, à medida que o esterco seca, a competição progressivamente conduz a uma situação de melhor eficiência total, no sentido de que o sistema “esterco” passa a manter uma biomassa relativamente grande e diversificada, mantendo-a ativa em relação à quantidade de energia transformada por unidade de tempo. Nessa etapa relativamente avançada, na qual a massa de esterco mostra uma notável heterogeneidade, é que podemos realmente aplicar nossos conhecimentos de termodinâmica dos sistemas abertos, relativos à minimização nas transformações energéticas e à aplicabilidade das medidas de estabilidade. Agora podemos compreender melhor a afirmação de que o armazenamento e a ciclagem dos nutrientes aumentam durante os estágios sucessionais do sistema. Finalmente o esterco do nosso exemplo se confunde com o pasto, num bonito exemplo de **sucessões dentro de sucessões**, típico e aplicável a toda a biosfera!

## RESUMO

- A sucessão ecológica envolve mudanças na estrutura das espécies e nos processos da comunidade ao longo do tempo, podendo também ser entendida como o desenvolvimento de um dado ecossistema;
- Quando não incidem perturbações externas, as mudanças podem significar um aumento de organização no ecossistema;
- Forças como tempestades e incêndios que afetam ou controlam mudanças induzem sucessões alogênicas;
- Numa sucessão autotrófica, os indivíduos que primeiro colonizam o ambiente são plantas verdes, fotossintéticas;
- Numa sucessão heterotrófica, os organismos pioneiros são bactérias e fungos.

## EXERCÍCIOS

1. Defina resumidamente o que é sucessão ecológica.
2. Que tipos de mudanças ocorrem durante o desenvolvimento de um ecossistema?
3. O que é uma sucessão primária, e em que circunstância ela ocorre?
4. Por que os princípios da termodinâmica podem ser aplicados ao processo de sucessão? Em que fase? Justifique.
5. O que são comunidades transitórias num estágio seral?
6. Relacione a taxa de renovação de um ecossistema com o aumento do índice de ciclagem dos nutrientes.
7. Descreva, resumidamente, o processo de sucessão em dunas de areia.

## AUTO-AVALIAÇÃO

Se após o estudo desta aula você conseguiu compreender a atuação conjunta dos fatores ambientais no desenvolvimento do ecossistema;

Conseguiu verificar a utilidade dos princípios termodinâmicos nos processos de sucessão;

Compreendeu os conceitos básicos relativos aos processos sucessionais;

Entendeu as diferenças entre sucessão primária e secundária; entre entradas alogênicas e autogênicas;

Você já está pronto para prosseguir seus estudos. Mas não esqueça que as dúvidas, mesmo as menores, não devem ser deixadas para trás. Procure seus tutores e converse.



# **Ecossistemas do Estado do Rio de Janeiro: Mata Atlântica**

Objetivos:

- Estudar os ecossistemas do estado do Rio de Janeiro que estão no que chamamos Complexo da Mata Atlântica.
- Este texto servirá de base para elaboração do relatório dos trabalhos de campo que serão realizados em áreas de seu município e que pertencem à Mata Atlântica.

Pesquisa de campo

**INTRODUÇÃO** O território do estado do Rio de Janeiro contém um conjunto diversificado de ambientes de montanhas e baixadas, gerando uma grande diversidade de ecossistemas.

Possui, ainda, um recortado litoral que é o terceiro em extensão no país com 636 km de costa. Segundo Amador (1997), a origem geológica da Serra do Mar remonta ao Período Jurássico (cerca de 150 milhões de anos atrás), quando se acentua a separação entre a África e a América do Sul e tem início o surgimento do Oceano Atlântico.

Numa segunda fase, durante o final do Cretáceo e início do Terciário (entre 100 e 65 milhões de anos atrás), como consequência do deslocamento do continente americano para o oeste, originaram-se falhas de rochas primitivas e dobramentos, formando elevações da crosta terrestre e produzindo um escalonamento de áreas elevadas e rebaixadas. As áreas elevadas, posteriormente modeladas pela erosão, originaram as atuais Serras da Mantiqueira e do Mar, o Maciço Litorâneo e as ilhas litorâneas, enquanto as áreas rebaixadas constituem os atuais vale do Paraíba, Baixada Fluminense e parte da Plataforma Continental. As rochas que originaram estas modelações mais recentes (Cretáceo/Terciário), predominantemente gnaiss e granito, formadoras do embasamento cristalino, datam, entretanto, do pré-Cambriano, apresentando idades superiores a meio bilhão de anos.

**OROGRÁFICA**

Relativo à descrição de montanhas; relacionado à altitude.

Os episódios cretáceos de vulcanismo deram origem a formações **OROGRÁFICAS** particulares e podem ser encontrados na Serra do Gericinó-Mendanha, na Serra do Tinguá, no Morro do São João em Casimiro de Abreu, em Cachoeiras de Macacu, Duque de Caxias, Itaboraí, Itatiaia, Magé, Piraí, Resende, Rio Bonito, São Gonçalo, Silva Jardim e Tanguá. Também no Mesozóico, originou-se, no litoral brasileiro, a Série Barreiras, formada por sedimentos fracamente consolidados. Temos representantes formando falésias mortas (que não estão mais batidas pelo mar) em Maricá e Búzios. A única falésia da Série Barreiras que ainda é trabalhada pelo mar encontra-se na Ponta do Retiro em São Francisco de Itabapoana. Foi também neste município que o desgaste, a erosão da Série Barreiras formou os depósitos litorâneos ricos em ilmenita, zirconita e rutilo, preciosos componentes das areias monazíticas que alcançam até as proximidades do Rio Paraíba do Sul.

Estas feições ecológicas se completam quando, nos últimos doze mil anos, o nível do mar subiu gradativamente, como conseqüência do aumento de temperatura e degelo das geleiras da América do Sul, invadindo o continente. Dos subseqüentes avanços e recuos do mar (transgressões e regressões marinhas), as planícies costeiras do Quaternário diferenciaram um litoral, moldando os últimos cordões de restinga e aprisionando um enorme conjunto de lagoas litorâneas e brejos, os manguezais de influência flúveo-marinha e costões rochosos.

Nos últimos milhares de anos, a geologia não mudou, mas o clima variou entre as glaciações, ou seja, as águas, quando congelavam nos pólos, abaixavam os níveis dos oceanos e chovia pouco. Nas interglaciações, o tempo esquentava, o mar aumentava de volume e chovia abundantemente. Isso fez com que as florestas tropicais que vivem de umidade e calor passassem por momentos de incubação e outros de exuberante beleza. Nessa época, a Serra do Mar tinha papel importante na sobrevivência da Mata Atlântica, já que barrava a umidade vinda do oceano, mantendo milhares de espécies dependentes dessa umidade. Essas mudanças influenciaram na formação dos padrões atuais. Como resultado da história geológica, formou-se um verdadeiro mosaico de solos diferenciados que, com propriedades físicas, químicas e biológicas, sustentam uma diversidade ecossistêmica. Assim, como conseqüência das condições **ALTIMÉTRICAS**, geológicas, hidrológicas, pedológicas e climáticas, nos vários ambientes ecológicos fluminenses, nosso estado possui um dos mais ricos conjuntos bióticos contidos numa única unidade da federação. É sobre algumas das principais formações que vamos tratar agora. Vale lembrar que você deverá ler sobre todo o conjunto, mas detenha-se com mais atenção sobre o ecossistema mais próximo de sua realidade. É ele que vamos visitar e estudar em nossos trabalhos de campo.

O conjunto **FITOFISIONÔMICO** do estado contém, como formadores do Complexo da Mata Atlântica, floresta pluvial tropical, incluindo mata de baixada, mata alagada, de encosta e campo de altitude, restingas, manguezais, praias arenosas e costões rochosos, além dos mares.

#### **ALTIMÉTRICO**

Relativo ao estudo e à prática de medição de altitudes.

#### **FITOFISIONÔMICO**

Fisionomia de uma paisagem caracterizada por um tipo de vegetação.

## MATA PLUVIAL COSTEIRA – MATA ATLÂNTICA



Figura 1: Mata Atlântica. Fonte: Karl Philippe von Martius – *Flora Brasiliensis*.

### Clima e microclimas

A Mata Pluvial Atlântica está situada na faixa tropical e compõe o bioma terrestre de floresta pluvial tropical, do qual falamos na Aula 15, e que comporta a maior biodiversidade do planeta. Estende-se numa estreita faixa de florestas ao longo da costa leste do Brasil, acompanhando a Serra do Mar, indo originalmente do sul do Rio Grande do Norte ao norte do Rio Grande do Sul. A origem remonta à época da separação dos continentes africano e americano do sul.

A área é ocupada por temperaturas elevadas e constantes, com médias em torno de 25°C e chuvas em torno e acima de 1.500mm, com período seco anual variando de 0 a 60 dias. Os ventos úmidos que sopram do mar em direção ao interior do continente, ao subirem, resfriam-se e perdem a umidade que possuem; o excesso condensa-se e precipita-se, principalmente, nas partes mais altas da serra, em forma de nevoeiro ou chuvas. Assim, esses ambientes contêm bastante umidade e sustentam as florestas costeiras com árvores de 20 a 30 metros de altura. O período chuvoso vai de novembro a abril. Novamente nos deparamos com uma pequena sazonalidade determinada pelo regime de chuvas. Você deve estar lembrado que estas características (pouca estacionalidade, altas temperaturas e constantes, pluviosidade alta e alta umidade) levam a uma organização espacial estratificada, como na **Figura 2**.

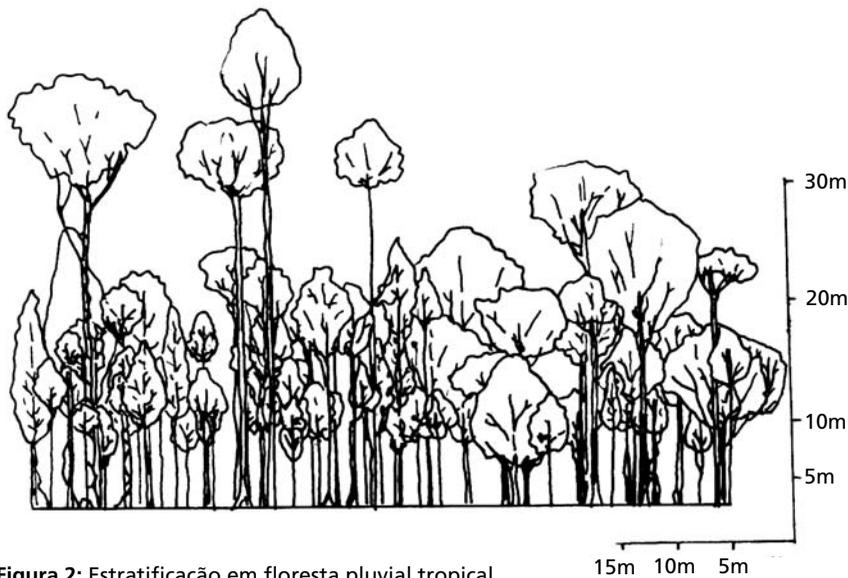


Figura 2: Estratificação em floresta pluvial tropical.

### Estratificação e adaptações

A floresta pluvial tropical é altamente estratificada. As árvores geralmente formam três estratos que se sobressaem: as árvores emergentes, muito altas e espalhadas, que se projetam acima do nível geral das copas; o estrato do dossel, que forma um conjunto de copas, como um tapete contínuo, sempre verde, a uma altura de 20 a 30 metros e um estrato de sub-bosque, que se torna denso apenas onde há interrupção do dossel. É importante ressaltar que esta superposição de copas acaba gerando uma distribuição diferenciada de luz no interior da floresta. O solo, muitas vezes, é coberto por uma densa sombra. Essa desigual distribuição de luz gera também uma distribuição estratificada de formas vegetais. Note que as plantas dos estratos superiores possuem troncos finos e quase não possuem galhos laterais, isto é, elas investem toda a energia da planta em ter folhas nos estratos onde ocorre mais luz. As copas possuem elevada densidade foliar, com folhas pequenas e um tom de verde claro devido à alta disponibilidade de luz. As emergentes extrapolam o conjunto de copas em busca da luz e possuem as mesmas características em relação ao tamanho e à coloração das folhas. O sub-bosque possui maior densidade foliar onde ocorre mais luz. Nesse estrato, as folhas são maiores, inclusive as de muitas epífitas como as aráceas, e com um tom de verde mais escuro, pois concentram mais clorofila, onde há menos luz disponível.

As epífitas encontradas sobre os troncos das árvores são, principalmente, orquídeas, bromélias, cactáceas, plantas perfeitamente adaptadas à vida longe do solo. Como as epífitas não mantêm contato com o solo e nada retiram das árvores, apenas buscando maior luminosidade, elas desenvolveram algumas adaptações. Nos troncos onde as águas das chuvas escoam rapidamente, algumas epífitas possuem folhas que formam um reservatório de água, na forma de um copo, como as bromélias. Nesses reservatórios aquáticos, podem viver algas, protozoários, larvas de insetos, vermes, lesmas, pererecas e aranhas, constituindo uma pequena comunidade. É desta água que as bromélias retiram os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento. Ao mesmo tempo, elas também representam pequenos lagos suspensos na floresta. As orquídeas e cactáceas reservam água em folhas suculentas.

Há plantas que começam como epífitas e terminam como plantas terrestres. Suas sementes germinam sobre forquilhas de ramos ou axilas de folhas, onde foram depositadas por pássaros em suas fezes; suas raízes crescem em torno do caule da hospedeira, em direção ao solo, onde penetram e se ramificam; com seu crescimento em espessura, acabam condescendo umas com as outras, formando uma coluna vigorosa, capaz de suportar sua copa, quando a hospedeira, com seu caule asfixiado no interior, morre e se desfaz. O exemplo típico é o *Ficus*, conhecido como mata-pau. Certas espécies nascem no solo, atingem com seu eixo principal ou com alguns ramos um suporte e nele se fixa; se porventura se desfizer a ligação, por qualquer motivo, com o solo, por exemplo, por morte de parte do eixo em contato com ele, essas plantas passam a viver epifiticamente.

Típico das florestas pluviais tropicais são também as plantas trepadeiras e as lianas lenhosas. São plantas que enraízam no solo e crescem, servindo-se de outras plantas como suporte, até atingir um local onde haja luz, onde, então, elas produzem suas folhas, florescem e frutificam.

Devido à densidade da vegetação arbórea, o sub-bosque é escuro, mal ventilado e úmido. Perto do solo existe pouca vegetação, devido à escassa quantidade de luz que consegue chegar aí. As condições físicas na floresta atlântica variam muito, dependendo do local estudado, assim, apesar de a região estar submetida a um clima geral, há microclimas muito diferentes e que variam de cima para baixo nos diversos estratos. Os teores de oxigênio, luz, umidade e temperatura são bem diferentes,

dependendo da camada considerada. Em certos pontos da floresta, chega ao solo 100 vezes menos luz do que nas copas das árvores altas. Com relação à temperatura, as camadas superiores das copas se aquecem durante o dia, porém perdem calor rapidamente à noite. Ao contrário, nas camadas inferiores, a temperatura varia muito pouco, já que as folhas funcionam como isolante térmico. Nas camadas mais altas, mais expostas, a ventilação tem valores consideravelmente maiores que nos andares inferiores da mata. Em resumo, os microclimas, nos diversos andares de uma floresta pluvial, podem ser muito diferentes, embora o clima geral (macroclima) seja um só. O que interessa, naturalmente, a cada espécie e a cada indivíduo, não é o clima geral da região em que se encontra a floresta, e sim o clima ao qual ele pertence; o importante é o microclima a que ele (indivíduo) ou ela (espécie) estejam sujeitos.

Em função da alta umidade, algumas plantas herbáceas eliminam o excesso de água através do fenômeno da gutação, no qual água é expulsa do vegetal. Isto pode ser facilmente observável na maria-sem-vergonha. É aquela planta que cresce margeando as florestas úmidas e cujas flores vão do branco ao rosa-púrpura. Ela não é uma planta nativa, sua origem é asiática, também de florestas úmidas. Ela chegou até a África e de lá foi trazida pelos escravos, aqui chegando. Ao amanhecer, observe as suas folhas. Aquelas gotas de água em torno da folha são o resultado de gutação. Observe plantas próximas a ela. Você vai ver que outras também possuem esta adaptação. São comuns, também, características que facilitam o escoamento da água das chuvas, impedindo sua permanência prolongada, o que seria inconveniente sobre a superfície foliar, porque poderia obstruir estômatos, além de poder desenvolver microrganismos e determinar o apodrecimento da folha. Outros mecanismos são conhecidos, tais como: caules e folhas pendentes, folhas de limbo em pedúnculos delgados e longos, que se curvam ao peso da água fazendo com que a ponta do limbo se incline para baixo, o que determina o escoar da água por ação da gravidade. Com isso, o peso do limbo diminui e volta à posição anterior.

O solo e a serrapilheira da floresta contêm um vultoso número de plantas recém-germinadas ou em vida latente dentro das sementes. Muitas dessas plantas podem passar anos aguardando que uma árvore caia, abrindo uma clareira para que tenham luz suficiente para crescer.

As plantas do estrato herbáceo possuem folhas largas e com um verde de coloração intensa. Elas conseguem viver nesta região porque têm sua superfície foliar aumentada e com uma concentração maior de clorofila, explorando a pouca luz que chega neste estrato.

Nessas matas são comuns as **RAÍZES TABULARES** (Figura 3) e as **RAÍZES ESCORAS**, que aumentam a base de sustentação da planta.

#### RAÍZES TABULARES

Tipo de raiz com a base alargada que aumenta a sustentação de árvores.

#### RAÍZES ESCORAS

Tipo de raiz que cresce lateralmente e aumenta a sustentação de árvores e arbustos.



Figura 3: Raízes tabulares em mata pluvial tropical.

Devido ao fato de a densidade das plantas ser alta, os ramos nas copas das árvores se entrelaçam, e as plantas, assim, se suportam reciprocamente e, mesmo que o tronco seja cortado, a árvore pode não cair por estar presa à copa. Esta estrutura traz uma reflexão sobre desmatamento. Muitas vezes, a área aparentemente cortada é pequena, mas seus efeitos tornam-se visíveis a uma grande área, uma vez que elas são suportes umas para as outras. Esse sistema de entrelaçamento de copas se repete, também, no interior do solo, onde as raízes se entrecortam, se entrelaçam e se auto-sustentam no conjunto. Pelo fato de a mata de encosta estar sujeita a muitas chuvas, a cobertura vegetal do solo se faz indispensável e ameniza a erosão, o escorregamento de massas de terra em locais de declividade mais acentuada e o assoreamento de cursos de água. As perturbações aí causadas levam à exposição do solo, que, devido a sua textura e topografia acidentada, é facilmente erodido. Conseqüentemente, uma perturbação localizada pode se expandir rapidamente, alterando ou destruindo áreas consideráveis. Em locais em que a mata original foi destruída, forma-se uma vegetação secundária densa.

Da mesma maneira que as formações amazônicas, a Mata Atlântica abriga todas as formas de crescimento, das quais falamos na Aula 15, as árvores, os arbustos que estão distribuídos no sub-bosque, as lianas, as epífitas e as ervas ou plantas herbáceas. A organização espacial desses componentes, superpostos em diferentes estratos, congrega um grande número de espécies de árvores, cada espécie com poucos indivíduos, o que torna o bioma da floresta pluvial tropical úmida a de maior **BIODIVERSIDADE** da terra. Além da superposição estratal, cada árvore ou arbusto pode conter seus troncos recobertos por briófitas, líquens, epífitas e trepadeiras. Isto resulta numa superposição de distintos habitats não somente para estes grupos, mas também para a fauna que encontra sua forma de obtenção de energia através do alimento, além de encontrar abrigo e local para reprodução. Também em cada um desses habitats podemos encontrar fungos e bactérias.

#### **BIODIVERSIDADE**

Medida da variedade de espécies numa comunidade que leva em consideração a abundância relativa de cada uma.

## **Solo**

Uma característica comum a todos os ambientes de floresta tropical é a baixa fertilidade do solo. Os nutrientes concentram-se, basicamente, na vegetação viva e na serrapilheira ou folhiço, formada basicamente de material orgânico morto oriundo de folhas, ramos, frutos e outras partes de vegetais, bem como de animais mortos e excrementos destes. Este folhiço serve de alimento para uma fauna que, ao se alimentar dele, fragmenta a matéria morta, aumentando a superfície de ataque de bactérias e fungos, tornando muito rápida a decomposição e, conseqüentemente, a liberação de nutrientes. Dessa forma, os nutrientes concentrados nos seres vivos rapidamente são liberados e novamente são recuperados pelas plantas no processo da fotossíntese. A dinâmica do folhiço é **SAZONAL**: a maior queda de folhas ocorre na estação seca, mas a taxa de decomposição é muito acelerada na estação chuvosa, quando a ação de formigas, cupins e outros invertebrados do solo é muito mais intensa, atuando na fragmentação da matéria orgânica. Este material, pouco a pouco, origina um abundante húmus pela ação dos decompositores e, finalmente, os nutrientes são liberados na porção superficial do solo. Esta interface, entre a serrapilheira e o solo, contém a rizosfera, que é uma camada de finas raízes superficiais dos produtores da mata.

#### **SAZONAL**

Relativo à estação do ano; próprio de uma estação, estacional.

Estas raízes absorvem, rapidamente, água e nutrientes liberados pela ação dos decompositores. Esta água, os nutrientes, o CO<sub>2</sub> absorvido pelas plantas em presença de luz serão utilizados no processo da fotossíntese na produção de matéria orgânica, usada no crescimento, desenvolvimento e manutenção dos processos vitais dos produtores. Esta matéria produzida vai fluir pelas cadeias e teias alimentares e, mais tarde, retornará à serrapilheira em forma de folhas e parte dos vegetais mortos, animais e pedaços de animais mortos, assim como fezes e urina, fechando-se, então, o ciclo que mantém a floresta exuberante em solos pobres.

Como regra geral, as folhas velhas caem simultaneamente à produção de novas, ficando as árvores nuas por poucos dias. Algumas espécies produzem e perdem folhas constantemente: as árvores nunca ficam nuas. Em outras espécies, principalmente nas áreas estacionalmente periféricas do bioma, as árvores podem ficar nuas por várias semanas. Adicionalmente à constante e assíncrona queda e produção de folhas, a reprodução das árvores na floresta tropical também se mantém homoganeamente espaçada ao longo do ano. Ainda que certas espécies possam florescer e produzir frutos apenas durante um mês ou dois ao ano, o conjunto das espécies pode florescer e frutificar quase continuamente.

Procure refletir sobre a complexidade das relações entre produtores, herbívoros, carnívoros, parasitos, simbioses e decompositores. Todos estes organismos exercem uma função dentro da cadeia trófica, e as inter-relações, entre todos os componentes do ecossistema, geram um funcionamento total do ecossistema, resultantes do fluxo de energia e da ciclagem de materiais.

Em decorrência da elevada produtividade nas copas das árvores, ocorre uma profusão de vida animal a ela associada. Numa concentração de copas, lianas e epífitas, surge uma grande oferta de alimentos, local de abrigo e de acasalamento, possibilitando, assim, a ocorrência da maior fauna arborícola do planeta.

Encontramos, aí, mamíferos arborícolas, como os monos, morcegos, roedores e marsupiais, aves (distribuídas em vários estratos), répteis arbóreos (representados por muitos tipos de cobras), anfíbios, que são representados por muitas formas arbóreas, e uma profusão de insetos, destacando-se os sociais, como vespas, formigas e térmitas. A fauna aquática se sobressai por abrigar a maior riqueza de espécies de peixes. Do ponto de vista zoológico é, ainda, o domínio mais rico em formas e endemismos e podemos caracterizá-lo pelo predomínio **MONOS PLATIRRINOS** do Novo Mundo (Figura 4), comedores de grãos, como os tucanos, papagaios e araras, entre muitos outros. A complexidade das relações tróficas resulta nas propriedades gerais destes ecossistemas.

Dentre os principais herbívoros, estão os arborícolas, como os macacos e as preguiças; grandes roedores terrestres, como a capivara, a paca e o aguti; morcegos frugívoros; aves como papagaios, tucanos e tinamídeos, e uma imensa variedade de insetos fitófagos.

#### MONOS PLATIRRINOS

Macacos do Novo Mundo que se caracterizam por terem narinas afastadas umas das outras.

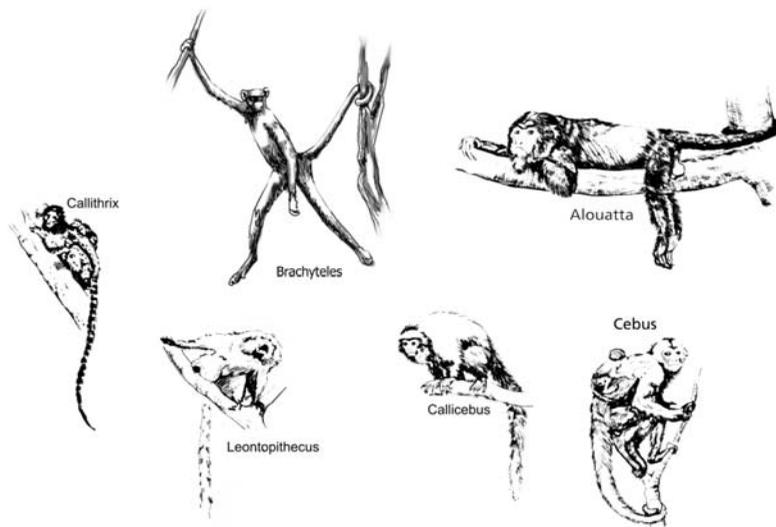


Figura 4: Monos platirrinos da Mata Atlântica.

Os grandes predadores são relativamente raros nas florestas tropicais, talvez devido à ausência de grandes ungulados. Os maiores são representados pela onça-pintada (*Panthera onça*), a jaguatirica (*Felis pardalis*) e o jaguarundi (*Puma yagouaroundi*). Anfíbios, aves e morcegos insetívoros constituem boa parte do grupo dos carnívoros na estrutura trófica do ecossistema de floresta tropical. Dos canídeos, o cachorro-domato é um dos predadores mais comuns. E felinos, como gatos-do-mato que se alimentam de animais como o tapiti, diferentes ratos-do-mato, caxinguelês, cotias, ouriço-cacheiro, o raro ouriço-preto etc.

Vejamos algumas das formações de nossa Mata Atlântica, distintas, tanto em aspectos fisionômicos como florísticos, condicionados predominantemente pela topografia e pela altitude: matas de planície ou terras baixas, matas de encosta (floresta pluvial baixo-montana, floresta pluvial montana), matas de altitude (floresta pluvial alto-montana) e campos de altitude.

### 1) Floresta de terras baixas (matas de planície)

Encontrada nas baixas altitudes, até 50 metros, está associada a diversas formas de relevo, incluindo planícies fluviais, tabuleiros e as ilhas da baía de Guanabara, com remanescentes nas áreas alagadas ou muito úmidas. Estas manchas florestais recebem o nome de mata paludosa e passam uma parte do ano inundadas. Estas matas de planície foram as mais rapidamente devastadas pela colonização, pelas culturas de cana-de-açúcar, depois pelas de café e onde mais se deu a ocupação urbana. A dominância de árvores chega a 25 metros, com sub-bosque com cerca de 10 metros, e apresenta lianas e epífitas em abundância.

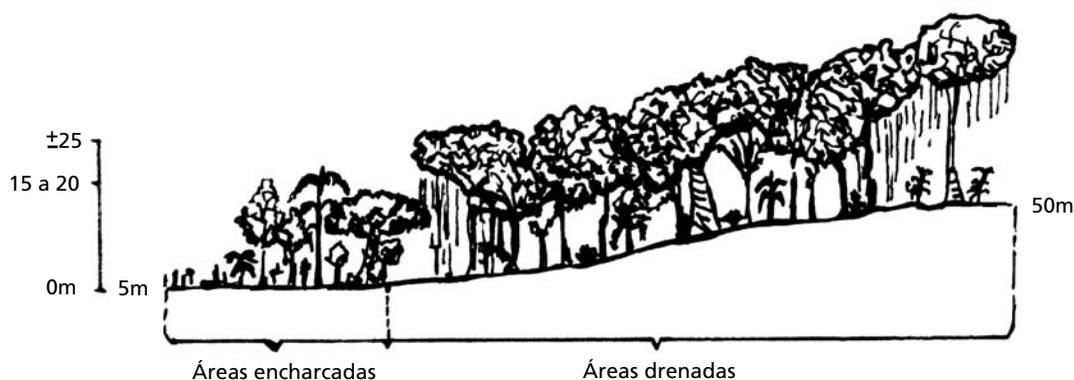


Figura 5: Floresta pluvial de terras baixas.

### 2) Floresta de encosta (floresta pluvial baixo-montana)

Situada no relevo montanhoso da Serra do Mar, nas escarpas frontais da Serra do Mar, entre cerca de 50 e 500 metros, e nas ilhas.

As espécies presentes formam um dossel contínuo, sombreando o interior da mata. Sob o dossel de 25 a 30 metros, há um escalonamento de luminosidade. O interior da mata é sempre sombrio.

Os troncos são sempre cobertos por epífitas. Esta mata de encostas possui características em que as copas do dossel se entrecortam e se sustentam umas às outras.



Figura 6: Floresta pluvial de encosta (Adaptado de Amador, 1997).

### 3) Floresta pluvial montana

Reveste as serras entre 500 e 1.500 metros de altitude. É nesta região que surge o gigante da mata, o jequitibá-rosa, que supera o dossel, podendo chegar a 30 metros. Nesta região, localizam-se muitas das espécies de árvores nobres que foram utilizadas desde o tempo do Brasil colônia. Entre essas espécies estão o cedro, o vinhático e o guaperê.

Os remanescentes deste tipo de mata localizam-se no rebordo dissecado das Serra do Mar e Mantiqueira.

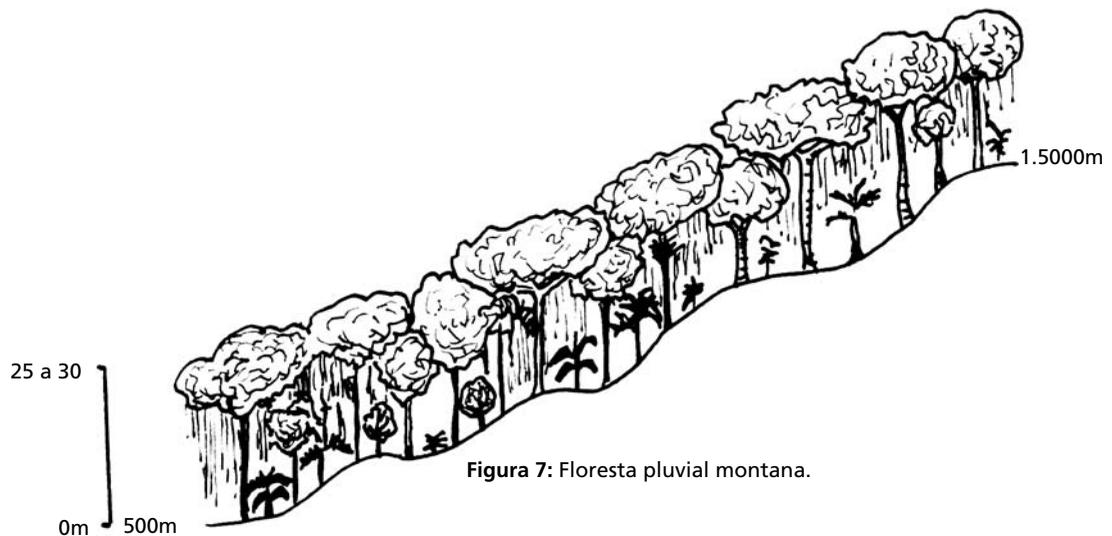


Figura 7: Floresta pluvial montana.

#### 4) Floresta pluvial alto-montana

Encontrada acima de 1.500 a 1.700 até 1.900 a 2.000 metros de altitude.

Em função das baixas temperaturas, freqüentemente com médias abaixo de 15°C, a mata é chamada nebulosa por estar freqüentemente coberta por nuvens que saturam o ar de umidade. Não há praticamente sub-bosque, mas há adensamentos de vegetação causados por plantas da família da bromeliáceas. É comum a vegetação desta formação se apresentar com formas xerofíticas, caracterizadas por troncos e galhos finos, casca rugosa, folhas pequenas, coriáceas ou carnosas e brotos terminais protegidos. Normalmente, há grande incidência de epífitas e líquens que indicam a existência de altos teores de umidade relativa do ar no ambiente local (Radambrasil, 1983). Os remanescentes mais importantes estão localizados no Parque Nacional da Serra dos Órgãos e no Parque Nacional de Itatiaia.

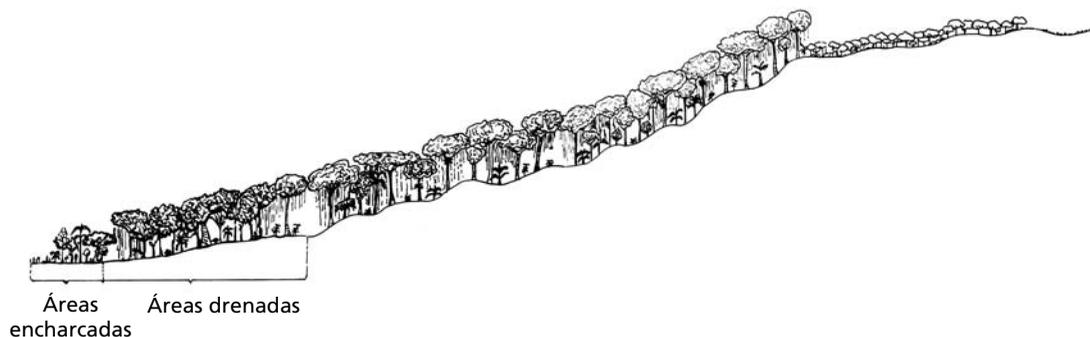


Figura 8: Floresta pluvial alto-montana (Adaptado de Amador, 1997).

#### 5) Campos de altitude

A ocorrência destes campos está localizada acima dos 1.900 a 2.000 metros. São caracterizados por uma cobertura herbácea, muitas vezes contínua, podendo aparecer arbustos isolados ou em tufos. As folhas das plantas herbáceas apresentam várias adaptações ao meio descampado, onde as amplitudes térmicas são grandes e os ventos intensos. Assim, precisam perder pouca água, pois possuem folhas coriáceas, pequenas. Os órgãos subterrâneos são mais espessos, tuberizados, armazenando água e nutrientes. Você se lembra dessas características? São características encontradas onde há escassez de água. No entanto, no início de nossa aula, mencionamos o elevado índice de precipitação do Complexo da Mata Atlântica. Você também deve ter percebido que descrevemos os cinco tipos de formação, indo desde o nível do mar até mais ou menos 2.000 metros de altitude. Será que esta variação se relaciona com as condições do meio abiótico nas diferentes altitudes?

Você deve estar lembrado que o clima da Terra tende a ser frio e seco em direção aos pólos e quente e úmido em direção ao equador. Começamos nossa Aula 14, sobre os principais biomas, pela tundra ártica, localizada nas altas latitudes, e viemos descendo, latitudinalmente, até chegarmos às faixas tropicais, onde encontramos nossa Floresta Amazônica e nossa Floresta Atlântica. Esta gradação climática leva a um elevado índice de precipitação nos trópicos. Devido ao fato de o ar quente tropical reter muito mais água do que o ar temperado e ártico, a precipitação anual é maior nas regiões tropicais. Para Rickelfs (1996), os trópicos não são mais úmidos porque há mais água nas latitudes tropicais do que em qualquer outra parte, mas sim porque a água se recicla mais rapidamente na atmosfera tropical. Ainda nessa gradação e relacionados a variações de temperatura e umidade, do ártico para a linha do equador, temos, desde as formações desérticas às pradarias ou campos, às savanas e às florestas, todos os tipos de formações vegetacionais que definem uma paisagem.



**Figura 9:** Floresta Atlântica: graduação altitudinal (Adaptado de Amador, 1997).

Podemos agora estabelecer um paralelo entre as diferentes latitudes e as diferentes altitudes, você não acha? Da mesma forma que o escalonamento altitudinal, há um escalonamento de características ambientais variando segundo a altitude, indo de altos índices de precipitação e altas temperaturas até poucas chuvas e ventos intensos com médias baixas de temperatura. Observe novamente as **Figuras 5 a 9** e veja como se comporta fisionomicamente o conjunto que vai desde o nível do mar até os campos de altitude. Está aí a graduação dos tipos de vegetação no estado do Rio de Janeiro.

Apesar da devastação acentuada, a Mata Atlântica ainda abriga uma parcela significativa de diversidade biológica do Brasil, com altíssimos níveis de endemismo. Segundo dados da Fundação SOS Mata Atlântica, a riqueza pontual é tão significativa que os dois maiores recordes mundiais de diversidade botânica para plantas lenhosas foram registrados nesse bioma (454 espécies em um único hectare do sul da Bahia e 476 espécies em amostra de mesmo tamanho na região serrana do Espírito Santo). As estimativas indicam ainda que a Mata Atlântica abriga 261 espécies de mamíferos (73 deles endêmicos), 340 de anfíbios (253 endêmicos), 192 de répteis (60 endêmicos), 1.020 de aves (188 endêmicas), além de aproximadamente 20.000 espécies de plantas vasculares, das quais aproximadamente metade estão restritas ao bioma. Para alguns grupos, como os primatas, mais de 2/3 das formas são endêmicas. Em virtude da sua riqueza biológica e níveis de ameaça, a Mata Atlântica, ao lado de outros 24 biomas localizados em diferentes partes do planeta, foi indicada por especialistas, em um estudo coordenado pela Conservation International, como uma das prioridades para a conservação de biodiversidade em todo o mundo.

Para finalizar, podemos relacionar a importância da preservação da mata também à sua beleza, mas precisamos entendê-la como um ecossistema que afeta diretamente a vida de grande parte da população. Ela regula o fluxo dos recursos hídricos, ela é essencial para o controle do clima e estabilidade das encostas nas encostas e, também, detém a maior biodiversidade de árvores do planeta.

#### CAIÇARA

Natural ou habitante de localidade praiana, que vive de modo rústico, especialmente da pesca ou atividade próxima.

Somam-se a estas características os patrimônios de natureza cultural, histórica, arqueológica e arquitetônica, construídos ao longo dos séculos pelas comunidades tradicionais que vivem na mata, como indígenas, **CAIÇARAS**, por quilombos e caboclos, e que correm o risco de desaparecer por descaracterização ou expulsão de seu ambiente.

## ROTEIRO PARA OBSERVAÇÃO DE UM ECOSISTEMA

### Objetivo principal

Observar diferentes ecossistemas do estado do Rio de Janeiro, para consolidar os conceitos discutidos em aulas teóricas sobre os componentes de um ecossistema e a interdependência entre suas partes.

Os ecossistemas são primeiramente identificados pelos componentes vegetais, que são os visualmente mais abundantes, de fácil visualização e com maior permanência no tempo e no espaço. Os elementos vegetais, portanto, são os determinantes de uma fisionomia que pode ser usada para caracterizar um ecossistema. Observe atentamente cada um dos elementos deste conjunto que passamos a visitar. Procure observar, usando todos os sentidos. Parta sempre do mais geral para o mais específico. Observe de cima para baixo, de baixo para cima e de lado a lado, não deixe escapar nada. Tente imaginar em torno de você, 1m<sup>2</sup>. Projete este espaço para cima e para baixo e faça aí parte de suas observações. Discuta com seu tutor, com seus colegas, formule indagações para o que está vendo.

#### a) Sobre o sistemas e seus componentes estruturais:

1. É possível identificar uma unidade? Qual é o elemento preponderante na paisagem que dá a idéia de unidade?
2. É possível identificar limites, por exemplo, dentro e fora do ecossistema?
3. Como as plantas se organizam verticalmente no espaço? Você consegue definir estratos? Quantos? Quais?
4. Qual altura máxima da vegetação?
5. As plantas também se organizam horizontalmente no espaço?
6. Qual a porcentagem de luz que passa até o solo? Tente apenas estimar.
7. Esquematize padrões estruturais do ecossistema, tais como altura, estratos, grau de cobertura e tudo que chamar a atenção para a estrutura.
8. Quais as formas biológicas encontradas (árvores, arbustos, herbáceas, lianas, epífitas)? Qual a forma dominante.
9. Havendo epífitas, descreva as condições ambientais onde elas ocorrem.
10. É possível identificar um estrato produtor e um decompositor?

11. Você pode observar plântulas? Onde elas estão? Você pode imaginar o que vai acontecer com elas?

12. Existem vias de interação com outros ecossistemas? Quais? como estes ecossistemas se relacionam?

13. Observando a estrutura espacial da vegetação, descreva o provável percurso da água após a precipitação no ecossistema.

14. É possível neste espaço que você limitou para observação identificar quantas espécies existem ?

**b) Sobre os componentes do ponto de vista trófico:**

15. É possível identificar todos? Quais os que você identifica? Por quê? Você consegue identificar algum sinal dentre os componentes que você não pode ver? Qual(ais)?

**c) Sobre a energia e os materiais:**

16. Procure analisar como se dá a entrada de energia no sistema observado. Onde se encontra preponderantemente a biomassa?

17. Existem fatores que podem limitar o acesso de produtores a este sistema?

18. Faça observações sobre o processo de decomposição.

19. Observe como se apresenta a superfície do solo. Descreva o que você encontrou. Mexa lentamente na serrapilheira, indo da superfície para o interior. O que acontece? Quais são as vias mais prováveis de ciclagem neste ecossistema? Por quê?

20. O que aparece abaixo da serrapilheira? Observe as características do solo.

**d) Interações entre organismos:**

21. Procure identificar exemplos de interações bióticas (herbivoria, minadores, galhas etc.).

**e) Os organismos e o ambiente físico:**

20. Identifique adaptações e/ou características que sejam respostas ao ambiente físico.

**Elementos de Ecologia  
e Conservação**

---

**Referências**

- ACOT, P. *História da Ecologia*. Ed. Campus. Rio de Janeiro. 212p. 1990.
- AZEVEDO, F. (Org). *As Ciências no Brasil*. Ed. UFRJ, Rio de Janeiro, 463p. 1994
- BEGON, M., HARPER, J. L. & TOWNSEND, C. R. *Ecology*. Blackwell Science, Oxford, 1068p. 1996.
- DELÉAGE, J-P. *História da Ecologia. Uma ciência do Homem e da Natureza*. Publicações Dom Quixote, Nova Enciclopédia, Lisboa, 276p. 1993.
- GOLLEY, F. B. *A History of the Ecosystem Concept in Ecology. More than the Sum of the Parts*. Yale University Press, New Haven and London, 254p. 1993.
- HUXLEY, J. & KETTLEWEL, H. D. B. *Darwin*. Biblioteca Salvat de Grandes Biografias. Salvat Editores, Barcelona, 205p. 1987.
- IGLESIAS RIOS, R. I. Estrutura e funcionamento dos Ecossistemas: Conectância, diversidade e hierarquia ou: O pequeno é bonito. Será ele possível?. In: Maciel, T. (org.). *O ambiente inteiro. A contribuição crítica da Universidade à questão ambiental*. Editora UFRJ, Rio de Janeiro, 285p. 1992.
- KREBS, Charles J. *Ecology*. Harper Collins College Publishers. New York. 1994.
- MARGALEF, R. *Teoría de los sistemas ecologicos*. Estudi-General. Barcelona. 1991.
- MELO-LEITÃO, C. *História das Expedições Científicas no Brasil*. Vol 209 da Brasileira. Cia Editora Nacional, São Paulo, 1941.
- ODUM, E. P. *Ecologia*. Ed. Guanabara, Rio de Janeiro 1988.
- PAPAVERO, N. & Balsa, J. *Introdução Histórica e Epistemológica à Biologia Comparada, com Especial referência à Biogeografia*. Biótica. Belo Horizonte. 168p. 1986.
- RICKLEFS, R. E. *A Economia da Natureza*. Ed. Guanabara Koogan. 3ª ed, Rio de Janeiro, 470p. 1996.
- ROBERTS, J. M. *O livro de ouro da história do mundo*. Ediouro, Rio de Janeiro e São Paulo, 812p. 2000.

AGUIARO, Talita. *Estrutura da comunidade de peixes de três lagoas costeiras da região de Macaé*. PPGE/UFRJ .tese de mestrado, 1994.

BEGON, M., HARPER, J. L. & TOWNSEND, C. R. *Ecology*. Blackwell Science, Oxford, 1996.

FUTUYMA, Douglas. *Biologia Evolutiva*. SBG/CNPq. São Paulo, 1993.

KREBS, Charles J. *Ecology*. Harper Collins College Publishers. New York, 1994.

MARGALEF, Ramón. *Teoría de los sistemas ecológicos*. Publ. Universitá de Barcelona. Barcelona. Espanha, 1993.

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

RICKLEFS, R. E. *A Economia da Natureza*. Ed. Guanabara Koogan. 3ª ed, Rio de Janeiro, 1996.

BEGON, M.; HARPER, J.L.; TOWNSEND, C.L. *Ecology*. London: Blackwell Scientific Publications, 1990, 945p.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RiMA Artes e Textos, 2000, 531p.

ODUM, E. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Ed. Interamericana. 1985, 434p.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: Editora RiMa Artes e Textos, 2000, 531p.

ODUM, E. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 1983, 434p.

GLEISER, M. Tempo, vida e entropia. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 19/05/2002. Caderno Mais!

## Aula 6

---

LEHNINGER, A. L. *Princípios de Bioquímica*. São Paulo: Sarvier, 1984. 725p.

MEYBECK, M.; CHAPMAN, D.; HELMER, R. (eds.). *Global freshwater quality: a first assessment: global environment monitoring system*. Oxford: Blackwell Publishers, 1990. 306p.

ODUM, E.P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1985. 434p.

RICKLEFS, R.E. *A Economia da Natureza*. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993.

## Aula 7

---

LEPSCH, I. F. *Formação e Conservação dos Solos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 192p.

## Aula 8

---

KREBS, C.J. *Ecologia*. Ediciones Piramide, Madri, 782p, 1985.

RICKLEFS, R. *A Economia da Natureza*. Editora Guanabara Koogan, RJ, 470p, 1993.

SALGADO-LABORIAU, M.L. *História ecológica da Terra*. Editora Edgard Blücher Ltda., SP, 307p, 1994.

## Aula 9

---

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

LEHNINGER, A. L. *Princípios de Bioquímica*. São Paulo: Sarvier, 1984. 725p.

ODUM, E. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 1985. 434p.

PESSOA, F. *Obra poética: volume único*. Rio de Janeiro: Nova Aguillar, 1981. 772p.

RICKLEFS, R. E. *A economia da natureza*. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993. 470p.

## Aula 10

---

- LEHNINGER, A. L. *Princípios de Bioquímica*. São Paulo: Sarvier Editora, 1984, 725p.
- ODUM, E. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 1985, 434p.
- RICKLEFS, R. E. *A economia da natureza*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1993, 470p. PAPAVERO, N. & Balsa, J. *Introdução Histórica e Epistemológica à Biologia Comparada, com Especial referência à Biogeografia*. Biótica. Belo Horizonte. 168p. 1986.
- RICKLEFS, R. E. *A Economia da Natureza*. Ed. Guanabara Koogan. 3ª ed, Rio de Janeiro, 470p. 1996.
- ROBERTS, J. M. *O livro de ouro da história do mundo*. Ediouro, Rio de Janeiro e São Paulo, 812p. 2000.

## Aula 11

---

- MADIGAN, Michael T.; MARTINKO, John M.; PARKER, Jack. *Brock Biology of Microorganisms*. 8.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- MANAHAN, S.E. *Environmental Chemistry*. 6.ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 1994.
- WETZEL, R.G. *Limnology*. 2.ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1983.

## Aula 12

---

- MADIGAN, Michael T.; MARTINKO, John M.; PARKER, Jack. *Brock Biology of Microorganisms*. 8.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- MANAHAN, S.E. *Environmental Chemistry*. 6.ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 1994.
- WETZEL, R.G. *Limnology*. 2.ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1983.

## Aula 13

---

- KREBS, C.J. *Ecologia*. Madri: Ediciones Piramide, 1985, 782p.
- MARGALEF, R. *Teoría de los sistemas ecológicos*. Barcelona: Publicacions Universitat de Barcelona, 1991, 289p.
- ODUM, E. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Ed. Interamericana, 1985, 434p.
- RICKLEFS, R. *A Economia da Natureza*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1983, 470p.

## Pesquisa de campo

---

- AMADOR, E. *Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza*. Editora do autor. RJ. 1997.
- NUPEM/UFRJ. *VIII Curso de Educação Ambiental para Professores*. Apostila Teórica. 2003.
- DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA / UFRJ. *Ecologia Básica*. Apostila Teórica. 1995.
- Huech, K. *As Florestas da América do Sul. Ecologia, Composição e Importância Econômica*. São Paulo, Polígono, Ed. Univ. Brasília, 1972.
- GOV. ESTADO DO RIO DE JANEIRO. *Atlas das Unidades de Conservação da Natureza do Estado do Rio de Janeiro*. Metalivros, RJ. 2001.
- Mc Naughton, S. J. & L. L. Wolf. *Ecologia General*. Ed. Omega. 1984.

**Elementos de Ecologia  
e Conservação**

---

Gabiarito

1. Não, pois todos os indivíduos de uma mesma espécie que vivem em um mesmo local formam uma mesma população.
2. Sim, se houver dois grupos de indivíduos de uma mesma espécie em locais diferentes.
3. Sim, pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento podem abordar diferentes aspectos de uma mesma questão, o que pode levar a uma melhor compreensão do assunto estudado.
4. Quando organizamos os dados coletados e buscamos padrões na natureza, generalizações, podemos fazer previsões, gerar hipóteses, e testá-las, isto é fazer ciência.
5. Padrão - Tipo, modelo. Processo - Conjunto de atos por que se realiza uma operação qualquer (biologia).



Serviço gráfico realizado em parceria com a Fundação Santa Cabrini por intermédio do gerenciamento laborativo e educacional da mão-de-obra de apenados do sistema prisional do Estado do Rio de Janeiro.



Maiores informações: [www.santacabrini.rj.gov.br](http://www.santacabrini.rj.gov.br)



ISBN 85-7648-342-4



9 788576 483427



**UENF**  
Universidade Estadual  
do Norte Fluminense



Universidade Federal Fluminense



**FUNDAÇÃO  
SANTA CABRINI**  
Provedora de acesso à Cidadania



**FAPERJ**

Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo  
à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro



**GOVERNO DO  
Rio de Janeiro**

SECRETARIA DE  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Ministério  
da Educação

