ELSEVIER

Maria do Carmo Calijuri
Davi Gasparini Fernandes Cunha
Coordenadores

ENGENHARIA AMBIENTAL

Conceitos, Tecnologia e Gestão

CAMPUS

Material com direitos autorais

ELSEVIER

CAMPUS

Material com direitos autorais

Sumário

Capa

Folha de rosto

Cadastro

Copyright

Prefácio

Apresentação

Sobre os coordenadores

- Maria Do Carmo Calijuri
- Davi Gasparini Fernandes Cunha
- Sobre Os Autores
- Aldo Roberto Ometto
- Alexander Turra
- Aline Borges Do Carmo
- Americo Guelere Filho
- Aníbal Da Fonseca Santiago
- Carlos Roberto Monteiro De Andrade

Material com direitos autorais

Davi Gasparini Fernandes Cunha

Doron Grull

Dulce Buchala Bicca Rodrigues

Edson Wendland

Eduardo Cleto Pires

Eduardo Mario Mendiondo

Eugenio Foresti

Evandro Mateus Moretto

Flávia Marisa Prado Saldanha-Corrêa

Francisco Arthur Silva Vecchia

Gabriel D'Arrigo De Brito Souto

Isabel Kimiko Sakamoto

Ivan Silvestre Paganini Marin

Ivanildo Hespanhol

João Luiz Boccia Brandão

Juliana Moccellin

Jurandyr Povinelli

Kátia Maria Paschoaletto Micchi De Barros Ferraz

Lázaro Valentin Zuquette

Lorena Lima De Oliveira

Luisa Fernanda Ribeiro Reis

Luiz Antonio Daniel

Lyda Patricia Sabogal Paz

Marcelo Montaño

Marcelo Zaiat

Márcia Helena Rissato Zamariolli Damianovic

Marco Antonio Penalva Reali

Material com direito autoral

Marcos José De Oliveira

Marcus Polette

Maria Bernadete Amâncio Varesche

Maria Do Carmo Calijuri

Maria Lúcia Calijuri

Micheline De Sousa Zanotti Stagliorio Coêlho

Osni José Pejon

Oswaldo Augusto Filho

Paula Peixoto Assemany

Paulo Hilário Nascimento Saldiva

Renata Bovo Peres

Severino Soares Agra Filho

Silvio Frosini De Barros Ferraz

Sônia Maria Flores Gianesella

Valéria Del Nery

Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues

Victor Eduardo Lima Ranieri

Walter De Paula Lima

Wiclef Dymurgo Marra Junior

Eixo 1: Fundamentos

Capítulo 1. Engenharia, natureza e recursos naturais

1.1 Introdução

1.2 Natureza E Cultura

1.3 Nômades E Sedentários: Formas Distintas De Se Relacionar Com A Natureza

1.4 A Engenharia E O Ambiente

1.5 Uma Engenharia Chamada Ambiental

Material com direitos autorais

1.6 Conclusão

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 2. Geologia e solos

2.1 Introdução

2.2 Origem Da Terra

2.3 Tempo Geológico

2.4 Estrutura Interna Da Terra

2.5 Fontes De Energia E Campos De Força Terrestres

2.6 Processos Geológicos E O Ciclo Das Rochas

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 3. Bacias hidrográficas: caracterização e manejo sustentável

3.1 Introdução

3.2 Bacia Hidrográfica: Unidade De Estudo E Gestão Dos Recursos Hídricos

3.3 Caracterização Ambiental Visando Ao Gerenciamento De Bacias Hidrográficas

3.4 Escalas De Estudo

3.5 Ciclo Hidrológico E Processos Envolvidos

3.6 BalançO Hídrico Em Bacias Hidrográficas

3.7 Balanço De Cargas Poluidoras Em Bacias Hidrográficas

3.8 Gestão Qualitativa Do Fluxo Superficial De Água Azul

3.9 Pegada Hídrica: Quantificação Do Consumo Dos Fluxos De Água Azul E Verde

3.10 Avaliação Da Pegada Hídrica E Gestão Quali-Quantitativa De Fluxos De

Água Azul E Verde

3.11 Pagamento Por Serviços Ambientais: Instrumento Para Conservação De Bacias Hidrográficas

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referincias

Capítulo 4. Comunidade microbiana

4.1 Introdução

4.2 Técnicas De Biologia Molecular

4.3 Considerações Finais

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 5. Meio ambiente e saúde pública

5.1 Introdução

5.2 Poluição Da Água

5.3 Doenças De Causa Biológica Relacionadas À Água

5.4 Doenças Relacionadas À Água Causadas Por Substâncias Inorgânicas E Orgânicas

5.5 Poluição Do Ar

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 6. Atribuições da engenharia ambiental e seu papel para a sustentabilidade

6.1 Introdução

6.2 Engenharia Ambiental

6.3 Sustentabilidade

6.4 O Papel Do Engenheiro Ambiental Para A Sustentabilidade

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Eixo 2: Ecossistemas Aquáticos E Terrestres

Capítulo 7. Fundamentos ecológicos e ciclos naturais

7.1 Introdução

7.2 Energia

7.3 Matéria

7.4 Populações E Comunidades

7.5 Diversidade De Espécies

7.6 Ecótono

7.7 Sucessão Ecológica

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 8. Sistemas aquáticos continentais

8.1 Introdução

8.2 Propriedades Físicas E Químicas Da Água Doce

8.3 Rios E Córregos

8.4 Áreas Alagadas (Wetlands)

8.5 Lagos E Reservatórios

8.6 Aquíferos

8.7 Comunidades Biológicas

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Material com direito autoral

Referências

Capítulo 9. Oceanos e áreas costeiras

9.1 Introdução

9.2 Oceano: Estrutura E Processos

9.3 Os Habitantes Dos Oceanos

9.4 Ambientes Costeiros

9.5 Ambientes Oceânicos

9.6 Recursos Oceânicos

9.7 Serviços Ecossistêmicos Dos Oceanos

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 10. Interações bióticas e abióticas na paisagem: uma perspectiva eco-hidrológica

10.1 Introdução

10.2 Florestas E Ciclo Hidrológico

10.3 O Papel Da Biodiversidade

10.4 Manejo Eco-Hidrológico Da Paisagem

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Eixo 3: Impactos Ambientais

Capítulo 11. Impactos ambientais sobre rios e reservatórios

11.1 Introdução

11.2 Disponibilidade Hídrica

11.3 Os Usos Múltiplos Da Água

11.4 Alterações Na Dinâmica Do Rio

11.5 Os Impactos Promovidos Por Reservatórios E Sua Classificação

11.6 Fontes De Poluição Hídrica

11.7 Efluentes Urbanos

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 12. Contaminação de águas subterrâneas

12.1 Introdução

12.2 Fontes De Contaminação

12.3 Transporte De Contaminantes

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 13. Impactos ambientais sobre mares e oceanos

13.1 Introdução

13.2 Ocupação Desordenada Da Faixa Litorânea

13.3 Uso De Recursos Vivos

13.4 Uso De Recursos Não Vivos

13.5 Mudanças Globais

13.6 Considerações Finais

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Sites Interessantes Para Consulta

Capítulo 14. Impactos ambientais sobre o solo

Material com direito autoral

14.1 Introdução

14.2 Impacto Ambiental

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 15. Poluição atmosférica e saúde humana

15.1 Introdução

15.2 Aspectos Gerais Da Relação Entre Poluição Atmosférica E Saúde Humana

15.3 Poluentes Atmosféricos Que Afetam A Saúde Humana

15.4 Influência Do Clima Na Saúde Humana

15.5 Mçtodos Científicos Utilizados Nos Estudos De Poluição, Clima E Saúde Humana

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 16. Mudanças climáticas

16.1 Introdução

16.2 Clima E Tempo

16.3 A Ciência Das Mudanças Climáticas

16.4 Os Impactos Das Mudanças Climáticas

16.5 As Respostas Às Mudanças Climáticas

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Eixo 4: Ações Mitigadoras De Impactos Ambientais

Capêtulo 17. Tratamento de água para consumo humano

17.1 Introdução

17.2 Qualidade Das Águas Naturais E Padrões De Potabilidade

17.3 Técnicas De Tratamento De Água Para Consumo Humano

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 18. Tratamento de esgoto

18.1 Introdução

18.2 Concepção Do Sistema De Tratamento

18.3 Processos Biológicos De Tratamento De Esgotos

18.4 Reatores Biológicos E Sistemas De Tratamento

18.5 Critérios De Projeto

18.6 Estudo De Alternativas

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 19. Tratamento De águas residuárias industriais

19.1 Introdução

19.2 Seleção Dos Processos De Tratamento

19.3 Tratamento De Águas Residuárias Biodegradáveis

19.4 Tratamento De Águas Residuárias Não Biodegradáveis

19.5 Novas Tendências

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 20. Poluentes emergentes, saúde pública e reúso potável direto

20.1 Introdução

20.2 As Soluções Propostas

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capêtulo 21. Tratamento de efluentes gasosos

21.1 Introdução

21.2 Poluição Do Ar

21.3 Fontes De Emissão

21.4 Métodos De Controle

21.5 Considerações Finais

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 22. Resíduos sólidos

22.1 Introdução

22.2 Conceitos Iniciais

22.3 Gerenciamento De Resíduos Sólidos

22.4 Disposição Final

22.5 Tratamento De Resíduos Sólidos

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 23. Recuperação de áreas degradadas

23.1 Introdução

23.2 Degradação Ambiental

23.3 Recuperação Ambiental

23.4 Tipos De Áreas Degradadas

23.5 Medidas De Recuperação

23.6 Exemplos De Recuperação

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 24. Remediação e readequação de sistemas aquáticos superficiais contaminados

24.1 Introdução

24.2 Barreiras

24.3 Remediação Dos Corpos De Água Lóticos

24.4 Remediação De Corpos De Água Lênticos

24.5 O Problema De Sempre: E Os Lodos?

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 25. Sistemas de informações geográficas aplicados à engenharia ambiental

25.1 Introdução

25.2 Breve Histórico Do Sig

25.3 Princípios Da Cartografia E Sig

25.4 Arquitetura Do Sig Moderno

25.5 Tipos De Dados Em Sig

25.6 Aquisição E Preparação De Dados Em Sig

25.7 Funções E Ferramentas De Análise Espacial

25.8 Modelos Digitais De Terreno

Material com direito autoral

25.9 Projetos E Modelos Em Sig

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 26. Fontes de energia renováveis e energia nuclear

26.1 Introdução

26.2 Biomassa

26.3 Energia Eólica

26.4 Energia Hidroelétrica

26.5 Hidrogênio

26.6 Energia Solar

26.7 Energia Nuclear

26.8 Panorama Brasileiro

26.9 Panorama Mundial

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Eixo 5: Gestão Ambiental

Capítulo 27. Política ambiental e gestão ambiental

27.1 Introdução

27.2 A Problemática Ambiental

27.3 Desenvolvimento Sustentável

27.4 Gestão Ambiental: Significado E Funções Primordiais

27.5 Gestão Ambiental: Abrangência E Variáveis De Atuação

27.6 Gestão Ambiental Para A Sustentabilidade

27.7 A Política Ambiental No Brasil

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 28. Áreas protegidas: por que precisamos delas?

28.1 Introdução

28.2 Origens E Conceito De Área Protegida

28.3 O Sistema Nacional De Unidades De Conservação (SNUC)

28.4 Indo Além Das Unidades De Conservação: Importância Da Conservação Na Escala Da Paisagem

28.5 Como Promover A Conservação In Situ Além Das Unidades De Conservação?

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 29. Análise de viabilidade ambiental

29.1 Introdução

29.2 Abordagens De Análise Ambiental

29.3 Padrões De Qualidade

29.4 Viabilidade Ambiental

29.5 O Licenciamento Ambiental

29.6 Métodos Para Avaliação De Impactos

29.7 Viabilidade Ambiental E Gestão De Empreendimentos

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referências

Capítulo 30. Gestão ambiental de empresas

30.1 Introdução

30.2 Evolução Das Práticas De Gestão Ambiental Empresarial

30.3 A Série Iso 14.000 – Gestão Ambiental

30.4 Produção Mais Limpa

30.5 Gestão Do Ciclo De Vida

30.6 Considerações Finais

Revisão Dos Conceitos Apresentados

Sugestões De Leitura Complementar

Referàncias

Material com direito autorais

Cadastro

Preencha a **ficha de cadastro** no final deste livro e receba gratuitamente informações sobre os lançamentos e as promoções da Elsevier.
Consulte também nosso catálogo completo, últimos lançamentos e serviços exclusivos no site **www.elsevier.com.br**

Copyright

© 2013, Elsevier Editora Ltda.

Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei nº 9.610, de 19/02/1998.
Nenhuma parte deste livro, sem autorização prévia por escrito da editora, poderá ser reproduzida ou transmitida sejam quais forem os meios empregados: eletrônicos, mecânicos, fotográficos, gravação ou quaisquer outros.

Coordenação de produção: Sandra Scapin
Copidesque: Letícia Vendrame
Revisão: Regina Oliveira
Editoração eletrônica: S4 Editorial Ltda. ME

Elsevier Editora Ltda.
Conhecimento sem Fronteiras
Rua Sete de Setembro, 111 – 16º andar
20050-006 – Centro – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

Rua Quintana, 753 – 8º andar
04569-011 – Brooklin – São Paulo – SP – Brasil

Serviço de Atendimento ao Cliente
0800-0265340
sac@elsevier.com.br

ISBN 978-85-352-5954-4
ISBN (versão eletrônica): 978-85-352-6191-2

Nota: Muito zelo e técnica foram empregados na edição desta obra. No entanto, podem ocorrer erros de digitação, impressão ou dúvida conceitual. Em qualquer das hipóteses, solicitamos a comunicação ao nosso Serviço de Atendimento ao Cliente, para que possamos esclarecer ou encaminhar a questão.
Nem a editora nem o autor assumem qualquer responsabilidade por eventuais danos ou perdas a pessoas ou bens originados do uso desta publicação.

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO-NA-FONTE
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ

Material com direitos autorais

E48

Ashby, M. F.
Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão/coordenadores Maria do Carmo Calijuri, Davi Gasparini Fernandes Cunha. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

Inclui bibliografia
ISBN 978-85-352-5954-4

1. Engenharia ambiental. I. Calijuri, Maria do Carmo, 1956-. II. Cunha, Davi Gasparini Fernandes.
12-2632. CDD: 628
CDU: 628

Material com direitos autorais

Prefácio

A Engenharia Ambiental, como uma modalidade da engenharia, veio sanar a falha das engenharias tradicionais que não incluíram em seus procedimentos, oportunamente, os conceitos de respeito ao meio ambiente, à sua capacidade de suporte em termos de exploração dos seus recursos e de devolução de resíduos a ele. Tardou-se o reconhecimento dos danos causados ao meio pela corrida desenvolvimentista em busca de crescente produção industrial para corresponder à demanda de mercadorias e conforto. Desde a Revolução Industrial até algumas décadas atrás, não se cogitava o conceito de sustentabilidade, apesar de alguns terríveis episódios de desastres ambientais: poluição dos cursos de água, poluição atmosférica em regiões urbanas, poluição do subsolo e perda da biodiversidade.

A revolta popular nos anos 1960 nos Estados Unidos e na Europa foi o estopim para que as organizações mundiais convocassem a sociedade humana para tomar conta da situação do meio ambiente, já bastante deteriorado. Após presenciar um derramamento massivo de óleo em Santa Barbara (Califórnia) e inspirado pelo movimento estudantil contra a guerra do Vietnã, o senador norte-americano Gaylord Nelson convocou fóruns educacionais ambientais gerais (os *Teach-ins*) no primeiro "*Earth Day*", no dia 22 de abril de 1970, dos quais participaram 20 milhões de norte-americanos. Era tão forte o sentimento antiempresarial naquela ocasião, que os organizadores recusaram ajuda das corporações para tal iniciativa porque pretendiam desafiar os próprios líderes governamentais e corporativos. Posteriormente, o Dia Mundial do Meio Ambiente foi criado pela Assembleia Geral das Nações Unidas de 15 de dezembro de 1972, para ser celebrado anualmente em 5 de junho. Esta data comemora a primeira atitude mundial em tentar organizar as relações entre homem e meio ambiente durante a Conferência de Estocolmo, de 6 a 16 de junho de 1972. A consciência ambiental tem obtido impulso com realização de diversos fóruns mundiais, principalmente a Rio 92 e a Rio+20, realizada em 2012.

Tem havido sensível progresso no terreno da consciência ambiental, não obstante a persistência de ocasionais desastres ecológicos na atualidade, como o da *British Petroleum* no Golfo do México, que transformou grandes áreas em um oceano morto em 2010; a continuada dificuldade na implementação das metas, acordadas após a Rio 92, de redução dos gases responsáveis pelo efeito estufa e a ameaça do aquecimento global; a matança e a pesca de espécies ameaçadas de extinção para consumo humano; o desmatamento de florestas para agricultura e ocupação urbana e tantos outros flagrantes ataques à natureza. Tais ocorrências hoje recebem ampla cobertura na mídia e são encaradas com grande indignação

pelas populações afetadas ou não e pelos governos com pesadas multas e sanções aos perpetrantes. As indústrias e o comércio têm buscado reconhecimento do consumidor por seus esforços "verdes" no sentido de oferecer produtos e serviços sem ferir a natureza. Organizações como Greenpeace estão cooperando com gigantes como o Google para promover tecnologias favoráveis ao meio ambiente. Para alguns veteranos do movimento ambiental, no entanto, tal ecoconsumismo é frustrante, por desviar a atenção dos problemas ambientais reais.

A elevação da consciência ambiental continuará sendo tarefa primordial da sociedade humana, devendo a educação ambiental ser praticada em todos os níveis, a fim de formar cidadãos conscientes de sua responsabilidade socioambiental. A introdução de cursos de Engenharia Ambiental permite difundir, na prática, os conceitos e as tecnologias na gestão de recursos ambientais, e os novos engenheiros que se formarem nessa modalidade acrescentarão ao movimento já existente pela constante discussão das questões ambientais no meio geral. Com a mentalidade sadia, deverão atuar em todas as instâncias: governamental, setor privado e instituições de pesquisa. É preciso aplicar abordagens multidisciplinares para despoluir o meio ambiente e desenvolver soluções sustentáveis para o futuro.

Este livro reúne material didático proveniente de diversos campos de conhecimento para oferecer uma boa base aos alunos de cursos de graduação em Engenharia Ambiental. O livro busca uma transição das engenharias "*hard*" para uma engenharia que leva explicitamente em conta a vida no planeta e representa um acordar para a Engenharia Ambiental de maneira fluida, reforçando a responsabilidade da engenharia para com o meio ambiente. Os autores merecem elogio por aceitarem o desafio de organizar um livro-texto para os cursos de engenharia ambiental, que considero pioneiro neste campo. Eles alcançaram admiravelmente bem seus objetivos.

O livro é dividido em cinco eixos temáticos, desde fundamentos até gestão ambiental, varrendo os ecossistemas, os impactos ambientais e as ações mitigadoras. Conceitos modernos, como os da microbiologia e suas técnicas, são apresentados de forma didática. São ressaltados os serviços proporcionados por diversos ecossistemas e as estratégias sustentáveis para usos humanos. Os autores de cada capítulo estabeleceram ampla conexão de seus assuntos com os demais capítulos do livro e cada capítulo se encerra com uma breve revisão dos conceitos nele tratados, os quais são ilustrados com exemplos. O material, embasado em referências bibliográficas amplas, traz sugestões para leitura aprofundada.

Fazal Hussain Chaudhry

Engenheiro civil – *Punjab University*, Paquistão

Mestre em engenharia hidráulica – *Asian Institute of Technology*, Tailândia

Doutor em engenharia civil – *Colorado State University*, Estados Unidos

Pós-doutor em engenharia sanitária – *Iowa State University*, Estados Unidos

Livre-docente – Universidade de São Paulo, Brasil

Professor titular aposentado – Universidade de São Paulo, Brasil

Apresentação

Neste momento, em que o primeiro curso de graduação em Engenharia Ambiental no Brasil completa 21 anos, apresentamos a obra *Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão*. Este livro segue a linha natural de raciocínio e aprendizado de um engenheiro formado pela Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, na qual o curso de graduação em Engenharia Ambiental formou sua primeira turma no ano de 2007.

Esta publicação compreende 30 capítulos, divididos em cinco eixos temáticos, quais sejam: Fundamentos, Ecossistemas Aquáticos e Terrestres, Impactos Ambientais, Ações Mitigadoras de Impactos Ambientais e Gestão Ambiental. O leitor encontrará aproximadamente 300 ilustrações, além de sugestões de leitura complementar e uma série de exemplos que abordam situações reais que o profissional do ambiente vivenciará.

Esta proposta se justifica pelo fato de que a formação de um Engenheiro Ambiental deve ter como base a consolidação de fundamentos de engenharia, biologia, geologia, ecologia, química, física e saúde pública. Este é o alicerce para que o profissional tenha uma visão integrada do ambiente e seja capaz de identificar, caracterizar, dimensionar, prevenir e mitigar os impactos a que os sistemas ambientais estão continuamente submetidos.

Para enfrentar esses desafios, reconhece-se a necessidade da integração de equipes multidisciplinares que contribuam para a identificação do problema a ser resolvido, tarefa precípua de qualquer engenheiro, e para a busca permanente de alternativas tecnológicas otimizadas e adequadas dos pontos de vista ambiental, social e econômico. Para garantir a multidisciplinaridade, este livro contou com a participação de 52 autores oriundos das seguintes áreas: Engenharia (Ambiental, Civil, Mecânica, Agronômica, Produção, Química, Recursos Hídricos, Sanitária e Florestal), Ciências Biológicas, Oceanografia, Ecologia, Administração, Matemática, Arquitetura e Urbanismo, Física, Geologia, Meteorologia, Geografia e Medicina.

O objetivo principal desta obra não foi esgotar o conhecimento sobre Engenharia Ambiental, o que seria impossível. Ao contrário, seu objetivo foi introduzir o assunto de forma holística, em uma sequência de capítulos que propicie a compreensão de alguns aspectos da vasta área de atuação do Engenheiro Ambiental, e estimule o conhecimento para garantir a implementação de soluções para problemas decorrentes da intervenção do homem sobre o meio ambiente, com vistas à sustentabilidade.

Maria do Carmo Calijuri

Davi Gasparini Fernandes Cunha

Material com direito autoral

Sobre os coordenadores

Maria do Carmo Calijuri

É licenciada e bacharel em Ciências Biológicas (1982) e Mestre em Ecologia e Recursos Naturais (1985) pela Universidade Federal de São Carlos. Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento (1988) pela Universidade de São Paulo. Desde 1989, é docente da Escola de Engenharia de São Carlos. Tornou-se Professora Associada em 1999; é Professora Titular, desde 2004, no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (EESC-USP). Milita, desde 1982, nas áreas de Ecologia Aquática e Saneamento Ambiental; desenvolve pesquisas em rios, áreas alagadas, lagos e reservatórios com vistas à sustentabilidade dos Recursos Hídricos e participou de convênios internacionais, por meio do desenvolvimento de pesquisas conjuntas, com grupos de pesquisadores de vários países. Até o momento, formou 33 mestres e 26 doutores. Publicou seis livros e mais de cem artigos científicos em periódicos, capítulos de livros e publicações em eventos científicos nacionais e internacionais. Na carreira administrativa, foi diretora do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da EESC-USP (1995 a 1998); Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental (1995 a 1999), Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento e Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC-USP (2002 a 2006); e diretora da EESC-USP (2007 a 2011).

Davi Gasparini Fernandes Cunha

Nasceu em 29 de dezembro de 1986 e é natural de São Paulo (SP). Ingressou no curso de Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP), após aprovação em 1º lugar no vestibular da Fuvest (Fundação Universitária para o Vestibular). Foi bolsista de iniciação científica do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), entre 2004 e 2006, e da Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), entre 2006 e 2008. Em 2005, recebeu Menção Honrosa por trabalho apresentado no Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP. Obteve o título de Engenheiro Ambiental em 2008 pela EESC-USP e, nesse mesmo ano, recebeu o Prêmio de Formação Profissional do CREA (Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia). Em 2009, foi aprovado em 1º

lugar no processo seletivo do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC-USP) como aluno de doutorado direto, com previsão de término do doutoramento em outubro de 2012. Entre agosto de 2008 e maio de 2010, foi assessor técnico do Ministério Público do Estado de São Paulo (MP-SP). Entre setembro de 2010 e março de 2011, foi pesquisador visitante nos Estados Unidos (*Kansas State University*). Em junho de 2011, foi convidado a participar de evento promovido na França, pela *Université Paris-Est*, na condição de *Young Environmental Scientist*. Até julho de 2012, publicou mais de 40 artigos científicos em periódicos, capítulos de livros e eventos científicos nacionais e internacionais. Atua na área de Engenharia Ambiental, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, com especial interesse nos temas: rios, reservatórios, qualidade da água, fitoplâncton, ecologia aplicada, remediação de sistemas aquáticos, sistemas naturais e artificiais redutores de cargas poluidoras e sustentabilidade dos recursos hídricos.

Material com direito autoral

Sobre os Autores

Aldo Roberto Ometto

Graduação em Engenharia de Produção Química – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (1997)

Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental – Universidade de São Paulo, USP (2000)

Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (2005), com estágio na Universidade Técnica da Dinamarca, DTU (2003)

Pós-doutorado, Universidad Autonoma de Barcelona, Espanha (2011)

Professor doutor do Departamento de Engenharia de Produção – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Alexander Turra

Graduação em Ciências Biológicas – Universidade Estadual de Campinas, Unicamp (1994)

Mestrado em Ciências Biológicas (Ecologia) – Universidade Estadual de Campinas, Unicamp (1998)

Doutorado em Ciências Biológicas (Ecologia) – Universidade Estadual de Campinas, Unicamp (2003)

Professor doutor do Instituto Oceanográfico – Universidade de São Paulo, IO-USP

Aline Borges do Carmo

Graduação em Ciências Biológicas – Universidade de São Paulo, USP (2002)

Mestrado em Ecologia e Biomonitoramento – Universidade Federal da Bahia, UFBA (2008)

Aluna de doutorado em Oceanografia – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, IO-USP (início: 2011)

Analista Ambiental do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Superintendência Estadual da Bahia, IBAMA

Americo Guelere Filho

Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade de São Paulo, USP (2001)
Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade de São Paulo, USP (2004)
Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade de São Paulo, USP (2009)
Sócio-diretor da LCM Inovação & Sustentabilidade

Aníbal da Fonseca Santiago

Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Viçosa, UFV (2006)
Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (2008)
Aluno de doutorado em Engenharia Civil (Área de Concentração: Engenharia Sanitária e Ambiental) -Universidade Federal de Viçosa, UFV (início: 2009)

Carlos Roberto Monteiro de Andrade

Graduação em Arquitetura e Urbanismo e em Ciências Sociais – Universidade de São Paulo, USP (1974)
Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo, USP (1992)
Doutorado em Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo, USP (1998)
Pós-doutorado – Politécnico de Milão, Itália (setembro/2008 – fevereiro/2009)
Professor assistente do Instituto de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo, IAU-USP

Davi Gasparini Fernandes Cunha

Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade de São Paulo, USP (2008)
Aluno de doutorado direto do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP. Previsão de término: outubro de 2012

Doron Grull

Graduação em Engenharia Civil/Hidráulica – Universidade de São Paulo, USP (1969)
Pesquisador e consultor do Centro de Apoio à Faculdade de Saúde Pública – Universidade de São Paulo, FSP-USP

Dulce Buchala Bicca Rodrigues

Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS (2007)

Especialização em Avaliação Ambiental Estratégica – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS (2009)

Mestrado em Tecnologias Ambientais – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS (2010)

Aluna de doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP (início: 2010)

Edson Wendland

Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT (1986)

Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS (1991)

Doutorado em Engenharia Civil – Ruhr-Universität Bochum, Alemanha (1995)

Pós-doutorado em Engenharia de Petróleo – Universidade Estadual de Campinas, Unicamp (2001)

Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (2004)

Professor titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Eduardo Cleto Pires

Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade de São Paulo, USP (1977)

Mestrado em Engenharia Mecânica – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUCRJ (1981)

Doutorado em Engenharia Civil Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1985)

Pós-doutorado – Miami University, Estados Unidos (1985-1987 e 1995-1996), University of Arkansas, Estados Unidos (1989) e University of Oxford, Inglaterra (2008)

Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (1993)

Professor titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Eduardo Mario Mendiondo

Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos – Universidad Nacional Del Litoral (Argentina), UNL (1991)

Mestrado em Engenharia Civil e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Rio Grande do Sul, UFRGS (1995)

Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Universidade Federal de Rio Grande do Sul, UFRGS (2001)

Pós-doutorado – Universidade de Kassel, Alemanha (2001)

Professor doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Eugenio Foresti

Graduação em Engenharia Civil – Universidade de São Paulo, EESC-USP (1970)
Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, EESC-USP (1972)
Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, EESC-USP (1982)
Pós-doutorado – University of New Castle Upon Tyne, Inglaterra (1985-1986)
Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (1987)
Professor titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Evandro Mateus Moretto

Graduação em Ciências Biológicas – Universidade Estadual Paulista, Unesp (1997)
Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental – Universidade de São Paulo, USP (2001)
Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (2006)
Professor doutor da Escola de Artes, Ciências e Humanidades – Universidade de São Paulo, EACH-USP

Flávia Marisa Prado Saldanha-Corrêa

Graduação em Ciências Biológicas – Universidade de São Paulo, USP (1987)
Mestrado em Oceanografia Biológica – Universidade de São Paulo, USP (1993)
Doutorado em Oceanografia Biológica – Universidade de São Paulo, USP (1999)
Bióloga do Departamento de Oceanografia Biológica, Instituto Oceanográfico – Universidade de São Paulo, IO-USP

Francisco Arthur Silva Vecchia

Graduação em Engenharia de Produção – Universidade de São Paulo, USP (1981)
Especialização em Arquitetura Bioambiental – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PUCPR (1986)
Mestrado em Arquitetura: Tecnologia do Ambiente Construído – Universidade de São Paulo, USP (1990)
Doutorado em Geografia – Universidade de São Paulo, USP (1997)
Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (2005)
Professor associado do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Gabriel D'Arrigo de Brito Souto

Graduação em Ciências Biológicas – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, PUCRS (1996)
Especialização em Qualidade e Modelagem Estatística – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS (1998)
Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS (2001)
Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (2005)
Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (2009)
Diretor da EHSA – Engenharia Sanitária e Ambiental

Isabel Kimiko Sakamoto

Graduação em Ciências Biológicas – Universidade de São Paulo, USP (1992)
Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1996)
Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (2001)
Pós-doutorado – Universidade de São Paulo, USP (2006)
Especialista de laboratório do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Ivan Silvestre Paganini Marin

Graduação em Física, com ênfase em Computação – Universidade de São Paulo, USP (2005)
Mestrado em Física Aplicada – Universidade de São Paulo, USP (2007)
Doutorado em Ciências, Área Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (2011)

Ivanildo Hespanhol

Graduação em Engenharia Civil – Universidade de São Paulo, USP (1961)
Doutorado em Saúde Pública – Universidade de São Paulo, USP (1968)
Mestrado em Engenharia Sanitária – University of California, Berkeley, Estados Unidos (1972)
Doutorado em Engenharia Sanitária – University of California, Berkeley, Estados Unidos (1975)
Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (1982)
Professor titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, EP-USP

João Luiz Boccia Brandão

Graduação em Engenharia Civil – Universidade de São Paulo, USP (1981)
Especialista em Hidrologia – International Institute of Hydraulic and

Environmental Engineering, IHE Delft, Holanda (1985)
Doutorado em Engenharia Civil (Área de Recursos Hídricos) – Universidade de São Paulo, USP (2004)
Professor doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Juliana Moccellin

Graduação em Ciências Biológicas – Universidade de São Paulo, USP (2002)
Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, EESC-USP (2006)
Doutorado em Ciências: Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, EESC-USP (2010)

Jurandyr Povinelli

Graduação em Engenharia Civil – Universidade de São Paulo, USP (1964)
Graduação em Engenharia Sanitária – Universidade de São Paulo, USP (1970)
Mestrado em Saúde Pública – Universidade de São Paulo, USP (1971)
Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1973)
Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (1987)
Professor titular (Aposentado) do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP
Professor colaborador sênior do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Kátia Maria Paschoaletto Micchi de Barros Ferraz

Graduação em Ciências Biológicas – Universidade Estadual Paulista, UNESP (1993)
Mestrado em Psicologia Experimental – Universidade de São Paulo, USP (1999)
Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas – Universidade de São Paulo, USP (2004)
Pós-doutorado – Universidade de São Paulo, USP (2004 – 2009)
Professor doutor do Departamento de Ciências Florestais – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Esalq-USP

Lázaro Valentin Zuquette

Graduação em Geologia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ (1978)
Mestrado em Geotecnia – Universidade de São Paulo, USP (1981)
Doutorado em Geotecnia – Universidade de São Paulo, USP (1987)

Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (1993)
Professor titular do Departamento de Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Lorena Lima de Oliveira

Graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (2003)
Mestrado em Engenharia Civil – Universidade de São Paulo, USP (2006)
Doutorado em Ciências – Universidade de São Paulo, USP (2010)
Pós-doutorado – Universidade de São Paulo, USP (2012)

Luisa Fernanda Ribeiro Reis

Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual de Campinas, Unicamp(1981)
Mestrado em Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1985)
Doutorado em Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1990)
Pós-doutorado – Centre for Water Systems, Exeter University, Inglaterra (2000-2001)
Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (2003)
Professora titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Luiz Antonio Daniel

Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG (1983)
Mestrado em Engenharia Civil: Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1989)
Doutorado em Engenharia Civil: Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo (1993)
Professor doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Lyda Patricia Sabogal Paz

Graduação em Engenheira Sanitária – Universidad del Valle, Colômbia (2000)
Doutorado em Engenharia (Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, USP (2007)
Pós-doutorado – Universidade de São Paulo (2010)
Professora doutora do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Marcelo Montaño

Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade de São Paulo, USP (1998)
Mestrado em Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (2002)
Doutorado em Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (2005)
Professor doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Marcelo Zaiat

Graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (1990)
Mestrado em Engenharia Química – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (1992)
Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1996)
Pós-doutorado – Universidade de São Paulo, USP (1997) e Escola de Engenharia Mauá, EEM (1998)
Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (2004)
Professor associado do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Márcia Helena Rissato Zamariolli Damianovic

Graduação em Engenharia Civil – Universidade de São Paulo, USP (1986)
Mestrado em Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1991)
Doutorado em Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1997)
Pós-doutorado – Universidade de São Paulo, USP (2003-2007) e Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (2008-2009)
Professora doutora do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Marco Antonio Penalva Reali

Graduação em Engenharia Civil – Universidade de São Paulo, USP (1981)
Mestrado em Engenharia Civil – Universidade de São Paulo, USP (1984)
Doutorado em Engenharia Civil – Universidade de São Paulo, USP (1990)
Professor doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Marcos José de Oliveira

Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade de São Paulo, USP (2007)
Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental – Universidade de São Paulo, USP (2010)
Aluno de doutorado em Geociências Aplicadas – Universidade de Brasília, UnB (início: 2012)
Analista Ambiental – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, IBAMA

Marcus Polette

Graduação em Geografia – Universidade Federal do Rio Grande, FURG (1987)
Graduação em Oceanografia – Universidade Federal do Rio Grande, FURG (1989)
Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (1993)
Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (1997)
Pós-doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC (2006)
Professor do Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – Universidade do Vale do Itajaí, UNIVALI

Maria Bernadete Amâncio Varesche

Graduação em Ciências Biológicas – Universidade Estadual Paulista, UNESP (1983)
Mestrado em Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1990)
Doutorado em Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1997)
Pós-doutorado – Universidade de São Paulo, USP (2000)
Professora doutora do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Maria do Carmo Calijuri

Graduação em Ciências Biológicas – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (1982)
Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (1985)
Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1988)
Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (1999)
Professora titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Maria Lúcia Calijuri

Graduação em Engenharia Civil – Universidade de São Paulo, USP (1977)
Mestrado em Geotecnia – Universidade de São Paulo, USP (1983)
Doutorado em Engenharia Civil – Universidade de São Paulo, USP (1988)
Professora titular do Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, UFV

Micheline de Sousa Zanotti Stagliorio Coêlho

Graduação em Meteorologia – Universidade Federal de Campina Grande, UFCG (1998)
Mestrado em Meteorologia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE (2001)
Doutorado em Meteorologia – Universidade de São Paulo, USP (2007)
Pós-doutorado – Universidade de São Paulo (2010)
Graduação em Matemática – Universidade Paulista, UNIP (2011)
Pesquisadora de pós-doutorado do Laboratório de Poluição Atmosférica e Experimental – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, FM-USP

Osni José Pejon

Graduação em Geologia – Universidade Estadual Paulista, UNESP (1982)
Mestrado em Geotecnia – Universidade de São Paulo, USP (1987)
Doutorado em Geotecnia – Universidade de São Paulo, USP (1992)
Pós-doutorado – Laboratoire Central des Ponts et Chaussèes, LCPC, França (1994)
Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (2000)
Professor titular do Departamento de Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Oswaldo Augusto Filho

Graduação em Geologia – Universidade de São Paulo, USP (1983)
Mestrado em Engenharia Civil – Universidade de São Paulo, USP (1991)
Especialização em Análise de Risco e SIG – Serviço Geológico dos Estados Unidos, USGS, Colorado (1999)
Doutorado em Geociências e Meio Ambiente – Universidade Estadual Paulista, UNESP (2001)
Professor doutor do Departamento de Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Paula Peixoto Assemany

Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Viçosa, UFV (2010)

Aluna de mestrado em Engenharia Civil (Área de Concentração: Engenharia Sanitária e Ambiental) -Universidade Federal de Viçosa, UFV (início: 2011)

Paulo Hilário Nascimento Saldiva

Graduação em Medicina – Universidade de São Paulo, USP (1977)

Especialização em Medicina – Universidade de São Paulo, USP (1979)

Doutorado em Patologia – Universidade de São Paulo, USP (1983)

Pós-doutorado – Universidade de São Paulo, USP (1980)

Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (1986)

Professor titular do Departamento de Patologia – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, FM-USP

Renata Bovo Peres

Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo, USP (1999)

Aperfeiçoamento em Arquitetura e Urbanismo – Universidad Politecnica de Cataluña, Espanha (1997)

Especialização em Gestão Ambiental – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (2006)

Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo, USP (2003)

Doutorado em Engenharia Urbana – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (2012), com estágio na Universidad Autónoma de Barcelona, Espanha (2011)

Professora Temporária do Curso de Gestão e Análise Ambiental – UFSCar (2012)

Severino Soares Agra Filho

Graduação em Engenharia Química – Universidade Federal da Bahia, UFBA (1977)

Especialização em Sistemas de Tratamento de Despejos Domésticos e Industriais – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, UERJ (1980)

Especialização em Administração de Projetos de Meio Ambiente – Fundação Getúlio Vargas, FGV (1982)

Mestrado em Planejamento Energético – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ (1991)

Doutorado em Economia Aplicada ao Meio Ambiente – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP (2002)

Professor adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, EP-UFBA

Silvio Frosini de Barros Ferraz

Graduação em Engenharia Florestal – Universidade de São Paulo, USP (1998)
Doutorado em Recursos Florestais – Universidade de São Paulo, USP (2004)
Pós-doutorado – Universidade de São Paulo, USP (2005)
Professor doutor do Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências de Rio Claro – Universidade Estadual Paulista, UNESP (2006)
Professor doutor do Departamento de Ciências Florestais – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, ESALQ-USP

Sônia Maria Flores Gianesella

Graduação em Ciências Biológicas – Universidade de São Paulo, USP (1974)
Mestrado em Oceanografia Biológica – Universidade de São Paulo, USP (1978)
Doutorado em Oceanografia Biológica – Universidade de São Paulo, USP (1981)
Pós-doutorado – McMaster University, Canadá (1983) e Observatoire Océanologique de Banyuls, Laboratoire Arago, França (1994)
Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (2000)
Professora associada do Departamento de Oceanografia Biológica, Instituto Oceanográfico – Universidade de São Paulo, IO-USP

Valéria Del Nery

Graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (1983)
Mestrado em Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1987)
Doutorado em Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, USP (1993)
Projetista e consultora em sistemas de tratamento de efluentes líquidos industriais e esgoto sanitário

Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues

Graduação em Geologia – Universidade de São Paulo, USP (1998)
Mestrado em Geoquímica – Universidade de São Paulo (2001)
Doutorado em Geoquímica – Universidade de São Paulo (2007)
Pós-doutorado – Universidade Estadual Paulista, Unesp (2010)
Professora doutora do Departamento de Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Victor Eduardo Lima Ranieri

Graduação em Engenharia Agronômica – Universidade de São Paulo, USP (1994)
Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental – Universidade de São Paulo, USP (2000)
Doutorado em Engenharia Civil (Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, USP (2004)

Pós-doutorado – Universidad de Zaragoza, Espanha (2011)
Professor doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Walter de Paula Lima

Graduação em Engenharia Agronômica – Universidade de São Paulo, USP (1968)
Mestrado em Hidrologia Florestal – Ohio State University, Estados Unidos (1971)
Doutorado em Solos – Universidade de São Paulo (1975)
Livre-docência – Universidade de São Paulo, USP (1981)
Pós-doutorado – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Forestry, Austrália (1981) e Institute of Ecology and Research Management, University of Edimburgo, Escócia (1992)
Professor titular aposentado do Departamento de Ciências Florestais – ESALQ-USP

Wiclef Dymurgo Marra Junior

Graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (1988)
Mestrado em Engenharia Química – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (1991)
Doutorado em Engenharia Química – Universidade Federal de São Carlos, UFSCar (2000)
Professor doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC-USP

Material com direito autoral

EIXO 1

Fundamentos

Capítulo 1 Engenharia, natureza e recursos naturais

Capítulo 2 Geologia e solos

Capítulo 3 Bacias hidrográficas: caracterização e manejo sustentável

Capítulo 4 Comunidade microbiana

Capítulo 5 Meio ambiente e saúde pública

Capítulo 6 Atribuições da engenharia ambiental e seu papel para a sustentabilidade

Material com direito autoral

CAPÍTULO 1

Engenharia, natureza e recursos naturais

Carlos roberto monteiro de Andrade

Marcelo Zaiat

Os principais conceitos apresentados neste capítulo são os de natureza, cultura, energia e recursos naturais. São vistos, também, os conceitos de sociedades nômades e sociedades sedentárias. É discutida a noção de engenharia, em especial de engenharia ambiental.

1.1 Introdução

Falar em engenharia – atividade cuja característica principal é a transformação da natureza, ou, conforme definição do *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa* (Houaiss, 2001), a *"aplicação de métodos científicos ou empíricos à utilização dos recursos da natureza em benefício do ser humano"* – exige falar, também, em natureza. Principalmente quando se fala de engenharia ambiental, habilitação relativamente recente – ao menos na denominação – da engenharia, que tem como objeto principal o meio ambiente. Entretanto, também a ideia de cultura tem de ser abordada quando se analisam as relações dos homens com a natureza ao longo da história.

1.2 Natureza e cultura

Na história das sociedades humanas, as relações que os homens estabelecem com a **natureza** – entendida esta como o mundo material, em especial aquele em que

Material com direito autoral

vivemos e que independe de nós, mas também, ainda conforme o Dicionário Houaiss (Houaiss, 2001), é "o *conjunto de elementos do mundo natural,*" ou "o *universo, com todos seus fenômenos*" – sempre foram distintas para cada **sociedade** e também para cada **período histórico**.

A diversidade das culturas entre os homens – organizados em sociedades – expressa, de modo particular, suas relações com a natureza. O próprio termo cultura significa, originalmente, "*ação, processo ou efeito de cultivar a terra*" (Houaiss, 2001), referindo-se à lavoura, ao "*cuidado com o crescimento natural*" (Williams, 2007), indicando que é no modo como trabalhamos a natureza que construímos nossa cultura. Mais ainda, a palavra "cultura" vem do latim *colere*, que significa, além de cultivar, habitar (daí o termo colônia e o verbo colonizar), proteger e "*honrar com veneração*" *(cultus*, que dá origem a "culto" e "cultuar").

Poderíamos mesmo afirmar que já no modo como representamos a natureza, ou como cada sociedade representa o mundo natural, constituímos uma dada relação com a natureza, seja nos percebendo como parte constitutiva e inseparável dela ou, então, pretendendo dominá-la para nossos fins, a partir de uma relação de exterioridade com ela. Portanto, a engenharia ambiental pressupõe e implica certa ideia de natureza e também de cultura, que deve ser considerada e discutida principalmente por aqueles que vão atuar nesse campo técnico-profissional.

A palavra em grego para "Natureza" é φύσις(*physis*). Corresponde ao vocábulo latino *natura*, "a *partir da raiz do particípio passado do latim nasci (nascer) – do qual também derivam nação [nation], nativo [native], inato [innate]*" (Williams, 2007). Natureza pode ser vista, filosoficamente, em pelo menos dois sentidos: como "a *natureza de um ser*" (Mora, 1971), que é seu sentido mais antigo, ou como "a *Natureza*", ou seja, "*o próprio mundo material, incluídos ou excluídos os seres humanos*" (Williams, 2007), que é o sentido que nos interessa aqui, ainda que Mora (1971) nos lembre que nem sempre esses sentidos são independentes. A filosofia no ocidente, dos filósofos pré-socráticos aos contemporâneos, sempre pensou e problematizou a natureza conforme significados diversos, correspondentes a cada sociedade, ao espírito da época, às ideologias vigentes.

Em seu curso sobre o conceito de Natureza, ministrado no *Collège de France* nos anos de 1957 a 1960, o filósofo francês Maurice Merleau-Ponty (1908–1961) estudou as variações do conceito de Natureza desde a antiguidade até o século XX, e afirmou que "a *Natureza é diferente do homem; não é instituída por ele, opõe-se ao costume, ao discurso*" (Merleau-Ponty, 2000). Aristóteles, ao conferir à Natureza um caráter finalista – para ele a Natureza não teria feito nada em vão, tendo sempre algum fim –, o que também aparece nos relatos da Bíblia,[1] ao mesmo tempo em que a divide em regiões com qualidades próprias, "*lugares de certos fenômenos naturais*", vê nela "a *realização, mais ou menos bem-sucedida, desse destino qualitativo dos corpos*" (Merleau-Ponty, 2000).

Tal concepção, com pequenas alterações, sobreviveu até a Inglaterra da virada dos séculos XVII para XVIII, quando, como observa o historiador inglês Keith Thomas (Thomas, 1983), "a *visão tradicional era que o mundo fora criado para o bem do homem e as outras espécies deveriam se subordinar a seus desejos e necessidades*". Tal ponto de vista antropocêntrico ainda é vigente, e mesmo dominante, na maioria das sociedades contemporâneas e constitui um ponto-chave na discussão sobre a questão ambiental nos dias atuais.

Mas, mais ainda, Thomas nos diz que, a partir do Renascimento, "não *foram as descobertas científicas que provocaram a mudança da ideia de Natureza. Foi a*

mudança da ideia de natureza que permitiu essas descobertas". Destaca, assim, a importância de certa ideia-chave, como, no caso, a de Natureza, para entendermos como o homem interage com ela, transformando-a a partir de seu trabalho. Não se trata aqui de realizarmos uma abordagem filosófica da ideia de Natureza, como fez Merleau-Ponty em suas aulas,[2] mas de apenas apontarmos suas profundas implicações filosóficas. Desse modo, no mesmo período histórico em que a figura do engenheiro surgia na sociedade europeia, por volta dos séculos XIV e XV, nas repúblicas que deram origem à Itália, uma nova ideia de natureza foi se constituindo, marcada cada vez mais pela exterioridade do homem em relação a ela e, segundo uma perspectiva que buscaria dominá-la, pelo controle de suas forças e exploração de suas potencialidades para atender aos fins utilitários dos homens. A ciência moderna, assim como a teoria e a prática da engenharia, vão se desenvolver a partir dessa concepção de natureza.

Em relação à ideia de cultura, uma concepção dominante é a de que o homem é o único animal capaz de criar cultura, entendendo-se por esta o conjunto integrado de características de comportamento de um determinado grupo social ou sociedade, mas também os resultados – materiais e imateriais – de sua produção socioeconômica. Podemos também dizer que o homem se diferencia dos animais pela sua capacidade de adaptação ao meio. Se no caso dos animais, a adaptação às condições do meio ambiente é principalmente – embora não apenas – fisiológica, no caso do homem a adaptação é muito pouco fisiológica e, sobretudo, cultural, o que envolve mudança de hábitos e de procedimentos. Isso não significa que a cultura de certa sociedade seja determinada principalmente pelo meio, como pensa a teoria mesológica, mas, sem dúvida, este irá interferir em padrões culturais e soluções tecnológicas.

Para o antropólogo francês Claude Lévi-Strauss (1908–2009), "a *cultura não se justapõe simplesmente à vida, nem se superpõe a ela; mas, por um lado, serve de substituto à vida e, por outro, serve-se dela e a transforma para efetuar a síntese de uma nova ordem"* (Lévi-Strauss, 2009, publicado originalmente em 1949).

Ao falarmos em Natureza e Cultura, porém, já não carregamos implícita uma separação entre elas? Em quase todos os mitos de origem, a cultura se opõe à natureza, e também podemos verificar tal transcendência do homem em relação à Natureza em inúmeras religiões, como no judaísmo, no cristianismo e no islamismo. As leis naturais não alcançariam, então, a cultura, e tampouco o espírito (no pensamento judaico-cristão), que seriam autônomos em relação à Natureza e característicos exclusivamente do homem. Mas a antropologia ecológica nos indica outra resposta ao afirmar que a cultura também está sujeita às leis que governam os seres vivos. É assim que há limites para se impor culturas aos sistemas ecológicos. Ou seja: "em *resposta às alterações ambientais, as culturas devem se transformar* (...), *senão os organismos produtores delas perecerão ou as abandonarão"* (Rappaport, 1982, publicado originalmente em 1971).

Desse modo, é fundamental, na relação que se estabelece entre o Homem e a Natureza (aqui as duas palavras com maiúscula), o fato de que *"a natureza é vista pelos homens através de uma tela composta de crenças, conhecimentos e intenções, e os homens agem a partir de suas imagens culturais da natureza, e não a partir da estrutura real da natureza"* (Rappaport, 1982, publicado originalmente em 1971), o que é decisivo para entendermos as relações dos homens com o meio ambiente.

1.3 Nômades e sedentários: formas distintas de se relacionar com a natureza

Dentre as diversas formas das sociedades se relacionarem com a natureza, aquela que distingue os **nômades** dos **sedentários** é fundamental no que diz respeito à construção dos territórios e suas territorialidades. A imagem que nós – homens urbanos por excelência, sedentários – fazemos dos nômades é a de hordas de miseráveis vagando sem rumo, atravessando fronteiras. Multidões famintas saqueando cidades, vilas, povoados e fazendas; guerreiros que tudo destroem em sua contínua travessia. Eis a saga de povos nômades vista por sedentários.

A cidade, em sua origem, constituiu-se como aparelho militar, arma de defesa com seus muros, fossos e portas, controlando fluxos e passagens, criando alfândegas e barreiras. *Polis versus Nomos*, eis como a história da humanidade, por milhares de anos, marcou as diferenças entre formas de territorialidades radicalmente distintas, a dos nômades em oposição à dos sedentários ou, se quisermos, urbanos, uma vez que a cidade é a forma acabada do sedentarismo como modo de construção do território.

Nômades, deslocando-se pela mata, as sociedades que se encontravam no território que hoje chamamos Brasil desenvolveram uma arquitetura totalmente adaptada à floresta. Utilizando-se fundamentalmente de madeira e fibras vegetais para construir seus abrigos e outras construções, sua arquitetura era leve e descartável. Permeando e articulando as formas de sociabilidade no âmbito do grupo familiar, bem como do grupo social como um todo, eram fundamentais a forma e localização das casas, dos caminhos e trilhas, dos pátios e das roças, dos lugares específicos e da aldeia como um todo.

A arquitetura dos nômades da floresta é totalmente integrada a uma forma de territorialidade antis-sedentária, marcada pela mobilidade. Embora inúmeros, se não quase todos, grupos indígenas existentes no Brasil em 1500 praticassem a guerra – ainda que sob formas e fins muito distintos da guerra moderna, como nos mostrou o antropólogo francês Pierre Clastres (1934–1977) em seu livro *Arqueologia da violência: ensaio de antropologia política* (Clastres, 1982) –, sua arquitetura não se caracteriza como militar, apesar da adoção do círculo ou da elipse como traçado do assentamento que demarca um espaço circunscrito. Se pode haver uma razão defensiva nessas formas, ao mesmo tempo elas expressam – mais que isso, tecem – os profundos liames de modos de sociabilidade que aglutinam suas comunidades.

Civilização da palha, as sociedades florestais dominaram essa tecnologia de modo bastante aperfeiçoado, sem comprometer as condições ecológicas de seu hábitat, mas interagindo com elas de modo harmônico e sustentável, para usarmos um termo atual. Sociedades contra o Estado (Clastres, 1978), os nômades da floresta, que habitavam o que veio a ser o Brasil, faziam de sua territorialidade nômade um dos modos de impedir o surgimento de um poder que se exercesse, de fora, sobre o conjunto da sociedade. Com a chegada dos europeus, inicia-se o processo de sedentarização, e a noção de poder que chega com eles é a de que quem tem poder manda, ao contrário daquela das sociedades florestais, nas quais o chefe não manda.

Construtores de cidades por excelência, os europeus adotaram, desde o início, a estratégia de fixação dos grupos nômades, atingindo suas culturas pela destruição de sua forma de territorialidade. Cidades, reduções e reservas foram as formas

urbanas impostas aos indígenas brasileiros, visando a transformá-los em dóceis trabalhadores. Submeter-se a essa política dita de integração, ou à morte, foram as únicas opções oferecidas pelos colonizadores aos povos que já habitavam o Brasil, o que resultou no massacre de dezenas de culturas com suas arquiteturas peculiares e uma rica diversidade de formas e soluções construtivas. Em seu lugar, passaram a ser erguidos edifícios de barro ou pedra, fortalezas e muralhas resistentes, introduzindo uma arquitetura rude e pesada, que apenas pouco a pouco se adaptaria às condições tropicais.

Mas, às diferenças de territorialidades, concepções espaciais e arquitetura que marcam as culturas nômades e as sedentárias opõem-se, também, distintas concepções de natureza e de como se relacionar com ela. Ao longo da história, os registros de desastres ambientais antrópicos encontram-se sempre associados a sociedades urbanas, em especial aquelas que instauram um poder estatal, centralizado e calcado no controle dos recursos hídricos, e que implantam monoculturas em larga escala. Às grandes obras de engenharia hidráulica realizadas na antiguidade oriental correspondem, também, os primeiros processos de desertificação provocados pelo homem.

As considerações dadas buscam apenas suscitar questões, de natureza antropológica e filosófica, mas também histórica, sobre as quais o estudante e o profissional de engenharia ambiental devem refletir, levando em conta não apenas as implicações epistemológicas dos conceitos que utiliza, mas também os compromissos éticos e políticos de suas práticas, portanto, de seus projetos.

1.4 A engenharia e o ambiente

De acordo com Levenspiel (2002), a primeira frase do estatuto do *Institute of Civil Engineers* (ICE), estabelecido na Inglaterra em 1811, define o objetivo do profissional de engenharia preconizado por aquela instituição: "(...) *dominar o poder e as forças da natureza em benefício da humanidade* (...)". Nesse mesmo sentido, o Professor Theodoreto de Arruda Souto, primeiro diretor da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP), adotou, em 1952, o seguinte lema para a instituição de ensino de engenharia: "*Nesta casa se procura a verdade científica e a técnica de adaptação das energias da natureza a serviço da humanidade*". Ainda que o termo "adaptar" amenize o "dominar" e que tenha se usado o termo "energia" (somente estabelecido em 1805) em lugar de "poder e força", os dois conceitos indicam que a função do profissional de engenharia é a manipulação da matéria e da energia de forma a transformá-las em algo útil para a humanidade.

O notável desenvolvimento tecnológico que o mundo experimentou desde a Revolução Industrial demonstra que a humanidade tem conseguido, de forma muito eficiente, "*dominar o poder e as forças da natureza.*" No entanto, o que se entende por "*benefício da humanidade*" vem sofrendo complexas e amplas modificações desde que o ICE estabeleceu o principal objetivo desse instituto. Tais modificações estão, além de relacionadas com avanços no uso de materiais e energia, intimamente atreladas aos avanços do conhecimento científico sobre o ambiente e os recursos naturais. Assim, essa relação ser humano/ambiente tem dado novos contornos ao objetivo estabelecido pelo ICE em 1811 e pelo lema adotado pelo Professor Theodoreto de Arruda Souto, em 1952, para uma instituição de ensino de engenharia.

Dessa forma, todo profissional de engenharia, de qualquer habilitação, deverá

ter claros e bem definidos os conceitos de matéria e energia e das leis físicas que regem suas transformações, pois é assim que a engenharia tem se desenvolvido mesmo antes do objetivo maior ter sido explicitado no estatuto do ICE, sempre com base em transformações energéticas e materiais.

Matéria é tudo aquilo que ocupa lugar no espaço e tem massa. A matéria pode ser líquida, sólida ou gasosa e se conserva na natureza, não sendo criada ou destruída em qualquer sistema físico ou químico. Há apenas a transformação de uma forma em outra. Essa é a **lei da conservação das massas**, enunciada inicialmente em 1760, pelo cientista russo Mikhail Vasilyevich Lomonossov e comprovada experimentalmente e popularizada, anos mais tarde, em 1774, pelo químico Francês Antoine Laurent de Lavoisier como "Na *natureza, nada se perde, nada se cria, tudo se transforma"*. Assim, em um sistema reacional fechado, a massa permanece constante, ainda que tenha havido transformações.

A energia é definida, de forma geral, como a capacidade para realizar trabalho e pode ser de vários tipos, como cinética, potencial, química, térmica, magnética, entre outras. As formas de energia podem ser transformadas umas nas outras, mas nunca energia poderá ser criada ou destruída. Esse é o enunciado da **primeira lei da termodinâmica** ou lei da conservação da energia. De acordo com Castellan (1986), a primeira lei da termodinâmica é a expressão mais geral do princípio da conservação da energia, não sendo conhecida nenhuma exceção a essa lei.

Embora a primeira lei da termodinâmica estabeleça a conservação da energia, cabe à segunda lei estabelecer a direção natural da transformação de uma forma de energia em outra ou outras. Enquanto a primeira lei informa sobre a transformação de uma forma em outra, a segunda lei informa se essa transformação é possível na prática. O físico Marcelo Gleiser considera a **segunda lei da termodinâmica** como, talvez, a mais fascinante lei natural em seu artigo "Tempo, vida e entropia" (*A Folha de São Paulo*, 2002). Nesse texto, o físico brasileiro discute a influência da segunda lei em nosso dia a dia, principalmente porque ela mostra a direção do tempo, pois o sentido dos processos naturais vai de um estado organizado e termina em um estado menos organizado (aumento da entropia). Ou seja, em sistemas isolados, a desordem sempre aumenta, como no caso de um ovo que é quebrado para fazer uma omelete, a qual jamais será transformada novamente em um ovo. As leis da termodinâmica serão exploradas também no Capítulo 7.

Em resumo, de acordo com primeira lei da termodinâmica, a energia se conserva nos processos de transformação e, de acordo com a segunda lei, tais processos possuem uma direção natural. A combinação das duas leis, dessa forma, permite prever a situação de equilíbrio e qual fração da energia total do sistema pode ser extraída como trabalho útil, levando ao conceito de exergia (Levenspiel, 2002). Tal conceito se refere ao máximo de trabalho que se pode extrair, ou o menor dispêndio necessário para uma dada transformação.

Um exemplo bastante interessante para o entendimento prático das duas leis da termodinâmica é apresentado por Castellan (1986) e será aqui adaptado. Considerando um sistema composto de uma bola acima de um copo com água, energia potencial será convertida em energia cinética se a bola for solta. No processo final, a bola repousará no fundo do copo. Durante a queda, a bola ganha energia cinética enquanto perde energia potencial. E, ao final do processo, a bola em repouso no fundo do copo indica a posição de equilíbrio, o que pode levantar o questionamento sobre o "desaparecimento" da energia, contrariando a primeira lei da termodinâmica. Na verdade, se a temperatura da água for medida antes e depois de se soltar a bola, ficará evidente que a temperatura será superior depois que a bola atingir o fundo do copo, indicando a transformação de energia

potencial em energia térmica. Assim, de acordo com a primeira lei da termodinâmica, a energia do sistema (bola + copo com água) será a mesma na situação um (bola acima do copo) e na situação dois (bola em repouso no fundo do copo). Já a segunda lei estabelece que há um sentido natural nesse processo (queda da bola e repouso no fundo do copo). Não seria natural que a bola emergisse do copo, voltando à posição acima dele.

Finalmente, entendendo de forma geral e combinando a lei de conservação das massas com as duas leis da termodinâmica, fica claro que todo processo ocorre com **conservação da massa e da energia** e que há um **sentido natural** para tal transformação, sendo que a energia é sempre transformada de uma forma mais útil para uma menos útil. Assim, se forem analisados os processos de transformação, haverá sempre a obtenção do produto ou dos produtos desejados ou de um tipo de energia desejada conjugada com a obtenção de vários produtos não desejados ou de baixo valor (subprodutos) e de formas de energia não úteis. Tais matérias e energias não aproveitadas em um processo de transformação podem ser despejadas no ambiente. Esse lançamento pode resultar em alterações deletérias, configurando a poluição do meio. Assim, dessa análise simplista de fenômenos complexos, mas conclusiva, fica claro e estabelecido o conceito de poluição ambiental.

O conceito de poluição da água, do ar e do solo, que permeará diversos capítulos deste livro, não é simples e está associado a vários fatores, como desbalanceamento dos ciclos biogeoquímicos (Capítulo 7), alterações no meio que levam a danos à saúde dos seres humanos (Capítulo 5), alterações no meio que impedem ou restringem seu uso, e mesmo alterações na paisagem. No entanto, o entendimento das relações de causa e efeito passa, obrigatoriamente, pela compreensão dos fundamentos, iniciando pelas leis de conservação de massa e energia e pela segunda lei da termodinâmica, *"provavelmente a mais fascinante em toda a ciência"*, conforme declarado por Levenspiel (2002).

Nesse ponto é que se torna importante uma discussão acerca da relação entre engenharia e ambiente, principalmente por serem os profissionais de engenharia os maiores responsáveis pelos processos de transformação e pelo projeto e pela operação de aparatos tecnológicos que, desde a Revolução Industrial, vêm transformando a vida da humanidade no planeta. Desde a criação da máquina a vapor, engenheiros vêm aplicando os fundamentos das ciências básicas e os transformando em tecnologias que geralmente visam ao benefício da humanidade. Diversos processos industriais foram concebidos e máquinas e equipamentos foram criados, sempre com base nos princípios científicos e nas leis básicas de funcionamento de nosso universo e tendo, como ponto comum, o uso dos recursos naturais e os processos de transformação da matéria e de conversão de energia.

No entanto, ainda que a base de toda a engenharia seja a mesma em qualquer das habilitações, e que os princípios básicos utilizados para desenvolvimento de aparatos tecnológicos sejam os mesmos que regem a relação entre engenharia e ambiente, a atenção sempre esteve mais voltada a satisfazer as necessidades mais prementes dos seres humanos. Assim, o *"benefício da humanidade"* estaria relacionado à satisfação das necessidades mais imediatas e, em uma sociedade capitalista, aos interesses do mercado. Recentemente, no entanto, dentro do contexto histórico apresentado neste capítulo, com a tomada de consciência global acerca das relações de causa e efeito no que concerne ao ambiente, a engenharia vem se modificando dia a dia a partir do entendimento que os conceitos básicos que regem o funcionamento das máquinas e dos processos de transformação são os mesmos que definem os impactos ambientais decorrentes do desenvolvimento

desses aparatos ou da aplicação dos processos transformadores.

Nesse sentido, a busca por processos e máquinas mais eficientes, com menores perdas energéticas e com menores desperdícios materiais, tem sido constante e já é realidade na engenharia mundial. As buscas por substituição dos recursos naturais não renováveis pelos renováveis, por recuperação e valorização de subprodutos de processos de transformação, por práticas de aproveitamento energético com maximização do trabalho obtido são realidade na engenharia e vão em direção à adequação ambiental dos processos, ainda que a motivação seja, principalmente, econômica.

É certo que, com toda a tecnologia empregada, as leis da conservação, e principalmente a segunda lei da termodinâmica, são "implacáveis", e a geração de resíduos será inevitável, ainda que mínima. No entanto, os princípios científicos utilizados para o desenvolvimento tecnológico em geral são os mesmos que serão empregados para o desenvolvimento de tecnologias para o controle da poluição, ou seja, para converter materiais e energia que serão lançados no ambiente, minimizando os impactos desses lançamentos.

Portanto, chega-se aqui a uma clara relação entre engenharia e ambiente, a qual tem um pouco de relação de "amor e ódio", mas que parece caminhar para um bom termo e para o que se chama de sustentabilidade, termo complexo e amplo que será objeto específico do Capítulo 6. Assim, o papel da engenharia vem se modificando e se ampliando dentro do mesmo objetivo traçado pelo ICE e do lema estabelecido pelo Professor Theodoreto Souto, principalmente pelo fato de o entendimento sobre o *"benefício da humanidade"* estar em constante evolução e, também, pelo fato de o avanço do conhecimento científico jogar luzes em pontos que ainda estavam obscuros, tanto nas ciências básicas quanto nas aplicadas.

Assim, todo engenheiro, de qualquer habilitação, com conceitos básicos sólidos em ciências básicas e com conhecimentos, ainda que básicos, das leis da conservação e da segunda lei da termodinâmica, está municiado com valiosas ferramentas para cumprir o objetivo de manipular matéria e energia realmente em benefício da humanidade, com respeito ao ambiente que nos acolhe.

Bem, se é verdade que todo engenheiro deve ter conhecimentos básicos e atuar com responsabilidade em relação ao ambiente, há a necessidade de uma engenharia com habilitação na área ambiental, ou seja, é necessário formar Engenheiros Ambientais? Não bastaria que todos os engenheiros tivessem as bases fundamentais que permitissem uma atuação mais responsável em relação ao meio ambiente? Qual o sentido de formar um profissional especificamente para a área ambiental? Não é contraditório que a profissão que mais causa impacto no meio tenha uma habilitação na área ambiental?

Todas essas perguntas têm sido feitas não só por estudantes, mas por universidades e associações de classe. Antes, porém, de entrar no próximo item, no qual esses questionamentos serão respondidos de forma ampla, uma resposta simples pode ser dada, a qual sumariza tudo que será apresentado a seguir: Sim, a Engenharia Ambiental é necessária e, mais que isso, tende a se consolidar como uma grande área da engenharia.

1.5 Uma engenharia chamada ambiental

Antes de qualquer coisa, é importante salientar que a Engenharia Ambiental é um curso de Engenharia, ou seja, uma Engenharia com habilitação Ambiental. Embora óbvia, essa explicação deve ser dada, pois muita confusão tem sido feita

com essa nova carreira, desde a escolha errada por alunos do Ensino Médio, que ingressam no curso atraídos pela "questão ambiental", até a elaboração de grades curriculares e projetos pedagógicos equivocados.

No caso da escolha dos alunos, o maior problema está no fato de muitos buscarem uma carreira que trate de questões ambientais. Nessa busca, muitos "caem" na Engenharia Ambiental sem se dar conta de que escolheram um curso de Engenharia. A base de todas as engenharias é a mesma: forte fundamentação nas ciências básicas e aplicação dos conceitos fundamentais para a geração, o aprimoramento, a análise, a simulação e a aplicação de tecnologias. Em suma, o engenheiro, por meio de linguagem matemática, usa os conceitos científicos, consolidando-os em equipamentos, processos e produtos. Cada modalidade da engenharia usa esses conceitos para aplicações específicas e é natural que algumas das modalidades usem mais uma ciência básica que outra.

Como primeiro exercício, avalie um motor a combustão e seu princípio de funcionamento e tente associar, a esse equipamento, todos os conceitos que foram necessários para produzi-lo e para o seu funcionamento. Outro exercício é avaliar um processo de produção de cerveja, com todos os equipamentos necessários para, de forma sequenciada, partir de matérias-primas até se chegar ao produto final. A análise da construção de uma ponte pode ser outro exercício interessante. Quais conceitos das ciências básicas foram envolvidos? Essa consolidação dos conceitos básicos de física, química e biologia por meio da linguagem matemática em aparatos tecnológicos como o motor a combustão, uma ponte ou o processo de produção da cerveja são os objetos da engenharia e são alguns exemplos de "obras da engenharia".

O Engenheiro Ambiental, da mesma forma que as outras habilitações da engenharia, como, por exemplo, Mecânica, Química e Civil, representadas nos exemplos anteriores, usa conceitos básicos de química, física e biologia, por meio de linguagem matemática, para a avaliação, a prevenção, a mitigação e, muitas vezes, a remediação de impactos ambientais.

É possível trabalhar com a questão ambiental em qualquer carreira, de Ciências Sociais a Geologia, de Direito a Astronomia, de Pedagogia a Engenharia Elétrica, incluindo todos os cursos de ciências básicas (química, física, biologia e matemática). A Engenharia Ambiental é uma dessas carreiras, obviamente com temática mais direcionada para a área. No entanto, o "tema ambiental" não deve ser o único fator decisivo para a escolha dessa carreira.

No caso de grades curriculares e projetos pedagógicos equivocados, naturais até certo ponto para novas carreiras, o maior problema está no entendimento geral sobre as bases de sustentação do curso. Para ser mais claro, ainda que repetitivo, as bases de sustentação devem estar nas ciências básicas, pilares de qualquer curso de engenharia. Disciplinas de formação básica específica devem fazer a ponte entre os conceitos fundamentais e a aplicação tecnológica, sempre por meio de linguagem matemática. No final, devem estar as disciplinas mais tecnológicas, com aplicação mais direta dos conceitos já consolidados. O curso deve ser equilibrado nesses três grupos (conceitos fundamentais, formação básica específica e aplicação tecnológica), sendo os dois primeiros os mais importantes e que fornecem uma formação mais sólida. As falhas aparecem principalmente quando se negligencia a formação básica ou quando importância não é dada à ponte que liga as ciências básicas ao desenvolvimento tecnológico. Nesse caso, os cursos ficam desbalanceados e podem levar a problemas graves de formação dos profissionais.

Problemas mais graves ainda podem ser detectados quando os cursos de

Engenharia Ambiental são "confundidos" com outras habilitações da engenharia, como a de Produção. Seria interessante um curso de Engenharia de Produção Ambiental como há os de Produção Mecânica ou Química, por exemplo? Essa questão não será discutida e a resposta não será dada aqui por não ser esse o objeto deste livro, mas certamente muitos cursos estão conformados mais como uma modalidade da Engenharia de Produção, e não como Engenharia Ambiental. Em outros casos mais graves, os cursos de Engenharia Ambiental são formatados como cursos de Gestão Ambiental, uma carreira da área das Ciências Humanas.

A Engenharia Ambiental é única. Essa afirmação tem muitas consequências, desde a concepção de grades curriculares que não devem atrelar essa habilitação a nenhuma outra, até a questão das atribuições profissionais (apresentadas no Capítulo 6). O fato de todas as habilitações da Engenharia terem conteúdos na área ambiental e de todos os engenheiros terem conhecimento de questões ambientais, principalmente as de causa e efeito, não transforma todos os engenheiros, de qualquer modalidade, em Engenheiros Ambientais. Do mesmo modo, engenheiros de qualquer modalidade com alguma especialização na área ambiental não se convertem em Engenheiros Ambientais. Essa discussão não está baseada em nenhuma regulamentação profissional de qualquer Conselho, mas na questão didático-pedagógica e na filosofia educacional do curso.

A Engenharia Ambiental é única porque leva a uma formação básica com conceituação, além da física e de matemática comuns a todas as engenharias, em química de forma mais aprofundada e de certa forma diferenciada das habilitações Química, Metalúrgica, Alimentos e Materiais, que também possuem forte fundamentação química. Além disso, é a única das engenharias com maior fundamentação em biologia, ecologia e ecossistemas, de forma a levar o Engenheiro Ambiental a uma visão mais ampla do ambiente e dos processos naturais. Todas essas ferramentas conceituais adquiridas dão ao Engenheiro Ambiental uma visão privilegiada acerca dos fenômenos físicos, químicos e biológicos. Essa formação leva a uma aplicação também diferenciada das disciplinas que fazem a ponte das ciências básicas com a aplicação tecnológica, o que certamente resulta em visão própria e particular na caracterização ambiental, na avaliação de impactos ambientais e na aplicação de tecnologias, seja para a prevenção ou o controle da poluição ambiental.

Essa formação da Engenharia Ambiental, com conceitos próprios e visão particular, certamente a levará a se consolidar como uma grande área da Engenharia, como é o caso das Engenharias Civil, Química, Elétrica e Mecânica. Ainda que isso não ocorra nas esferas burocráticas, essa consolidação se dará certamente na atuação profissional e no reconhecimento do Engenheiro Ambiental como aquele com visão própria e única aplicada à transformação dos recursos naturais, ponto de partida de todo processo de engenharia.

Para exemplificar quais os campos de atuação do profissional formado em Engenharia Ambiental, é apresentada a Tabela 1.1, que constava da versão final do projeto de resolução que dispõe sobre as atividades, a atribuição de títulos e as competências nos campos profissionais abrangidos pelas diferentes modalidades das categorias profissionais de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Agronomia e demais profissões inseridas no Sistema do Conselho Federal de Engenharia e Arquitetura e Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura (Confea/Crea), o qual foi apreciado em sessão plenária do Confea no ano de 2004. Esse projeto de resolução propunha considerar os campos profissionais interdisciplinares (Produção, Ambiental, Automação e Controle, Têxtil, Alimentos, e Materiais) como modalidades individualizadas.

Tabela 1.1

Proposta de atribuições para Engenharia Ambiental apresentada na versão final do projeto de resolução que dispõe sobre as atividades, atribuição de títulos e competências nos campos profissionais abrangidos pelas diferentes modalidades das categorias profissionais de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Agronomia e demais profissões inseridas no Sistema Confea/Crea

SETORES	SUBSETORES
Tecnologia Ambiental	Ações Mitigadoras de Impactos Ambientais. Controle da Poluição das Águas. Tratamento de Águas Residuárias Industriais. Tratamento de Esgoto Doméstico. Tratamento de Águas de Abastecimento Público e Industrial. Técnicas de Reúso de Agua. Controle da Poluição do Ar. Controle da Poluição do Solo. Coleta e Destino de Resíduos Sólidos. Reaproveitamento e Reciclagem de Resíduos Sólidos. Remediação e Biorremediação de Solos e Águas Contaminadas. Projeto, Construção e Operação de Equipamentos para Controle Ambiental (Água, Ar e Solo)
Gestão Ambiental	Avaliação de Impactos Ambientais. Monitoramento Ambiental. Adequação Ambiental de Empresas. Planejamento Ambiental em Áreas Urbanas e Rurais. Licenciamento Ambiental
Geotecnia Ambiental	Recuperação de Áreas Degradadas. Remediação de Solos Degradados. Prevenção e Recuperação de Processos Erosivos. Aplicação de Tecnologias de Investigação Geoambiental. Avaliação de Impactos Geoambientais. Prevenção de Desastres Geoambientais. Aquisição, Pré-processamento, Gerenciamento e Análise de Dados obtidos por SIG e Sensoriamento Remoto
Recursos Energéticos Renováveis	Conservação de Energia. Fontes Alternativas e Renováveis de Energia. Adequação Energética de Empresas
Hidrologia e Recursos Hídricos	Aproveitamento de Recursos Hídricos. Captação de Mananciais Superficiais e Subterrâneos e Abastecimento de Água. Controle de Enchentes. Análise Estatística de Eventos Hidrológicos. Regularização de Vazão. Aproveitamentos Hidrelétricos. Sistemas de Irrigação
Engenharia Legal	Avaliações, Perícias e Arbitragens no âmbito da Modalidade

Essa proposta foi baseada em sugestão oficial enviada pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP ao Confea em 19 de agosto de 2004. Na

ALGUMAS PÁGINAS FORAM OMITIDAS

CAPÍTULO 2

Geologia e solos

Osni José Pejon, Lázaro Valentin Zuquette and Oswaldo Augusto Filho

Neste capítulo, são abordados conceitos fundamentais para qualquer profissional que pretenda trabalhar com meio ambiente, uma vez que a Geologia é, por excelência, a ciência que se ocupa do estudo da Terra. Dessa forma, são tratadas, neste capítulo, a origem do planeta Terra e sua evolução ao longo do tempo geológico, além da formação dos minerais e das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas que constituem a crosta terrestre (que é, em síntese, a superfície sobre a qual se desenvolvem praticamente todas as atividades humanas). A estrutura interna da Terra e os diversos campos de força que promovem a constante modificação de sua superfície são analisados. Apresenta-se, também, a teoria da Tectônica de Placas, que permite entender boa parte da dinâmica do planeta e sua influência no relevo e nas estruturas terrestres. A formação dos solos e o desenvolvimento dos perfis de alteração e sua relação com os processos superficiais de intemperismo e erosão também são abordados. Apresentam-se, ainda, os principais componentes dos solos e as classificações mais usuais.

2.1 Introdução

O **sistema Terra** pode ser considerado um sistema praticamente fechado, pois se assume que o ganho ou a perda de matéria sejam insignificantes. No entanto, não é um sistema isolado, pois recebe radiações e energia, provenientes principalmente do Sol, que interagem com o sistema terrestre. Essa energia é absorvida ou refletida, sendo responsável pela manutenção de condições que permitem a vida como a conhecemos sobre a Terra.

Meio ambiente pode ser conceituado e entendido sob diferentes enfoques. Nos

estudos ambientais desenvolvidos em nosso território, adotam-se, como referência geral, as definições propostas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1989) e pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama nº 01 de 1986. Em ambas as definições, é destacada a interação dos componentes bióticos (fauna e flora), abióticos (água, rocha e ar) e biótico-abiótico (solo). A Resolução do Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura (Crea) nº 447 de 2000, que será explorada em detalhes no Capítulo 6, define a formação e as atribuições do Engenheiro Ambiental e especifica que, além das matérias básicas de engenharia, este profissional deverá ter conhecimento das áreas de geologia e pedologia (estudo dos solos).

A **Geologia** é a ciência que se ocupa do estudo e do entendimento dos componentes e processos da Terra, tais como a formação dos minerais e rochas e os processos endógenos e exógenos envolvidos na formação e modificação da crosta terrestre. Com a amplitude de fatores envolvidos nesses processos, é evidente o entrelaçamento da Geologia com várias outras ciências naturais, como a Física, a Química e a Biologia.

O entendimento dos processos de formação das rochas e de sua modificação é fundamental para a Engenharia Ambiental. A formação dos solos a partir do intemperismo das rochas é reconhecidamente essencial para o estabelecimento e a manutenção da vida na Terra. Os depósitos de águas subterrâneas, que constituem os aquíferos (objeto de estudo específico nos Capítulos 8 e 12), são unidades geológicas com propriedades ditadas por sua composição e estruturas geológicas.

As rochas e os solos supriram o homem com materiais essenciais desde a sua mais tenra existência e, ainda hoje, os bens minerais são fonte de grande parte dos produtos consumidos pela humanidade, seja na forma de minerais metálicos ou não metálicos, como diversos tipos de materiais de construção.

A Terra é dinâmica e está em constante transformação, resultante da interação entre os processos internos e externos (endógenos e exógenos). A maioria desses processos é direta ou indiretamente sensível à ação do homem e pode ser intensificada em frequência/magnitude, com possibilidade de ocorrência de acidentes ambientais que afetam a sociedade de diferentes formas.

Dentro deste contexto, o campo de estudo da Geologia tem se expandido, partindo de uma base científica até atingir áreas mais aplicadas, como a Geologia de Engenharia, a Geologia Ambiental, entre outras, como mostrado na Figura 2.1.

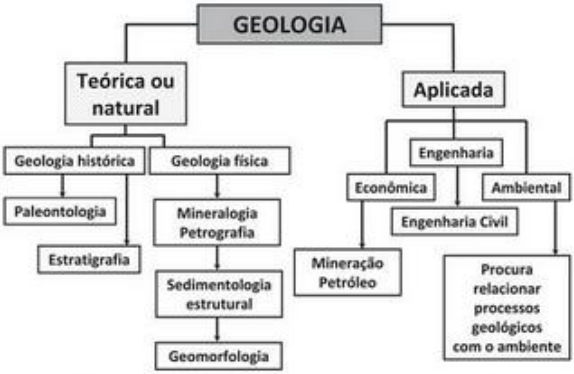

FIGURA 2.1 Áreas de atuação da Geologia. Fonte: modificado de Chiossi (1979).

Para fazer uso adequado dos conhecimentos geológicos, é importante que o Engenheiro Ambiental conheça os tipos principais de minerais e rochas, sua forma de origem e os processos envolvidos (principalmente os processos de formação de solos), além dos condicionantes, dos mecanismos e da dinâmica dos diferentes processos geológicos.

2.2 Origem da terra

A **origem da Terra** está ligada à de outros planetas do sistema solar, à de outros sistemas planetários e à do próprio universo. A teoria *Big-Bang* ainda é a mais aceita para a formação do universo. Muito resumidamente, essa teoria propõe que o universo se formou a partir de uma explosão de toda a energia/matéria disponível em um espaço muito pequeno e em uma condição de temperatura infinita. A posterior expansão e o consequente resfriamento permitiram, inicialmente, a formação das partículas subatômicas, os prótons, os nêutrons, os elétrons e os átomos mais simples (H, He), seguindo-se os mais complexos (com maior número atômico).

Passados alguns bilhões de anos, na expansão do universo, as nuvens de matéria formaram aglomerados que, por atração gravitacional, começaram a sofrer colapso, na forma de redemoinhos. O colapso dessas nuvens de matéria provocou o choque de átomos e reações de fissão e de fusão nuclear (fenômeno de acreção), com liberação de calor e formação das estrelas e dos planetas, dependendo do volume inicial de matéria dos aglomerados.

Na nuvem de matéria que deu origem ao sistema solar, o planeta Terra começou a se consolidar como um corpo planetário individual, inicialmente formado por

rocha fundida (magma) em temperaturas muito altas e bombardeado por meteoritos (não metálicos e metálicos, Figura 2.2), que acabaram agregando novos elementos químicos à sua composição. Acredita-se que, nesse período, a Lua tenha sido formada a partir de uma quantidade de massa arrancada dessa massa fluida da Terra pelo choque de um meteorito de grande porte.

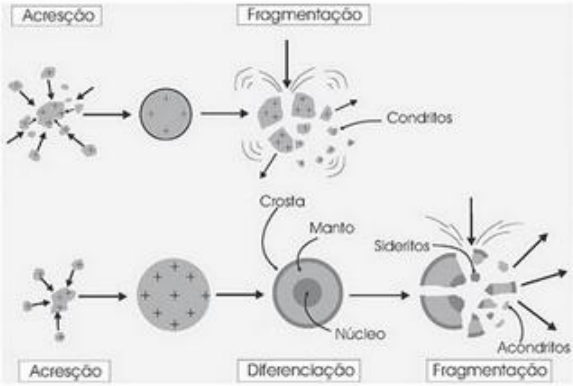

FIGURA 2.2 Origem dos tipos de meteoritos que contribuíram para a composição da Terra. Fonte: Teixeira et al. (2000).

Na continuidade desse processo, iniciou-se o resfriamento da Terra da superfície para o seu interior. Estabeleceram-se as correntes de convecção devido à diferença de temperatura entre a parte interna (mais quente) e a externa (mais fria) e a segregação dos elementos químicos pesados, que migraram para o centro do planeta. A Terra se estruturou, então, em camadas concêntricas com diferentes composições e comportamentos mecânicos. A liberação de gases devido ao resfriamento do planeta formou uma atmosfera inicial, também muito quente e com composição distinta da atual. Após redução da temperatura, precipitações sobre o planeta durante milhares de anos geraram a hidrosfera. Com a hidrosfera, foram estabelecidas as condições para o desenvolvimento da vida no planeta.

2.3 Tempo geológico

Estima-se a idade do universo em cerca de 15 bilhões de anos (tempo decorrido do *Big-Bang* até hoje). As teorias atuais da Geologia histórica estabelecem a idade da Terra em 4,5 bilhões de anos. O tempo geológico ou tempo profundo constitui

uma das maiores dificuldades para o entendimento de alguns processos e fenômenos geológicos, pois foge totalmente da escala de tempo humano. Uma forma de tentar compreender o significado temporal da idade da Terra em relação à vida humana é fazendo uma analogia com distâncias. Suponha que 100 anos equivalham à distância de um milímetro. Nessa condição, a idade da Terra equivaleria a 45 quilômetros de distância.

O estabelecimento da idade da Terra, com as diferentes **eras e períodos geológicos**, foi possível graças ao desenvolvimento da Geologia como ciência a partir dos séculos XVII e XVIII e à utilização de três métodos de datação combinados (relativa, com fósseis e absoluta). As grandes divisões da história da Terra são baseadas na sucessão biótica e em grandes eventos geológicos ocorridos ao longo da evolução do planeta (Cenozoica: vida recente; Paleozoica: vida antiga, Tabela 2.1).

Tabela 2.1

Escala de tempo geológico simplificada

ERA	Cenozoica		Mesozoica			Paleozoica						Proterozoica	Arqueana
PERÍODO	Quaternário	Terciário	Cretáceo	Jurássico	Triássico	Permiano	Carbonífero	Devoniano	Siluriano	Ordoviciano	Cambriano		
IDADE (10^6 anos)	1,8	60	248			545						2500	4500

Fonte: Press et al. (2006)

A **datação relativa** foi o primeiro método a ser estabelecido. Baseado na interpretação de uma sequência de eventos geológicos, resultou em uma escala de tempo do antes e do depois. Este método utiliza alguns princípios básicos da Geologia propostos nos séculos XVII e XVIII, com destaque para o da superposição de camadas e o dos contatos entrecortantes. O princípio da superposição das camadas propõe que, em uma área não modificada por deformações geológicas significativas, as camadas geológicas horizontais superiores tendem a ser mais recentes que as inferiores (mais profundas). O princípio dos contatos entrecortantes afirma que qualquer feição geológica (tipo de rocha, estrutura, fóssil) cortada ou afetada por outra é mais antiga do que a feição que a corta (afeta).

A **datação por fósseis** também tem suas origens no século XVIII e se baseia nas mudanças do conteúdo fossilífero e na sucessão biótica ao longo da história da Terra, permitindo uma correlação temporal entre as camadas geológicas.

A **datação absoluta** já é um método bem mais recente (século XX) e se baseia no decaimento de elementos radioativos presentes nos minerais. A partir do conhecimento do tempo de meia-vida de alguns isótopos radioativos foi possível

ALGUMAS PÁGINAS FORAM OMITIDAS

pelos terremotos, pelos fenômenos vulcânicos e pelas grandes deformações da superfície terrestre, gerando as grandes cadeias montanhosas, como Himalaia e Andes.

A descontinuidade de Mohorovicic marca a fronteira entre a base das crostas oceânica e continental e o topo do manto superior, sendo caracterizada pelo aumento brusco da velocidade de propagação das ondas sísmicas (maior densidade das rochas do manto). A descontinuidade de Gutenberg marca a fronteira entre o manto inferior e o núcleo externo e é caracterizada pela queda brusca da velocidade de propagação das ondas sísmicas e pela não propagação das ondas S (cisalhantes).

Ambos os núcleos são compostos de material metálico (ferro e níquel) com elevada densidade (em torno de 10 g/cm^3), resultado da segregação dos elementos químicos pesados durante o processo de consolidação do planeta e oriundo dos meteoritos metálicos que colidiram com a Terra (Item 2.2). Porém, o núcleo externo encontra-se em um estado parecido ao de um líquido, o que explica a queda da velocidade das ondas sísmicas e a não propagação das ondas S (Figura 2.3).

2.5 Fontes de energia e campos de força terrestres

As transformações e os fluxos de matéria que ocorrem entre as geosferas são movidos e controlados pelas fontes de energia (radiação solar e calor interno) e campos de força (gravidade, magnetismo) do planeta Terra.

A energia solar é uma das principais fontes de energia que desenvolve o trabalho mecânico na superfície da Terra (modelagem do relevo). A água armazenada na hidrosfera converte a energia solar em mecânica, resultando em diferentes tipos de processos erosivos.

A atmosfera absorve a energia solar e a transforma em energia térmica. Um dos principais fatores que condiciona essa transformação em calor é o ângulo de incidência dos raios solares sobre a superfície da Terra, que depende da latitude (máxima próximo ao equador e mínima nos polos), além dos movimentos de rotação diurna e anual em relação ao sol. O deslocamento de ar na superfície da Terra (ventos) se explica principalmente devido a essas diferenças de aquecimento e consequentes pressões atmosféricas (deslocamento das áreas de alta pressão, mais frias, para as de baixa pressão, mais quentes). Dessa forma, a precipitação, o próprio clima e os processos geológicos exógenos (erosão, deslizamentos, alteração das rochas, pedogênese) estão associados, direta e indiretamente, a esta fonte de energia.

O calor interno é uma fonte de energia diretamente associada às origens da Terra (Item 2.2). A poucos metros de profundidade, os efeitos da radiação solar passam a ser pouco significativos e a atuação do fluxo de calor interno da Terra, ou fluxo geotérmico, passa a preponderar. Define-se gradiente ou grau geotérmico como o número de metros necessários, em profundidade, para a temperatura aumentar um grau Celsius. O gradiente geotérmico médio da Terra é de 30 metros. Nas regiões vulcânicas, ele pode ser inferior a 11 metros.

O fluxo geotérmico está associado à estrutura interna da Terra e à estrutura tectônica de placas. As áreas de maior fluxo termal são coincidentes com as áreas de terremotos e vulcanismo, que por sua vez estão associadas aos limites das

placas tectônicas e das células das correntes de convecção formadas pela diferença de temperatura entre a superfície e o interior do planeta (Figura 2.4). Estima-se a temperatura no núcleo da Terra como sendo da ordem de 6.000 °C, semelhante à da superfície do Sol. A energia geotermal é uma das formas de energia mais limpas e é utilizada por vários países para geração de energia elétrica. As áreas com anomalias geotermais têm importância econômica (energia, turismo, mineração) e ambiental.

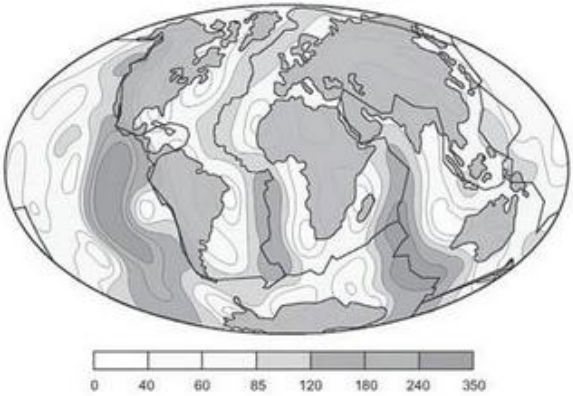

FIGURA 2.4 Fluxo geotermal (mW/m^2) no planeta Terra. Fonte: Teixeira et al. (2000).

O campo gravitacional da Terra também é responsável por uma série de processos geológicos e tem papel fundamental na dinâmica ambiental do planeta. É comum o uso de termos como força de atração gravitacional, gravidade, força da gravidade e aceleração gravitacional de forma indistinta. Deve-se tomar cuidado, pois, apesar de serem grandezas físicas relacionadas, são diferentes. Força de atração gravitacional refere-se à lei da Gravitação Universal proposta por Newton, que diz que dois corpos são atraídos por uma força diretamente proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Força da gravidade terrestre é a resultante entre a força de atração gravitacional exercida pela massa da Terra em outras massas e a força centrípeta, devido à rotação do planeta Terra (Figura 2.5). Aceleração da gravidade é o módulo do vetor força da gravidade. Qualquer corpo fica submetido à aceleração da gravidade quando entra no campo de gravidade da Terra (região do espaço onde atua a força da gravidade terrestre).

Material com direitos autorais

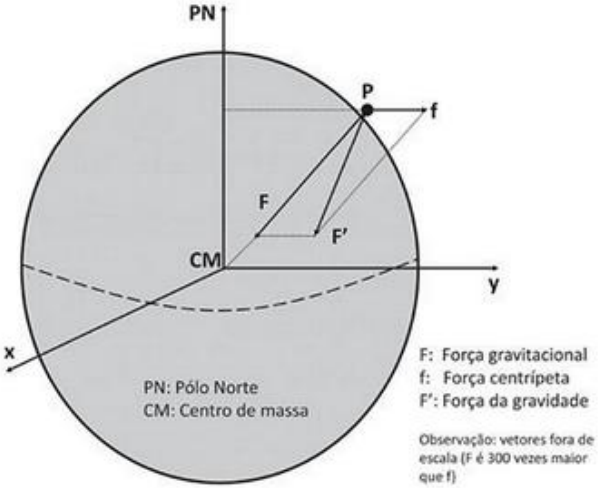

FIGURA 2.5 Relação entre as forças gravitacional, centrípeta e da gravidade na Terra. Fonte: Ribeiro & Molina (2011).

A força e a aceleração da gravidade não são constantes em toda a superfície da Terra. Essa variação está associada à forma do planeta (levemente achatada nos polos), à ocorrência de elevações e depressões e às rochas com diferentes densidades. A unidade de medida da aceleração da gravidade é o Gal (1 gal = 1 cm/s^2). Existem aparelhos para medir a aceleração da gravidade (gravímetros). Estas medidas, após correções relativas à altitude e à massa topográfica, permitem identificar anomalias no campo associadas à presença de materiais com densidades diferenciadas em relação à média do terreno investigado. Uma aplicação para estudos ambientais é a identificação de depósitos clandestinos de metais pesados que possuem alta toxicidade.

O campo magnético da Terra é equivalente ao campo de um dipolo (imã), cujo eixo faz um ângulo de 11,5° com o seu eixo de rotação. Portanto, os polos magnéticos não coincidem com os geográficos. Essa diferença é denominada declinação. O campo magnético também tem um componente vertical denominado inclinação magnética.

Além disso, a posição dos polos magnéticos varia ao longo do tempo, com mudanças diárias, anuais e até mesmo de milhares de anos. Essas mudanças de longo prazo incluem a inversão de polaridade. A teoria atual com relação à origem do campo magnético da Terra é que ele seja gerado pelo movimento do núcleo

ALGUMAS PÁGINAS FORAM OMITIDAS

FIGURA 2.11 Modificações nas rochas preexistentes que conduzem à formação das rochas metamórficas.

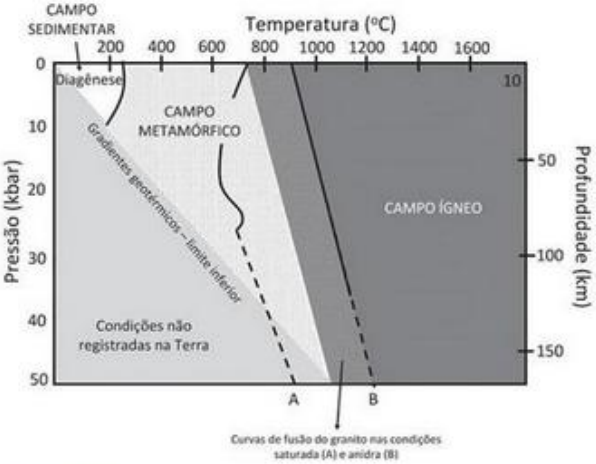

FIGURA 2.12 Campos de pressão e temperatura das rochas ígneas, sedimentares e metafórmicas. Fonte: Teixeira et al. (2000).

O intervalo de pressões envolvido nos processos de metamorfismo varia de 2 a 40 kbar (2.000 a 40.000 tf/cm^2). Esses níveis de pressão são resultantes da pressão litostática (peso das rochas e profundidade) e das pressões dirigidas nas áreas de deformação da crosta (movimento das placas tectônicas). As temperaturas envolvidas variam de 200 °C a 800 °C. Acima deste último valor, ocorre a fusão das rochas e entra-se no campo das rochas ígneas (Figura 2.12). O aumento de temperatura está associado à profundidade (gradiente geotérmico) e/ou à intrusão de corpos ígneos.

As características das rochas metamórficas dependem, essencialmente, da composição das rochas originais (sedimentar e ígnea), das condições de pressão e temperatura e dos fluidos envolvidos no processo. Rochas originais com composição e características distintas resultam em diferentes rochas metamórficas quando submetidas a condições de pressão e temperatura semelhantes nos processos de metamorfismo. Exemplos: calcários (rochas sedimentares químicas) resultam em mármores; arenitos (rocha sedimentar clástica) resultam em quartzitos; basalto (rocha ígnea extrusiva) resulta em anfibolito.

Quando as condições de pressão e temperatura envolvidas no processo de metamorfismo são menos intensas, a rocha original sofre apenas recristalização, sem a formação de novos minerais (por exemplo, o calcário se transforma em mármore, embora os minerais principais em ambas as rochas sejam os mesmos,

Material com direitos autorais

calcita e dolomita).

Quando as condições de pressão e/ou temperatura são mais intensas, ocorre a formação de novos minerais, característicos das rochas metamórficas (granadas, por exemplo). A perda de fluidos pelas rochas preexistentes é importante nos processos de metamorfismo, destacando-se a desidratação (perda de água) e a decarbonatação (perda de CO_2).

Os processos de metamorfismo e as respectivas rochas resultantes podem ser classificados em três grupos principais, segundo o ambiente geológico (pressão, temperatura, fluidos e rochas originais) e a extensão geográfica de ocorrência: metamorfismo regional ou dinamotermal, metamorfismo de contato ou local e metamorfismo dinâmico.

No metamorfismo regional atuam, simultaneamente, o aumento da pressão e da temperatura, estando associado às zonas de deformação intensa da crosta e às regiões de encontro das placas tectônicas e de formação das grandes cadeias montanhosas (Andes, Himalaia, Rochosas). No metamorfismo de contato atua, principalmente, o aumento da temperatura, devido à intrusão de corpos ígneos que provocam a recristalização das rochas encaixantes. No metamorfismo dinâmico atua, preponderantemente, a pressão dirigida em áreas de intensa movimentação tectônica (grandes falhas geológicas), o que resulta na moagem e na reorientação dos minerais das rochas preexistentes (Tabela 2.2).

Tabela 2.2

Rochas características dos principais tipos de metamorfismo

Rochas	Características	Metamorfismo
Xistos	Estrutura foliada, minerais micáceos (biotita, muscovita, entre outros)	Regional
Gnaisses	Estrutura com bandas claras (quartzo e feldspatos) se alternando a bandas escuras (micas, anfibólios e piroxênios)	
Mármore	Estrutura maciça, com cristais grandes e bem formados, composta essencialmente de calcita e/ou dolomita	Contato
Cataclasito	Estrutura com minerais moídos, com bordas angulosas e orientados segundo faixas (cataclástica)	Dinâmico

2.7 Tectônica De Placas

A teoria da Tectônica de Placas teve um impacto científico muito significativo na Geologia e nas ciências afins, bem como no entendimento da dinâmica do planeta Terra como um todo. Ela conseguiu unificar, dentro de um modelo teórico, a explicação para uma série de fenômenos geológicos que eram estudados desde os primórdios da Geologia como ciência.

Essa teoria começou a ser estabelecida no início do século XX principalmente

por Wegener (astrônomo) que, em 1911, publicou um trabalho científico que propunha que todas as massas continentais formavam um único supercontinente há cerca de 200 milhões de anos, ao qual ele denominou Pangea. A distribuição atual das massas continentais se devia à movimentação relativa destas ao longo do tempo geológico (Teoria da Deriva Continental).

Wegener propôs essa teoria com base nas seguintes evidências indiretas: o encaixe das linhas de costa entre os vários continentes atuais, como os da América do Sul e da África; a distribuição geográfica dos mesmos tipos de fósseis de animais terrestres e de plantas em vários continentes, atualmente separados por milhares de quilômetros de água; a ocorrência de rochas características de clima glacial em áreas continentais hoje situadas próximas à região equatorial; e a idade das rochas que formam o assoalho oceânico, que mostravam que os oceanos mais rasos (continentes mais próximos) possuem assoalho oceânico com idades mais recentes em relação aos oceanos mais profundos (continentes mais afastados).

Wegener, porém, não conseguiu propor o mecanismo que teria força suficiente para fazer movimentar os continentes nem como isso seria possível sem provocar a ruptura das massas continentais. Dessa forma, sua teoria foi abandonada por um tempo.

Porém, durante as grandes guerras mundiais e com a implantação dos cabos telegráficos intercontinentais, o fundo dos oceanos foi muito investigado e descobriu-se a existência de grandes depressões e elevações no assoalho oceânico. Também se constatou que a espessura dos sedimentos marinhos era bem inferior ao que era de se esperar admitindo a idade da Terra em alguns bilhões de anos, indicando, portanto, que os oceanos eram bem mais jovens. Ainda com relação ao fundo dos oceanos, também foi constatado, nas rochas, o registro de inversões do campo magnético da Terra, formando um padrão "zebrado" simétrico em relação às grandes elevações existentes no meio dos oceanos (cadeias meso-oceânicas). Por fim, com o desenvolvimento dos métodos de datação geológica absoluta, foi possível identificar a idade máxima das rochas da crosta oceânica em 200 milhões de anos e observar que essas idades também aumentam simetricamente em relação às cadeias meso-oceânicas.

Esses novos dados sobre as rochas do fundo oceânico, o melhor conhecimento da estrutura interna do planeta e, em particular, das correntes de convecção entre o manto e o núcleo externo, permitiram explicar a movimentação dos continentes e dar a configuração atual da teoria Tectônica de Placas. Atualmente, a movimentação dos continentes (placas) pode ser medida diretamente pelos satélites.

A tectônica de placas estabelece que a litosfera seja composta por blocos rígidos, formados pelas crostas continental, oceânica e pela parte inicial do manto superior, que flutuam e se movimentam sobre a zona plástica existente na porção intermediária do manto superior (Figura 2.3).

As placas tectônicas possuem três tipos principais de limites: margens divergentes, situadas nas cadeias meso-oceânicas onde as correntes de convecção trazem material do manto para a formação da crosta oceânica e das placas; margens convergentes, onde as placas se chocam, mergulhando umas sobre as outras (zonas de subducção), são destruídas e provocam o enrugamento da superfície do planeta com a formação das grandes cadeias montanhosas; e margens de conservação, onde as placas não são construídas nem destruídas, mas se movimentam lateralmente por falhas geológicas (Figura 2.13). Essas margens são coincidentes com a distribuição geográfica dos terremotos, das áreas vulcânicas, das áreas de metamorfismo regional, das grandes cadeias montanhosas

ALGUMAS PÁGINAS FORAM OMITIDAS

precipitação; Qin(t): importação de água para a bacia; ET(t): evapotranspiração; Qout: escoamento superficial ou quantidade de água que deixa a bacia.

3.6.2 Balanço Hídrico De 2ª Geração

O balanço hídrico de 2ª geração detalha os componentes padrão, integrantes do balanço de 1ª geração, conforme o campo de estudo e análise. Considerando o balanço hídrico no solo no sentido de se avaliar a variação do armazenamento de água resultante de mudanças de cobertura vegetal e manejo do solo (Le et al., 2011), estabelece-se o balanço das seguintes variáveis (Equação 3.8):

$$\Delta S(t) = P(t) + Qin(t) - Ic(t) - Tr(t) - E(t) - Se(t) - Sp(t) - Qout(t) \quad \textbf{Equação 3.8}$$

ΔS(t): variação total da quantidade de água armazenada na bacia por unidade de tempo; P(t): precipitação; Qin(t): importação de água de outra bacia para fins de irrigação; Ic(t): interceptação; Tr(t): transpiração; E(t): evaporação; Se(t): evaporação direta do solo; Sp(t): percolação; Qout(t): escoamento superficial ou quantidade de água que deixa a bacia.

Por outro lado, considerando as peculiaridades de bacias urbanas, o balanço hídrico de 2ª geração pode ser desenvolvido de acordo com a Equação 3.9 (Mitchell et al., 2003).

$$\Delta S(t) = P(t) + Qin(t) - ET(t) - D(t) - I(t) - Rw(t) \quad \textbf{Equação 3.9}$$

ΔS(t): variação total da quantidade de água armazenada na bacia por unidade de tempo; P(t): precipitação; Qin(t): quantidade de água importada para a bacia visando ao abastecimento público; ET(t): evapotranspiração; D(t): escoamento superficial ou drenagem urbana para fora da bacia; I(t): infiltração; Rw(t): lançamento de águas residuárias.

3.6.3 Balanço Hídrico De 3ª Geração

Levando-se em conta a demanda hídrica dos produtos consumidos na bacia e que não foram produzidos nela, podem-se quantificar a transferência de água entre bacias e o impacto que usuários de uma bacia podem ocasionar nos recursos hídricos de outras bacias. Essa demanda hídrica embutida em produtos comercializados ou *commodities* é denominada de **água virtual** (*Virtual Water-VW*), a qual é determinada a partir da quantificação da água demandada em toda cadeia de produção, desde a matéria-prima até a comercialização (Allan, 1993, 1994, 2011). Assim, em um terceiro nível de análise do balanço hídrico em bacias urbanizadas, os componentes de água virtual de entrada e saída são incorporados ao equacionamento (Equação 3.10).

$$\Delta S(t) = P(t) + Qin(t) - ET(t) - D(t) - I(t) - Rw(t) + VWe(t) - VWs(t) \quad \textbf{Equação 3.10}$$

ΔS(t): variação total da quantidade de água armazenada na bacia por unidade de tempo; P(t): precipitação; Qin(t): quantidade de água importada para a bacia visando ao abastecimento público; ET(t): evapotranspiração; D(t): escoamento superficial ou drenagem urbana para fora da bacia; I(t): infiltração; Rw(t): lançamento de águas residuárias; Vwe(t): água virtual de entrada na bacia; Vws(t): água virtual de saída da bacia.

A quantidade de água virtual combinada aos fluxos de produtos comercializados entre regiões permite avaliar, também, a dependência hídrica relativa de diferentes locais (Hoekstra & Hung, 2002; Montesinos et al., 2011). A VW é um instrumento de gestão da demanda hídrica, pois é capaz influenciar a oferta hídrica de uma região específica sem a necessidade de realizar grandes obras hidráulicas (Velázquez et al. 2011). Juntamente ao aumento da eficiência hídrica (t de produto/m³ de água consumida), uma das chaves para diminuição da pressão sobre os recursos hídricos é a minimização do fluxo do comércio de produtos *"water-intensive"* de regiões com maior grau de escassez hídrica para consumo em locais com menor grau escassez ou maior grau de abundância hídrica, ou seja, a produção de produtos específicos deve se adequar ao local (Fader et al., 2011). O conceito de água virtual está fortemente relacionado ao de **pegada hídrica**, que é tratado em tópico posterior.

Como as equações de balanços hídricos de 1ª, de 2ª e de 3ª geração podem ser aplicadas na gestão de recursos hídricos e quais são os principais desafios?

3.6.4 Balanço Hídrico Dos Fluxos De Água Azul E Verde

Os **fluxos de água dentro do ciclo hidrológico** também podem ser classificados em dois grupos: **azul** e **verde**, os quais agrupam vários componentes hidrológicos, de modo a facilitar o manejo e conservação dos recursos hídricos na bacia. A água azul é proveniente de aquíferos, lagos, rios e reservatórios, enquanto a água verde consiste da água contida na zona insaturada do solo e disponível para ser utilizada pelas plantas (Chartres & Varma, 2011). Em nível

global, 65% da precipitação pluviométrica formam a água verde e 35% desta correspondem à água azul. A primeira parcela retorna à atmosfera na forma de vapor e a segunda parcela, por sua vez, sai do sistema através do escoamento de rios e aquíferos (Falkenmark & Rockstrom, 2010). Portanto, esses fluxos hídricos são complementares dentro do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica (Falkenmark & Rockstrom, 2006).

Os caminhos da água precipitada até sua transformação em fluxos de água verde e azul é dinâmico. Assim, a classificação do tipo de fluxo, azul ou verde, é determinada pelos processos hidrológicos e unidades de armazenamento envolvidas. A água azul é identificada pelo escoamento superficial e subterrâneo. A água verde, por sua vez, pelo escoamento subsuperficial e evapotranspiração.

3.7 Balanço de cargas poluidoras em bacias hidrográficas

A poluição hídrica, na forma difusa ou pontual, representa os impactos do uso e ocupação na vertente da bacia na rede de drenagem. Na forma **difusa**, os poluentes são originados por processos naturais ou atividades humanas e transportados pelos componentes do ciclo hidrológico, especialmente o escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo. Assim, processo de poluição difusa inclui tanto os processos hidrológicos como a dissolução e o transporte de solutos até os corpos hídricos. Conforme Libos et al. (2003), os poluentes são gerados a partir de áreas extensas e de modo intermitente, dificultando sua identificação, medição e controle. Os processos erosivos e os produtos agroquímicos utilizados em atividades agrícolas são os principais responsáveis pela poluição difusa.

A poluição **pontual**, por outro lado, é facilmente identificável, pois é limitada por uma estrutura de lançamento que concentra o fluxo de despejo líquido, por exemplo, um canal ou tubulação. Esse despejo é composto, essencialmente, por resíduos de origem urbana, doméstica e industrial e é lançado conforme as regras de operação das unidades de tratamento de efluentes e produção industrial ou por atividades de despejo irregular.

As cargas poluidoras são determinadas pelo produto das vazões pela concentração dos poluentes. Estas cargas podem ser de natureza determinística ou estocástica. A variabilidade de tais cargas, de natureza pontual ou difusa, pode ser atribuída à sazonalidade das características das atividades poluidoras, tais como: processos produtivos, hábitos da população, mudanças no uso e cobertura do solo, conforme o ciclo vegetativo e de plantio das culturas agrícolas, entre outros. Além de incorporar fenômenos de sinergia, ou seja, possíveis reações químicas, biológicas ou físicas no transporte de cargas da cabeceira até os exutórios das bacias.

A partir do princípio de conservação de massa, a carga poluidora no exutório da bacia ou a jusante do trecho de rio em estudo é resultante do somatório das cargas determinísticas a montante mais componentes aleatórias. As cargas determinísticas dependem das cargas de poluição difusa, relacionadas com a área parcial de cada uso e ocupação do solo. As cargas pontuais dependem do cadastro de efluentes líquidos. (Equações 3.11 e 3.12).

$$Lrio_{jusante} = Lrio_{montante} + Ldifusa + Lpontual + Lestocstica$$

$Lrio_{jusante}$: carga poluidora (massa/tempo) a jusante do trecho do rio; $Lrio_{montante}$: carga poluidora (massa/tempo) a montante no trecho do rio; *Ldifusa*: carga poluidora difusa (massa/tempo) da bacia incremental entre os pontos de montante e jusante do trecho do rio; $L_{pontual}$: carga poluidora pontual (massa/tempo) na área incremental; esta equação pode ser re-escrita da forma mais detalhada conforme:

$$C_{i,j} \cdot Q_{i,j} = C_{i-1,j} \cdot Q_{i-1,j} + \sum_{k=1}^{Mnp} YbaciaY_{i,j,k} \cdot A_{i,k} + \sum_{s=1}^{Mp} p_{i,j,s} + erro_{i,j,k,s}$$

Equação 3.11

índices – i: espaço; j: tempo; k: tipo de uso e ocupação do solo; s: tipo de atividade geradora de poluição pontual; Variáveis – $C_{i,j}$: Concentração do poluente a jusante do trecho do rio (massa/volume); $Q_{i,j}$: vazão líquida a jusante do trecho do rio (volume/tempo); $C_{i-1,j}$: Concentração do poluente a montante do trecho do rio (massa/volume); Q: vazão líquida a montante do trecho do rio (volume/tempo); $Ybacia_{i,j,k}$: carga difusa específica (massa/tempo.área) do k -ésimo uso e ocupação do solo, que pode variar de 1 até Mnp; $A_{i,k}$: área com k-ésimo uso e ocupação do solo; $Yp_{i,j,s}$: carga pontual específica (massa/tempo) para atividade específica "s", que pode variar de 1 até Mp; $erro_{i,j,k,s}$: desvios aleatórios que dependem da posição relativa e/ou local na bacia ("i"), da sazonalidade ("j"), do tipo de uso do solo que produz poluição difusa ("k") e das atividades pontuais de poluição de cargas com regras de operação, volume e períodos determinados por condições próprias ("s").

EXEMPLO DE APLICAÇÃO: CARGAS POLUIDORAS

A bacia hidrográfica do rio Monjolinho, localizada em São Carlos (SP), possui três pontos de monitoramento, denominados: Fórum do Gregório (P1); Casa Branca (P2); e Cristo (P3), sendo os dois primeiros localizados a montante do terceiro. Na Figura 3.6, é apresentada a configuração da bacia, a localização dos pontos de monitoramento e os dados resultantes de contribuição de carga

específica de Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$) ao longo do comprimento do curso de água principal e da área da bacia.

Estação/ Variável	Fórum P1	C. Branca P2	Cristo P3
Comprimento (km)	7,5	12,4	13,8
Área (km^2)	9,5	51,7	77,4
DBO (mg/L)	4,0	8,6	2,0
Vazão (m^3/s)	0,2	1,7	2,0
Carga (kg/ha.ano)	21,0	89,6	16,3

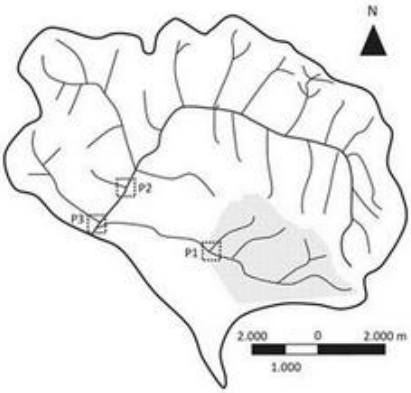

FIGURA 3.6 Exemplo de estudo de cargas poluidoras em bacias embutidas.

3.8 Gestão qualitativa do fluxo superficial de água azul

O controle da contribuição de cargas poluidoras nas bacias hidrográficas pode ser efetuado a partir das "curvas qualiquantitativas de carga máxima total" (*Total Maximum Daily Loads* – TMDL), que indicam a carga crítica de poluentes no corpo hídrico receptor, conforme os padrões de qualidade da água locais (Usepa, 1991). No caso brasileiro, esses padrões são definidos pela Resolução Conama nº 357/2005 (Brasil, 2005) de acordo com o enquadramento do curso de água em análise. Essas curvas podem ser obtidas pelo produto das vazões pelas concentrações dos padrões de qualidade de água pré-estabelecidos, Pad (Equação 3.12) (Quinn et al., 2009).

$$TMDL_{(massa/tempo)} = Q_{(volume/tempo)} \cdot Pad_{(massa/volume)}$$ **Equação 3.12**

EXEMPLO DE APLICAÇÃO: REGIONALIZAÇÃO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA

A partir de um caso de estudo real, apresenta-se a regionalização das curvas de permanência de quantidade e qualidade de vazões do rio Canha (SP). Estas curvas aparecem com valores de carga poluidora específica de nitrogênio (massa/tempo.área) e vazão específica (volume/tempo.área). Esta regionalização qualiquantitativa da curva de permanência compreende áreas de drenagem de bacias aninhadas variando entre 1 km² e 125 km². A regionalização quantitativa segue critérios de região hidrológica homogênea proposta pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE/SP) e a curva de permanência de qualidade foi construída com base em valores médios de dados experimentais observados *in situ*. No exemplo (Figura 3.7), para uma probabilidade média de 38%, esperam-se vazões específicas superiores a 14 L/s.km², com cargas específicas maiores do que 27 kg/ano.ha e concentrações superiores a 6,1 mg/L de nitrogênio total.

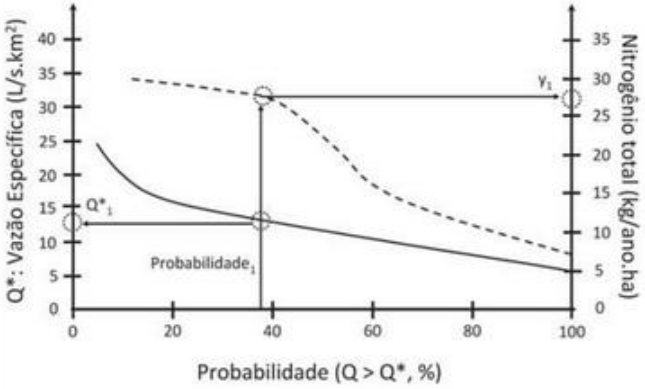

FIGURA 3.7 Regionalização de permanências de qualidade e quantidade de vazões.

Assim, a curva TMDL representa os limites de carga poluidora para cada medida de vazão. Nos Estados Unidos, diversos cursos de água estão sujeitos a regulamentação pela curva TDML, que especifica as normas de qualidade da água para bacias hidrográficas (Stringfellow et al., 2009). As curvas TMDL podem ser utilizadas para auxiliar o órgão ambiental no monitoramento e fiscalização da qualidade da água, pois possibilitam a análise da carga total máxima diária permitida de poluentes em condições críticas do corpo de água (Oliveira et al., 2011).

3.9 Pegada hídrica: quantificação do consumo dos fluxos de água azul e verde

A medida do consumo de água referente às parcelas de água verde e azul foi incorporada ao conceito de pegada hídrica (em inglês, *Water Footprint – WF*), sendo um indicador quantitativo formado pela soma de três componentes: WFazul, WFverde e WFcinza. As parcelas WFazul e WFverde distinguem-se pela origem da água utilizada. Como visto anteriormente, o valor de WFazul é resultante do uso consuntivo da água de fontes superficiais e subterrâneas (água azul), uma vez que esta é captada, pode ser incorporada ao produto ou processo e

ALGUMAS PÁGINAS FORAM OMITIDAS

A bactéria *Escherichia coli* é anaeróbia facultativa, Gram-negativa, bastonete que vive no trato intestinal de animais de sangue quente. A *Escherichia coli* normalmente não é patogênica, sendo benéfica ao homem e auxiliando na síntese de vitaminas e no combate a bactérias patogênicas. A patogenicidade advém de fatores de virulência que a bactéria adquire, tornando-a capaz de causar doenças. As *Escherichia coli* patogênicas são reunidas em cinco grupos:

Escherichia coli oxigênica: causadora da diarreia em pessoas que, por viverem em áreas nas quais essa bactéria não ocorre, ao viajarem para locais em que a bactéria está presente, desenvolvem a doença, normalmente conhecida como diarreia dos viajantes.

Escherichia coli enteroinvasiva: causadora de diarreia em crianças.

Escherichia coli enteroemorrágica: provoca diarreia contendo sangue nas fezes e, ocasionalmente, a síndrome hemolítica urêmica.

Escherichia coli enteropatogênica: causadora da diarreia dos viajantes.

Escherichia coli enteroagregativa: causadora de diarreia em crianças e em imunocomprometidos.

Campylobacter jejuni

A bactéria *Campylobacter jejuni* é Gram-negativa, delgada, bastonetes curvos ou espiralados, móveis com flagelo monopolar e microaerófila (preferência por ambientes com pouco oxigênio). A presença de *Campylobacter* não está claramente associada com a presença de microrganismos indicadores de contaminação fecal (*Escherichia coli*, por exemplo). Está normalmente presente no trato gastrointestinal de animais saudáveis, por exemplo, bovinos, porcos, galinha, perus, patos, gansos e pode, ocasionalmente, ocorrer isolada em águas de rios e lagos. Os sintomas típicos são forte dor abdominal, diarreia, febre, náuseas, dor de cabeça e dores musculares. A doença é raramente fatal, com menos de uma morte por mil casos. Os grupos mais suscetíveis são crianças com menos de 5 anos de idade e jovens de 15 a 29 anos de idade.

• Yersina Enterocolitica

A *Yersina enterocolitica* é um patogênico invasivo que penetra o revestimento intestinal e entra nas glândulas linfáticas, causando infecção sistêmica. Provoca inflamação no intestino pela liberação de toxina que causa dor severa semelhante à de apendicite. Quatro sintomas estão associados à *Yersina enterocolitica*:

Enterocolite – diarreia, febre baixa, câibras abdominais.

Pseudoapendicite – dor na mesma área do apêndice, juntamente com

leucocitose.

Infecção focal intestinal – infecção no trato urinário, pneumonia, faringite.

Bacteremia – dispersão dos microrganismos para a corrente sanguínea.

Infecções intestinais por vírus

Os vírus entéricos são encontrados em fezes de humanos e animais e são onipresentes em águas superficiais que recebem esgoto não tratado ou mesmo tratado, pois os processos de tratamento não retêm ou inativam os vírus por completo. Em algumas situações, é possível detectar vírus em água tratada. Destacam-se os vírus da poliomielite, e das hepatites A, B, C, D, E e G, sendo que os da hepatite A e E são veiculados pela água. Há vírus que causam gastroenterite, incluindo os rotavírus, calicivírus, astrovírus e adenovírus.

Infecções intestinais por protozoários

Os protozoários de interesse em doenças veiculadas pela água são *Entamoeba histolytica*, *Entamoeba dispar*, *Giardia lamblia* e *Cryptosporidium parvum*. Seis ou mais espécies de *Entamoeba* têm o homem como hospedeiro. Entretanto, somente a *Entamoeba histolytica* causa doença grave. A infecção é frequentemente assintomática. A maioria das infecções ocorre no trato digestivo, embora outros tecidos possam ser atacados.

A *Giardia* existe na forma de esporozoíto (cisto) e trofozoíto (forma vegetativa). A infecção com *Giardia lamblia*, ou seja, giardiose, causa diarreia e dor abdominal e está relacionada à síndrome da fadiga crônica, que é de difícil diagnóstico.

O *Cryptosporidium* é parasita intracelular obrigatório que infecta o trato gastrointestinal de animais e do homem. A criptosporidiose humana é causada pelo *Cryptosporidium parvum* e pelo *Cryptosporidium hominis*. Entretanto, outras espécies de *Cryptosporidium* podem infectar tanto indivíduos imunocomprometidos quanto imunoeficientes. A rota de transmissão pode ser pelo contato direto com animais infectados, contato pessoa-pessoa ou pela ingestão de alimentos ou água contaminados. A rota de transmissão pela água (veiculação hídrica) foi identificada pela primeira vez nos Estados Unidos e no Reino Unido em meados dos anos 1980 e, desde então, são registrados surtos de criptosporidiose em âmbito mundial (Le Goff et al., 2009). A dose infectante é pequena, o que facilita a transmissão mesmo em pequenas concentrações na água ou nos alimentos. Os indivíduos infectados excretam em suas fezes grande quantidade de oocistos de *Cryptosporidium*. Durante as infecções sintomáticas, são excretados de 10^5 a 10^7 oocistos por grama de fezes. Nos processos de tratamento de esgoto, ocorre a remoção dos oocistos que são transferidos para o lodo em concentração que varia de 10^5 a 10^6 oocistos por grama de sólidos. O uso desse lodo para fins agrícolas, se não for higienizado, poderá contaminar o solo e a água superficial, colocando em risco a saúde pública. Os processos de tratamento de água para abastecimento removem os oocistos, principalmente na operação de filtração. Entretanto, os oocistos que transpassam são muito resistentes aos desinfetantes, o que tem despertado preocupações dos órgãos relacionados à saúde pública.

Infecções intestinais por helmintos

As infecções causadas por helmintos representam problema de saúde pública em âmbito mundial, principalmente nas regiões tropical e subtropical da África, Ásia, América Central e do Sul (Asaolu e Ofoezie, 2003).

As infecções de maior incidência são causadas por cestóides – por exemplo, *Taenia solium*, *Taenia saginata* e *Echinococcus granulosus* – e nematoides intestinais – por exemplo, *Ascaris lumbricoides*, *Acylostoma duodenale*, *Strongyloides stercoralis*, *Enterobios vermicularis*, *Trichuris trichiura* –, e tramatoides – por exemplo, *Shistosoma mansoni*. A transmissão é decorrente da contaminação do ambiente por ovos ou larvas infectantes, havendo duas rotas – a transmitida pelo solo e a transmitida pela água.

A sobrevivência no meio externo ao hospedeiro é variável entre os microrganismos patogênicos, assim como a resistência aos desinfetantes usados para inativar esses organismos em concentrações que reduzam o risco de infecções (comparar com a dose infectante). Na Tabela 5.2, estão apresentados exemplos de algumas doenças veiculadas pela água. Destaca-se que nessa tabela estão apresentadas as doses infectantes dos agentes etiológicos, ou seja, os causadores da doença. A dose infectante é amplamente variável entre os microrganismos patogênicos. Informações sobre a origem, a resistência à desinfecção e a sobrevivência no ambiente externo ao hospedeiro estão apresentados na Tabela 5.3 para alguns microrganismos patogênicos. As possíveis rotas de transmissão dos microrganismos patogênicos para o homem estão apresentadas na Tabela 5.4

Tabela 5.2

Exemplos de algumas doenças de veiculação hídrica relacionadas com os microrganismos patogênicos presentes na água contaminada

Organismo	Doença	Quantidade excretada por indivíduo infectado/g fezes	Máxima sobrevivência na água (dias)	Dose infectante*	Principais Sintomas
Bactérias					
Escherichia coli	Gastroenterite	10^8	90	10^5-10^7	Diarreia
Salmonella typhi	Febre tifóide	10^7	–	–	Febre alta, diarreia, úlceras no intestino delgado
Vibrio cholerae	Cólera	10^8	30	10^8	Diarreias extremamente fortes e desidratação
Salmonella	Salmonelose	10^8	60-90	10^5-10^7	Infecção alimentar
Protozoários					
Cryptosporidium	Cryptosporidiose	10^7	–	1-30	Diarreia
Entamoeba histolytica	Disenteria amebiana	10^7	25	10-100	Diarreia prolongada com hemorragia, abscesso no fígado e no intestino delgado
Giardia lamblia	Giardíase	10^8	25	1-10	Diarreia fraca, náuseas, indigestão
Vírus					
Adenovírus (31 tipos)	Doenças respiratórias	10^8	–	–	Vários[c]
Enterovírus (71 tipos – polio, echo, coxsackie)	Gastroenterite, anomalias no coração, meningite	10^7	90	1-72	Vários[c]
Hepatite A	Hepatite infecciosa	10^8	5-27	1-10	Icterícia, febre
Rotavírus	Gastroenterite	10^8	5-27	1-10	Vários[c]
Helminos					
Ascaris lumbricoides[c]	Ascaridíase	10-10^6	365	2-5	Vômito, larvas ou vermes vivos nas fezes
Taenia solium (solitária)	Cisticercose	10^7	270	1	Dor abdominal, distúrbios digestivos, perda de peso
Schistosoma mansoni	Esquistossomose	–	–	–	Infecção no fígado e na vesícula

*Fonte: Adaptado de CRAUN (1996) e USEPA (1999) por Dantas (2001). *Dose infectante que provoca sintomas clínicos em 50% dos indivíduos testados. [a]Modo de infecção: ingestão de ovos infectados, em água ou solo contaminado por fezes humanas ou ingestão de produtos crus contaminados. [c]Pelo fato de existirem várias espécies desses vírus, as doenças apresentam diversos sintomas.*

ALGUMAS PÁGINAS FORAM OMITIDAS

Quanto ao hábito alimentar, os ecossistemas possuem espécies que são **especialistas** (ingerem somente determinado alimento) e **não especialistas** (ingerem uma grande variedade de alimentos). Normalmente, os ecossistemas maduros, estáveis, apresentam alta diversidade de espécies. A estabilidade é a persistência da estrutura de um ecossistema no decorrer do tempo. O grau de estabilidade atingido por um ecossistema depende do ambiente externo e da eficiência dos controles internos (homeostase).

A capacidade de um sistema ecológico suportar perturbações ambientais, mantendo sua estrutura e padrão de comportamento em condição de equilíbrio, é denominada **resiliência**. A resiliência é avaliada pelo tempo necessário para o ecossistema retornar à condição inicial, conforme visto no Capítulo 6. Um ecossistema será menos resiliente quanto maior for o tempo necessário para ele retornar à condição inicial após perturbação. A **sustentabilidade ambiental** ou estabilidade ecológica pode ser proporcionada pela diversidade de espécies, embora não se conheça qual a biodiversidade necessária para os diferentes ecossistemas e graus de perturbações.

7.2 Energia

A energia é a capacidade de realizar trabalho e transferir calor. A principal fonte de energia do nosso planeta é a radiação solar, que chega na forma de luz e calor. Seu fluxo é unidirecional e obedece às Leis da Termodinâmica, que foram introduzidas no Capítulo 1.

A **Primeira Lei da Termodinâmica**, também conhecida como **Lei da Conservação de Energia** diz que *"a energia pode ser transformada de um tipo a outro, mas não pode ser criada nem destruída"*. Segundo Teixeira Jr. (1981), se, em algum lugar, a energia que se apresentava sob uma forma tiver desaparecido, uma mesma quantidade de energia terá de surgir sob outra forma e em outro lugar. Assim, dizemos que a energia não é consumida, e sim, utilizada. Como exemplo, podemos citar a queima de gasolina (combustível). Antes de ser queimada, a gasolina possui uma energia química armazenada (também chamada de energia potencial). Após sua queima, essa energia sofre transformações e passa às formas mecânica e térmica (energia cinética). A soma das energias do fim de uma transformação é sempre igual às energias iniciais. Não se pode obter mais energia do sistema do que aquela que é fornecida.

Sendo assim, é possível acreditar que sempre haverá energia suficiente. O que muda entre uma transformação e outra é a qualidade da energia, ou seja, o quanto dessa energia fica disponível para realizar trabalho útil (Miller, 2007). É dessa questão que trata a **Segunda Lei da Termodinâmica**. De acordo com esta lei, todo processo de transformação de energia se dá a partir de uma forma mais concentrada para outra mais dispersa (ou desorganizada). Aplicando esse conceito ao nosso exemplo da queima da gasolina, significa dizer que uma parte de sua energia potencial será convertida em energia mecânica (para fazer o carro andar) e outra parte será perdida em forma de calor, pois esta energia não pode ser aproveitada. Na natureza, nenhuma transformação de energia é 100% eficaz; além disso, é impossível obter energia de melhor qualidade do que aquela disponível inicialmente (Braga et al., 2004).

7.2.1 Radiação Solar

Como dissemos anteriormente, a radiação solar é a principal fonte de energia do nosso planeta. Apenas uma pequena fração da energia incidente atravessa a atmosfera e atinge a superfície da Terra. O restante da energia é refletido ou irradiado para a atmosfera em forma de calor.

A radiação solar possui um espectro de ondas eletromagnéticas que variam desde valores muito pequenos (10^{-14} m – ondas curtas com alta energia, como os raios X) a valores elevados (1 m – ondas longas com baixa energia, como as ondas de rádio). Aproximadamente 99% do total dessa energia se encontram na região do espectro compreendida entre 0,2 µm e 4 mm, a qual engloba o espectro visível e a radiação infravermelha, de grande importância para os seres vivos.

É pelo fenômeno da **absorção** que a energia do Sol é convertida em calor. As moléculas gasosas, ao absorverem radiação, têm sua energia cinética interna aumentada, fazendo com que sua temperatura se eleve. Os gases, principalmente vapor de água e dióxido de carbono, são os melhores absorvedores de radiação da atmosfera, sendo fundamentais para o aquecimento do nosso planeta. Esse fenômeno é conhecido como efeito estufa. Grimm (1999) o descreve da seguinte maneira: os gases atmosféricos absorvem radiação e aumentam a temperatura; o vapor de água absorve quase cinco vezes mais radiação que todos os outros gases combinados, aquecendo mais a região mais baixa da troposfera (próximo à superfície da Terra), onde está mais concentrado; e esse calor, quando dissipado, constitui a maior fonte de calor para a atmosfera, que é, portanto, aquecida a partir do calor dissipado pela superfície do planeta. Com o aquecimento da atmosfera, parte da energia é dissipada e absorvida novamente pela Terra. Essa troca entre a superfície da Terra e a atmosfera mantém a temperatura média em aproximadamente 25 °C e permite a vida no planeta.

7.2.2 Energia Nos Ecossistemas

A radiação solar que chega aos ecossistemas varia de acordo com a incidência e a intensidade. Na região dos trópicos, tem-se alta incidência, ao contrário das regiões temperadas. Essa é uma das principais causas das variações climáticas da Terra (temperatura, precipitação, massas de ar) e também da grande diversidade de biomas existentes.

O Sol é a fonte primária de energia para os seres vivos realizarem suas atividades básicas. A partir da energia solar adquirida e assimilada, os diversos componentes de um ecossistema se relacionam, promovendo o fluxo energético. Conforme mencionado no item anterior, apenas uma pequena fração da radiação solar atravessa a atmosfera e chega à superfície da Terra. Dessa fração, cerca de 1% é assimilada pelos organismos autótrofos, pelo processo da fotossíntese. Essa energia fica armazenada em forma de compostos orgânicos complexos e, quando necessário, transformada em alimento e energia para os próprios seres autótrofos e para os demais, os heterótrofos, que são incapazes de produzir seu alimento e o obtém pela ingestão de outros organismos.

Albedo para algumas superfícies no intervalo visível (%)	
Neve (limpa, seca)	75-95
Neve (molhada e/ou suja)	25-75
Nuvens espessas	70-80
Nuvens finas	25-50
Superfície do mar (pequena altura do sol)	10-70
Areia, deserto	25-40
Grama	15-25
Solo descoberto	10-25
Floresta	10-20
Superfície do mar (sol > 25° acima do horizonte)	<10
Concreto	10-35
Asfalto	5-20

+ REFLEXÃO −

− ABSORÇÃO +

FIGURA 7.1 Variação do albedo com relação à radiação global em diferentes superfícies.

Antes de prosseguir, vamos definir alguns novos termos. Os seres **autótrofos** dos ambientes terrestres compreendem as plantas verdes e algumas bactérias. Em sistemas aquáticos interiores, ambientes costeiros de água doce ou marinha, têm-se algumas plantas (*macrófitas aquáticas*) e organismos fotossintetizantes (*fitoplâncton*) como os principais produtores. Já em regiões de mar aberto, encontra-se apenas o fitoplâncton. Os autótrofos, também chamados de **produtores**, captam a energia luminosa do Sol e assimilam compostos inorgânicos, formando compostos orgânicos complexos, como a glicose ($C_6H_{12}O_6$), pelo processo da **fotossíntese**. A reação geral simplificada da fotossíntese é:

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{energia solar} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

A **quimiossíntese**, outro processo de produção de alimento, é realizado por algumas bactérias (chamadas *bactérias quimiossintetizantes*), que também são capazes de converter compostos inorgânicos simples em nutrientes mais complexos, sem a luz solar, utilizando a energia de ligação dos compostos químicos oxidados.

Todos os demais seres vivos de um ecossistema são **heterótrofos** ou **consumidores**, ou seja, são incapazes de produzir seu próprio alimento, obtendo energia pelo consumo de outros organismos ou de restos destes. Os **herbívoros** são consumidores que se alimentam exclusivamente de vegetais e os **carnívoros**, de animais. Os **onívoros** são aqueles que podem se alimentar tanto de vegetais

Material com direitos autorais

como de animais. Exemplos típicos são os lobos, os ursos e os seres humanos. Há características bem marcantes nesse grupo de organismos, como musculatura facial reduzida, dentes caninos menos desenvolvidos e sistema digestivo adaptado à digestão de diferentes tipos de alimentos.

Há também um grupo de consumidores especializados, que se alimentam de matéria orgânica morta (restos de animais e vegetais dispersos no substrato), os **decompositores**. Estes organismos, geralmente fungos e bactérias, são os responsáveis pela ciclagem da matéria orgânica do planeta, pois metabolizam os compostos complexos e os transformam em substâncias inorgânicas simples, que ficam disponíveis para serem assimiladas novamente pelas plantas.

Produtores, consumidores e decompositores precisam de energia para realizar suas funções vitais básicas, como crescimento, locomoção e reprodução. Para isso, utilizam a energia química dos compostos orgânicos armazenados, como a glicose, no processo de **respiração aeróbia**. Este processo, de forma bem simplificada, pode ser considerado como o oposto da fotossíntese. Os compostos orgânicos são convertidos, na presença de oxigênio, em gás carbônico e água, liberando energia, de acordo com a seguinte reação:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{energia}$$

7.2.3 Produtividade Primária

Produtividade primária pode ser definida como a taxa de conversão de energia solar em substâncias orgânicas pelos organismos fotossintetizantes por unidade de área e/ou tempo. É expressa em unidade de energia (por exemplo, em J/m^2.dia) ou matéria (kg/ha.ano).

Conforme esquematizado na Figura 7.2, a **produtividade primária bruta** (PPB) é a fixação total de energia, pela fotossíntese, na forma de biomassa (quantidade de matéria viva que existe em um ecossistema). Uma parte desse total é continuamente usada na respiração (que inclui também as demais funções básicas, como crescimento, reprodução, entre outras) dos organismos produtores e não pode ser reaproveitada. A porção restante, que fica armazenada na biomassa dos produtores e, portanto, disponível como alimento aos consumidores, é a **produtividade primária líquida** (PPL). Em outras palavras, segundo Miller (2007), a PPL mede a velocidade na qual os produtores podem fornecer o alimento de que os consumidores necessitam.

ALGUMAS PÁGINAS FORAM OMITIDAS

país, enquanto as Regiões Sul e Sudeste, as mais povoadas do território, concentram apenas 7% e 6% das reservas de água, respectivamente. A garantia da qualidade e da quantidade de água disponível em mananciais superficiais ou subterrâneos é imprescindível para as atividades humanas. O conhecimento das propriedades naturais e dos processos esperados nesses sistemas aquáticos é requisito básico para a adequada gestão dos recursos hídricos e a garantia dos usos da água em longo prazo.

A água possui propriedades ímpares, que controlam a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas e regulam a ocorrência, a distribuição e o metabolismo dos organismos aquáticos. Os serviços ambientais constituem a união entre os ecossistemas, o bem-estar do homem e a economia. O meio ambiente é capaz de desempenhar funções que garantem e sustentam a vida humana. Nesse sentido, a água é responsável por muitos serviços ambientais, conforme visto no Capítulo 3, dentre eles a regulação do clima, o controle dos fluxos hidrológicos (infiltração, escoamento superficial, evapotranspiração e demais rotas do ciclo hidrológico) e a reciclagem de materiais e nutrientes por meio da interação entre todos os componentes dos meios terrestre, aquático e atmosférico.

8.2 Propriedades físicas e químicas da água doce

A água é composta de hidrogênio e oxigênio (H_2O) e possui características únicas que lhe conferem a propriedade de atuar como solvente universal e de apresentar variação anômala da densidade de acordo com a temperatura (a densidade máxima ocorre próxima a 4 °C). As moléculas de água são unidas por ligações de hidrogênio (Figura 8.1), que determinam as faixas de temperatura e pressão nas quais a água é encontrada em sua fase líquida. As ligações de hidrogênio também contribuem para que a água possua elevado calor específico (1,00 cal/g °C a 25 °C), calor latente de fusão (79,7 cal/g) e vaporização (539,6 cal/g), além de significativa tensão superficial (73 dyn/cm).

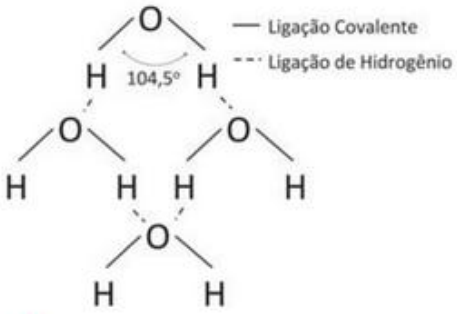

FIGURA 8.1 Representação esquemática bidimensional das moléculas de água unidas pelas ligações de hidrogênio.

Todas essas propriedades físicas e químicas da água possuem implicações biológicas importantes. Muitos organismos aquáticos são sensíveis a mudanças térmicas bruscas. O elevado calor específico da água minimiza variações abruptas de temperatura no ambiente aquático, isto é, impede que a água esquente ou esfrie rápido demais. O ângulo entre as ligações covalentes O–H, que é de 104,5°, acarreta o aparecimento de carga ligeiramente positiva nas proximidades dos átomos de hidrogênio. Tal distribuição desigual de cargas elétricas faz com que a molécula H_2O apresente polaridade.

O número de Reynolds (Re), definido pela Equação 8.1, é a razão entre as forças inerciais (F_i, Equação 8.2) e viscosas (F_v, Equação 8.3), e é uma medida da importância relativa das forças atuantes sobre uma parcela de água em uma corrente. A viscosidade é uma propriedade que reflete a resistência de um fluido ao escoamento e à mudança de forma a uma dada temperatura. Por exemplo, a viscosidade do óleo é maior que a da água. A inércia, por sua vez, é uma medida da resistência de um corpo à alteração em sua velocidade.

$$\mathrm{Re} = \frac{F_i}{F_v} \qquad \textbf{Equação 8.1}$$

$$F_i = \rho S U^2 \qquad \textbf{Equação 8.2}$$

$$F_v = \frac{\mu S U}{l}$$ **Equação 8.3**

ρ: densidade do fluido; ***S***: área superficial; ***U***: velocidade de escoamento; ***μ***: viscosidade dinâmica; ***l***: comprimento

A inércia de um corpo é diretamente proporcional ao seu tamanho, densidade e velocidade. A inércia de um peixe é superior à de uma bactéria, por exemplo. A viscosidade da água também é relevante para a ecologia aquática e influencia a velocidade de natação dos organismos aquáticos, o modo com que eles coletam alimento e a rapidez de sedimentação de partículas na coluna de água. Desse modo, o número de Reynolds descreve como o comportamento dinâmico da água varia de acordo com a escala espacial e com o movimento (velocidade) da água".. Os efeitos do *Re*, portanto, estendem-se a diversas atividades desempenhadas pelos organismos aquáticos, tais como natação, filtração e alimentação. De acordo com Dodds e Whiles (2010), organismos pequenos (menores que 100 μm) possuem baixo *Re* (força viscosa elevada, força inercial reduzida) e consequentemente requerem mais energia para se movimentarem, embora afundem na coluna de água com menores velocidades. Já organismos grandes (maiores que 1 cm) possuem maior *Re*, o que demanda menor energia para movimentação, mas gera maiores taxas de afundamento na coluna de água.

Para reforçar os conceitos já apresentados em outros capítulos (Capítulos 3 e 7), o ciclo hidrológico, que se refere à troca contínua de água entre os diferentes compartimentos da hidrosfera e da atmosfera, é novamente abordado, de forma resumida. A precipitação pluviométrica (chuva) determina a quantidade de água que entra nos sistemas aquáticos. A água pode retornar à atmosfera por transpiração pelos vegetais ou por evaporação. Quando computados conjuntamente, os processos de evaporação e transpiração são chamados de evapotranspiração. A água que não é perdida para a atmosfera e que não cai diretamente sobre rios, lagos e reservatórios pode infiltrar no solo ou escoar pela sua superfície ou subsuperfície. Se a água não é armazenada no solo, ela atinge camadas mais profundas e forma os aquíferos e/ou alimenta rios e riachos.

Os mecanismos principais envolvidos no ciclo hidrológico, detalhadamente apresentados no Capítulo 3, variam no espaço e ao longo do tempo. Resumidamente, são eles:

i) **Precipitação.** É a descarga de água na forma líquida ou sólida da atmosfera para a superfície. A maior parte da precipitação cai na forma de chuva.
ii) **Condensação.** É um processo de mudança do estado físico da água (de vapor para líquido). É o mecanismo que rege a formação de nuvens.
iii) **Evaporação.** É um processo de mudança do estado físico da água (de líquido para vapor). A energia térmica do Sol é uma das responsáveis pela evaporação da água.
iv) **Transpiração.** De toda a água absorvida pelas plantas, apenas uma pequena parcela fica retida no vegetal e o restante é perdido para a atmosfera. Transpiração é o processo de perda de água (na forma de vapor) pelas plantas.
v) **Escoamento superficial.** Em situações em que o solo já se encontra saturado de água ou no caso de superfícies menos permeáveis, a água da chuva pode escoar superficialmente. Em casos extremos, esse excedente pode ocasionar o aumento do nível de água em rios e causar inundações.
vi) **Infiltração.** Refere-se ao movimento vertical da água das camadas superficiais para as camadas mais profundas do solo ou entre rochas porosas.
vii) **Percolação.** É a parcela de água que atinge camadas profundas do solo e

alimenta os aquíferos.

viii) **Escoamento subsuperficial.** É o fluxo de água que escoa em subsuperfície, originado da água que penetrou no solo.

O movimento da água e as alterações na sua distribuição espacial e temporal constituem a hidrodinâmica. Esse fluxo permanente oferece suporte ao metabolismo dos seres vivos e atua como um agente modelador da crosta terrestre por permitir a troca e o transporte de materiais entre os diferentes ecossistemas.

8.3 Rios e córregos

Rios e córregos são caracterizados por água corrente (sistemas lóticos) e contínuo transporte de materiais e organismos até a sua foz, que pode ser a desembocadura no mar. A partir de sua nascente e ao longo do eixo longitudinal, observa-se um gradiente de condições físicas que influenciam a distribuição de organismos. De acordo com a **Teoria do Contínuo Fluvial**, postulada por Vannote et al. em 1980, as comunidades biológicas a jusante ("abaixo") de um determinado ponto no rio são fortemente dependentes de materiais e energia não utilizados a montante ("acima") e se estruturam para reduzir as perdas energéticas e maximizar a eficiência de utilização dos recursos. Esse modelo é frequentemente aplicável a ambientes preservados, com nenhuma ou mínima interferência antrópica.

Para sistemas aquáticos impactados, no entanto, existem outras teorias ecológicas que atribuem maior importância aos efeitos das atividades humanas sobre a água dos rios. Como exemplos, destacam-se os conceitos de Descontinuidade Serial e Descontinuidade de Ligação, que agregam elementos como a existência de represamentos artificiais e o lançamento de efluentes para descrever as características longitudinais dos sistemas lóticos.

No caso da **Descontinuidade Serial**, cujos fundamentos foram propostos por Ward & Stanford (1995), admite-se que o represamento de um rio produz um rompimento nos gradientes naturais esperados e gera alterações longitudinais em relação às características ambientais. Tais mudanças ocorrem não apenas a jusante, mas também a montante do represamento. As interações entre um rio e sua respectiva planície de inundação também podem ser descritas com base nesse conceito. As planícies de inundação são definidas como áreas periodicamente inundadas pelo transbordamento lateral de rios ou lagos e/ou pela influência da precipitação pluviométrica ou das águas subterrâneas. Assim, os pulsos de cheia permitem as trocas laterais entre o canal do rio e a planície de inundação e propiciam interações entre a biota, além da ciclagem de nutrientes. Diferentemente do Conceito do Contínuo Fluvial, a **Teoria dos Pulsos de Inundação** (Junk et al., 1989) não admite a influência dos processos a montante sobre aqueles a jusante, uma vez que os pulsos periódicos de inundação são capazes de fornecer material orgânico produzido nas planícies de inundação aos cursos de água. A alternância entre a fase terrestre e a fase aquática requer adaptações e estratégicas específicas da biota que habita essas áreas.

O conceito de **Descontinuidade de Ligação** foi proposto em 2001 por Rice et al., os quais destacaram as entradas de tributários ou efluentes como agentes causadores de modificações na qualidade da água, do sedimento e no volume de água veiculado pelos corpos hídricos. Assim, a organização das comunidades biológicas ao longo do eixo longitudinal dos rios depende desses elementos, aliados a outros fatores como geologia, clima e vegetação, os quais induzem a descontinuidade nos sistemas aquáticos.

ALGUMAS PÁGINAS FORAM OMITIDAS

para uma pesca responsável. Conferência FAO 28. 1995. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/005/v9878e/v9878e00.HTM>. Acesso: abril 2012.
16. FAO – *The state of world fisheries and aquaculture. World review of fisheries and aquaculture*. 2010. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/013/i1820e/i1820e01.pdf>. Acesso: abril 2012.
17. Field CB, Behrenfeld MJ, Randerson JT, Falkowski P. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*. 1998;281(10):237–240.
18. Fuhrman JA, Griffith JF, Schwalbach MS. Prokaryotic and viral diversity patterns in marine plankton. *Ecological Research*. 2002;17:183–194.
19. Gianesella SMF, Saldanha-Corrêa FMP. In: *Sustentabilidade dos oceanos*. São Paulo: Blucher; 2010;199. Série Sustentabilidade, Volume 7 (Coordenador: José Goldemberg).
20. Griffiths HJ. Antarctic Marine Biodiversity – What Do We Know About the Distribution of Life in the Southern Ocean?. *PloS ONE*. 2010;5(8):1–11 e11683.
21. Halpern BS, Walbridge S, Selkoe KA, et al. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*. 2008;319:948–952.
22. Hoegh-Guldberg O. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research*. 1999;50(8):839–866.
23. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007*. Synthesis Report. 23p. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf>. Acesso: março 2012.
24. Jardilier L, Zubkov MV, Pearman J, Scanlan DJ. Significant CO_2 fixation by small prymnesiophytes in the subtropical and tropical northeast Atlantic Ocean. *International Society of Microbial Ecology Journal*. 2010;4(9):1180–1192.
25. Juniper SK, Tunnicliffe V. Crustal accretion and the hot vent ecosystem. Cann JR, Elderfield H, Laughton A, eds. *Mid-ocean ridges: dynamics of processes associated with creation of new ocean crust Philos Transactions of the Royal Society of London Sereries, A* 1997;(355):459–474.
26. Lacerda LD. A zona costeira: o domínio das interações 2010; Projeto Instituto do Milênio – Estuários. 2010. Disponível em: <http://www.institutomilenioestuarios.com.br/zonacosteira.html>. Acesso: abril 2012.
27. Liss PS, Malin G, Turner SM. Production of DMS by marine phytoplankton. In: Restelli G, Angeletti G, eds. *Dimethyisulfide: oceans, atmosphere and climate*. Dordrecht, Nova Zelândia: Kluwer Academic Publishers; 1993;1–14.
28. Longhurst AR, Harrison WG. The biological pump: profiles of plankton production and consumption in the upper ocean. *Progress in Oceanography* 1989;(22):47–123.
29. Mann KH, Lazier JRN. In: *Dynamics of marine ecosystems Biological-Physical interactions in the oceans*. Oxford: Blackwell Scientific Publications; 1991;466.
30. Martin JH, Fitzwater SE. Iron-deficiency limits phytoplankton growth in the Northeast Pacific Subarctic. *Nature*. 1988;331(6154):341–343.
31. Nilsson GE, Dixson DL, Domenici P, et al. Near-future carbon dioxide levels alter fish behavior by interfering with neurotransmitter function. *Nature Climate Change*. 2012;2(2):1–4.
32. Nisbet EG, Fowler CMR. The hydrothermal imprint on life: Did heatshock proteins, metallo-proteins and photosynthesis begin around hydrothermal vents?. In: MacLeod CJ, Tyler P, Walker CL, eds. London: Geological Society of London; 1996;239–251. *Tectonic, Magmatic and Hydrothermal Segmentation of Mid-Ocean Ridges*. 118.
33. Nixon WF. Nutrients, primary production and fisheries yields in coastal lagoons. *Oceanologica Acta* 1992;(5):357–371.
34. Oliveira GO. In: *El Niño e você: o fenômeno climático*. São José dos Campos: Transtec; 2001;116.
35. Paes ET. Nécton Marinho. In: Pereira RC, Crespo-Soares A, eds. *Biologia marinha*. Rio de Janeiro: Interciência; 2002;382.
36. Partensky F, Hess WR, Vaulot D. *Prochlorococcus*, a marine photosynthetic prokaryote of global significance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 1999;63(1):106–

127.
37. Postma H. Distribution of nutrients in the sea and the oceanic nutrient cycle. In: Costlow JD, ed. *Fertility of the sea*. Londres: Gordon and Breach Science Publishers; 1971;622.
38. Postma H. Physical and chemical oceanographic aspects of continental shelves. In: Postma H, Zijltra JJ, eds. *Ecosystems of the World* 27: *Continental Shelves*. Nova York: Elsevier; 1988;421.
39. Reise K. In: *Tidal flat ecology*. Berlim, Alemanha: Spring-Verlag; 1985;191.
40. Riley GA. Limnological studies in Connecticut Part III The plankton of Linsley Pond. *Ecological Monographs* 1940;(10):281–306.
41. Rodríguez E, Daly M. Phylogenetic relationships among deep-sea and chemosynthetic sea anemones: Actinoscyphiidae and Actinostolidae (Actiniaria: Mesomyaria). *PloS ONE*. 1940;5(6):1–8 e10958.
42. Ryther JH. Photosynthesis and fish production in the sea. *Science*. 1969;166:72–76.
43. Sarrazin J, Juniper SK. Biological characteristics of a hydrothermal edifice mosaic community. *Marine Ecology Progress Series*. 1999;185:1–19.
44. Schmiegelow JMM. In: *O planeta azul: uma introdução às ciências marinhas*. Rio de Janeiro: Interciência; 2004;202.
45. Seeliger U, Odebrecht C, Castello JP. In: *Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil*. Rio Grande: Ecoscientia; 1998;326.
46. Sellanes J, Neira C, Quiroga E, Teixido N. Diversity patterns along and across the Chilean margin: a continental slope encompassing oxygen gradients and methane seep benthic habitats. *Marine Ecology*. 2010;31(1):111–124.
47. Sellanes J, Quiroga E, Neira C. Megafauna community structure and trophic relationships at the recently discovered Concepción Methane Seep Area, Chile, ~36°S. *ICES Journal of Marine Science*. 2008;65(7):1102–1111.
48. Sibuet M, Olu K. Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins. *Deep Sea Research Part II: Tropical Studies in Oceanography*. 1988;45(1-3):517–567.
49. Sieburth JMCN, Smetacek V, Lenz J. Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fraction. *Limnology and Oceanography*. 1978;23(6):1256–1263.
50. Souza KG, Martins LR. Recursos minerais marinhos: pesquisa, lavra e beneficiamento. *Gravel*. 2008;6(1):99–124.
51. Spalding M, Ravilious C, Green E. In: *World Atlas of coral reefs*. Califórnia: University of California Press; 2001;416.
52. Teixeira VL. A cura que vem do mar Oceanos. *Scientific American Brasil*. 2009;4:78–82.
53. Tunnicliffe V, Juniper SK, Sibuet M. Reducing environments of the deepsea floor. In: Tyler PA, ed. *Ecosystems of the World 28: The Deep Sea*. Amsterdam, Holanda: Elsevier Press; 2003;582.
54. UN –UNITED NATIONS. *Convention on the law of the sea*. 1982. Disponível em: <http://www.un.org/depts/los/convention_agreements/convention_overview_convention.htm> Acesso: abril 2012.
55. UNEP. *Marine and coastal ecosystems and human wellbeing: A synthesis report based on the findings of the Millennium Ecosystem Assessment*. Kenya: Unep, 2006. 76 p.
56. Vallega A. In: *Sustainable ocean governance: a geographical perspective*. Nova York: Routledge; 2001;274.
57. WMO – *World meteorological organization. Climate, carbons and coral reefs*. WNO-1063. Genebra: Convention on Biological Diversity, 2010. 28 p.

CAPÍTULO 10

Interações bióticas e abióticas na paisagem: uma perspectiva eco-hidrológica

Walter De Paula Lima, Silvio Frosini De Barros Ferraz and Kátia Maria Paschoaletto Micchi De Barros Ferraz

O presente capítulo tem por objetivo apresentar elementos para o entendimento de como a alteração antrópica da paisagem pode afetar o ciclo hidrológico, os processos ecológicos e os serviços ambientais proporcionados pelos ecossistemas, que são fundamentais para a manutenção da vida. Como corolário, espera-se, também, contribuir para a análise consistente dos possíveis impactos ambientais resultantes do uso dos recursos naturais e da alteração da paisagem, fornecer elementos para o estabelecimento de estratégias sustentáveis de manejo e uso, bem como de medidas e ações corretivas ou de minimização de impactos ambientais.

10.1 Introdução

Com frequência, observa-se que a análise ambiental dos ecossistemas terrestres é realizada seguindo a **estrutura cartesiana convencional** de estudos separados do meio físico, biológico e socioeconômico, sem muita preocupação de imprimir um **enfoque interdisciplinar** ou, pelo menos, multidisciplinar ao estudo. A verdade, todavia, é que esses componentes não se encontram isolados na paisagem, mas se integram e desempenham funções que os definem. De fato, a vida depende do

meio físico. Ou seja, o meio físico proporciona o contexto e os limites de funcionamento do meio biológico, assim como controla a produtividade dos sistemas ecológicos. A forma e o funcionamento de todos os organismos biológicos, animais e vegetais, evoluíram em resposta às condições prevalecentes no meio físico, em termos de clima, geologia e geomorfologia.

Por sua vez, os organismos vivos também afetam o meio físico. A maioria dos vegetais terrestres, por exemplo, absorve a água do solo. Por seu turno, a quantidade de água que um determinado tipo de solo pode armazenar, principalmente em termos de sua disponibilidade para as plantas, depende de sua estrutura, a qual está condicionada ao tamanho e arranjo de suas partículas. As plantas também requerem significativa variedade de nutrientes, além do carbono e do oxigênio, disponíveis no solo. A quantidade e a disponibilidade desses nutrientes, que são absorvidos pelas raízes das plantas, variam muito na paisagem.

As plantas e os animais também se encontram em permanente interação com o meio físico na paisagem, por meio do processo de trocas gasosas, como é o caso da transpiração. A taxa de transpiração depende da disponibilidade de água, da temperatura relativa entre a superfície e o ar, assim como da pressão de vapor da atmosfera. Outros fatores climáticos, tais como a temperatura do ar, umidade relativa, chuvas, ventos e insolação afetam de forma interativa o meio biológico. A evaporação direta do solo e a transpiração das plantas, juntas denominadas como evapotranspiração, constituem processos que retiram a água armazenada no solo, que, por sua vez, é recomposta pelas chuvas. As chuvas, por sua vez, têm origem na água evapotranspirada pela superfície, assim fechando o ciclo hidrológico (Capítulo 3). O processo de evapotranspiração se relaciona de forma direta com o crescimento das plantas, ou seja, com a produtividade dos sistemas biológicos.

A dinâmica da paisagem, representada pelas interações entre os **componentes bióticos e abióticos** dos sistemas terrestres, depende fundamentalmente da água, em termos da regularidade e intensidade dos processos hidrológicos que compõem o ciclo da água na natureza. Estamos, indiretamente, nos referindo, desta maneira, à Eco-hidrologia, que pode ser definida como a ciência que procura descrever os mecanismos hidrológicos que dão suporte aos processos e padrões ecológicos (Rodriguez-Iturbe, 2000; Zalewski, 2000). Por essa razão, o enfoque eco-hidrológico de análise dos sistemas terrestres, que tem na conservação da água o seu elemento basilar, proporciona uma metodologia consistente para o entendimento da dinâmica da paisagem, do funcionamento dos sistemas terrestres e dos impactos ambientais do uso dos recursos naturais pelo homem. Esse enfoque é, por isso, fundamental para o planejamento sustentável do uso da terra, assim como para o correto entendimento das mudanças dos processos hidrológicos decorrentes das alterações da paisagem.

A aparente harmonia espontânea da natureza se caracteriza, na realidade, por mudanças constantes, em respostas aos padrões naturais de flutuações, assim como à ocorrência de ciclos ocasionais de perturbações. Dentro de um dado conjunto de condições do meio físico, podem ser distinguidas diferentes zonas climáticas. E dentro de cada zona climática, por sua vez, fatores geológicos e topográficos subdividem esse meio físico em porções ainda menores. As variações da rocha mãe são responsáveis pela diferenciação dos tipos de solos, fortalecendo, desta maneira, a heterogeneidade biótica. Este mosaico de heterogeneidade caracteriza a paisagem (Ricklefs, 1996).

A caracterização dos atributos do meio físico, assim como de sua variabilidade na paisagem, é fundamental para o estabelecimento de estratégias sustentáveis de

ALGUMAS PÁGINAS FORAM OMITIDAS

abastecimento, os problemas de contaminação tornaram-se aparentes. Atividades de remediação de aquíferos são extremamente caras e podem levar décadas ou mesmo séculos para a recuperação da qualidade original.

A evolução da contaminação de águas subterrâneas depende da geologia local, dos padrões de escoamento da água subterrânea, de processos físicos, químicos e biológicos em escala de poro e de molécula. A contaminação pode migrar rapidamente em solos arenosos, de alta condutividade, ou difundir lentamente em solos argilosos, de baixa condutividade. Alguns contaminantes são adsorvidos na superfície de partículas sólidas, deslocando-se pouco em relação à fonte de contaminação, enquanto outros, dissolvidos na água, podem migrar e afastar-se quilômetros da fonte, especialmente em aquíferos fraturados. Reações químicas ao longo do percurso podem remover um contaminante da água ou aumentar a concentração, de acordo com as condições geoquímicas do meio.

Contaminação de água subterrânea significa a adição de solutos dissolvidos em concentrações que tornem a água imprópria para consumo humano ou para qualquer ecossistema que dependa dessa água. A maioria das águas naturais contém alguma quantidade de substâncias geralmente reconhecidas como contaminantes. Por exemplo, um copo de água que bebemos contém pequenas concentrações de chumbo, arsênio ou alumínio. Na maioria dos casos, essas substâncias estão presentes em concentrações muito baixas, às vezes não detectáveis, e não representam um risco significativo.

Existe um consenso de que os profissionais responsáveis pelo gerenciamento e proteção dos recursos naturais, especialmente os Engenheiros Ambientais, devem estar conscientes dos problemas potenciais relacionados ao uso da água subterrânea. O conhecimento das fontes de contaminação da água subterrânea e dos principais mecanismos de transporte de contaminantes são pré-requisitos imprescindíveis na consecução desse treinamento.

12.2 Fontes de contaminação

Conforme visto no Capítulo 11, as fontes de contaminação apresentam-se em diferentes formas e dimensões, sendo divididas em pontuais ou difusas. A título de recordação, **fontes pontuais** são relativamente pequenas, mas podem dar origem a contaminações com elevadas concentrações de poluentes. Exemplos de fontes pontuais são vazamentos de tanques ou tubulações subterrâneos, fossas sépticas, lagoas de tratamento, aterros sanitários, drenos de indústrias ou de tanques de armazenamento de produtos químicos. Por outro lado, **fontes difusas** são maiores e distribuídas espacialmente. Exemplos de fontes difusas são pesticidas aplicados em áreas agrícolas, precipitação contaminada (chuva ácida) e escoamento superficial de rodovias ou áreas de estacionamento.

Frequentemente, os contaminantes são introduzidos no subsolo na forma de soluções aquosas, como os efluentes de fossas sépticas ou o chorume de aterros sanitários. Em alguns casos, a fonte de contaminação pode formar uma fase líquida imiscível em água, como gasolina ou solvente de limpeza. Esses líquidos, geralmente orgânicos, são conhecidos pelo acrônimo NAPL (*nonaqueous-phase líquid*, em português, fase líquida não miscível). NAPLs podem ser persistentes em subsuperfície e dissolver lentamente na água subterrânea, agindo como uma fonte pontual contínua durante vários anos.

A Tabela 12.1 apresenta a lista dos 20 contaminantes mais encontrados na água subterrânea próxima a áreas contaminadas.

Tabela 12.1

Contaminantes mais encontrados em água subterrânea

Posição	Composto	Fonte de contaminação
1	Tricloroetileno	Limpeza a seco, desengraxantes
2	Chumbo	Gasolina, mineração, manufatura
3	Tetracloroetileno	Limpeza a seco, desengraxantes
4	Benzeno	Gasolina, manufatura
5	Tolueno	Gasolina, manufatura
6	Cromo	Chapeamento de metal
7	Cloreto de metileno	Desengraxantes, solventes, removedores
8	Zinco	Manufatura, mineração
9	1,1,1 -Tricloroetano	Limpeza de plástico e metal
10	Arsênio	Mineração, manufatura
11	Clorofórmio	Solventes
12	1,1-Dicloroetano	Desengraxantes, solventes
13	1,2-Dicloroeteno, trans-	Subproduto de 1,1,1-Tricloroetano
14	Cádmio	Mineração, chapeamento
15	Manganês	Manufatura, mineração
16	Cobre	Manufatura, mineração
17	1,1-Dicloroeteno	Manufatura
18	Cloreto de vinil	Manufatura de plásticos
19	Bário	Manufatura, produção de energia
20	1,2-Dicloroetano	Desengraxantes, removedores

Fonte: Masters & Ela (2008)

12.2.1 Sistemas Sépticos

Sistemas sépticos são unidades de tratamento primário e disposição subsuperficial de águas residuárias largamente utilizadas em áreas rurais e aglomerações urbanas desprovidas de rede de coleta de esgoto. As águas residuárias contêm matéria orgânica, que alimenta a atividade microbiana presente no sistema. As reações de oxirredução nos tanques sépticos geralmente são anaeróbias, incluindo fermentação, geração de metano e redução de sulfato. Após

Material com direitos autorais

a remoção de sólidos por decantação e tratamento anaeróbio no tanque séptico, o efluente é direcionado a sumidouros que promovem a infiltração na zona não saturada do solo (Figura 12.1).

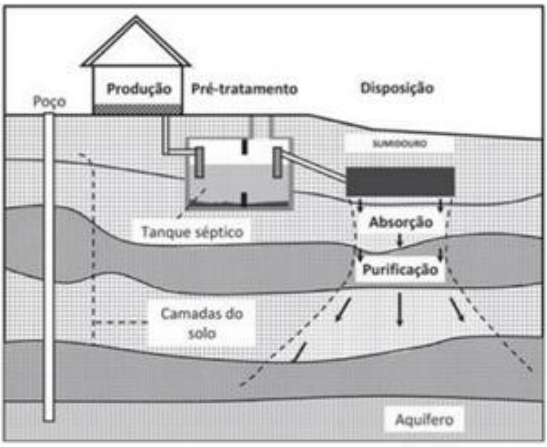

FIGURA 12.1 Esquema típico de fossa séptica, com o efluente infiltrado em sumidouro. Adaptado de http://www.aero-stream.com/septic-system-owners-manual.html.

O efluente do sistema séptico contém vírus e bactérias que podem tornar a água subterrânea uma importante via de disseminação de doenças provocadas por microrganismos patogênicos (Rohden et al., 2009). Dependendo das condições hidrogeológicas, esses microrganismos podem se mover a grandes velocidades, atingindo distâncias significativas do ponto de lançamento. Durante o transporte de microrganismos no meio poroso, eles são filtrados e adsorvidos, e o seu avanço é retardado em relação ao fluxo advectivo da água subterrânea. Em sedimentos finos (siltosos e argilosos), os microrganismos conseguem penetrar apenas alguns metros antes de sua degradação, apesar de poderem viver por muitos dias (ou até meses) abaixo do nível freático. Em sedimentos grosseiros (areias e cascalhos), os microrganismos oriundos de tanques sépticos podem ser transportados por dezenas ou centenas de metros. Nos meios fraturados, a velocidade de escoamento da água subterrânea é elevada e as distâncias de transporte podem atingir vários quilômetros. Esse aspecto é fundamental na delimitação das zonas de proteção de poços usados para o abastecimento público e que se situam nas proximidades de áreas contaminadas. Em geral, procura-se delimitar a zona de proteção de poços a

partir da determinação das isócronas de 50 dias, que correspondem ao período médio de sobrevida de bactérias na água subterrânea.

O efluente infiltrado apresenta significativas concentrações de compostos orgânicos, CO_2 e amônia (NH_4+). Na zona não saturada, existe oxigênio disponível e a respiração aeróbia e a nitrificação são os principais processos de tratamento complementar. As concentrações de compostos orgânicos e de amônia diminuem e a concentração de nitrato (NO_3^-) aumenta. Efluentes de sistemas sépticos podem facilmente apresentar concentrações na faixa de 20 mg/L a 70 mg/L (Fitts, 2002), excedendo o valor máximo permitido pela Portaria nº518/2004 do Ministério da Saúde (Brasil, 2004), que é de 10 mg/L, N-NO_3^-. Em vários sistemas sépticos, o nitrato é o contaminante mais preocupante, devido à sua mobilidade e estabilidade nos sistemas de águas subterrâneas. O exemplo mais conhecido no Brasil ocorre em Natal (RN). Devido à ausência de rede coletora na área urbana da cidade, fossas sépticas foram usadas como receptores de águas residuárias. Por causa da elevada condutividade hidráulica dos sedimentos arenosos, os efluentes com altas concentrações de nitrato foram transportados a grandes profundidades, contaminando as reservas de água subterrânea usadas para abastecimento público (Cabral et al., 2009).

Sistemas sépticos podem se tornar fontes de contaminação em áreas em que: 1) existe grande densidade de residências com sistemas sépticos; 2) a distância entre o sumidouro e a zona saturada é pequena; 3) o solo é altamente permeável (como cascalho ou areia grossa); 4) a superfície livre do aquífero livre encontra-se próxima à superfície do terreno. Áreas com alta densidade populacional não devem ser servidas por sistemas sépticos. Áreas com finas camadas de solo altamente permeável e aquífero livre também devem ser evitadas.

12.2.2 Disposição De Resíduos

A disposição de **resíduos domésticos, industriais e agrícolas** representa uma séria ameaça à qualidade das águas subterrâneas. A forma mais comum de remoção de resíduos urbanos, cinzas, resíduos de construção e demolição, lodos de estações de tratamento de água e esgotos é a disposição em aterros sanitários. O Capítulo 22 dedica-se integralmente à apresentação dos conceitos relacionados ao tratamento e à disposição final de resíduos sólidos. No passado, resíduos perigosos, tóxicos e radioativos eram dispostos sem controle no subsolo. Áreas de baixo valor econômico, como cavas de mineração, brejos e voçorocas eram usados para a disposição de resíduos sólidos. Até recentemente, resíduos urbanos eram dispostos em lixões ou aterros controlados, representando um grande risco de contaminação das águas subterrâneas. A precipitação que infiltra através do corpo de resíduos pode entrar em contato com líquidos presentes no resíduo ou solubilizar componentes dos resíduos sólidos. O resultado dessa mistura é um líquido conhecido como chorume. O chorume pode escoar verticalmente, atingindo a superfície livre do aquífero e originando a contaminação das águas subterrâneas. Se os resíduos são depositados abaixo da superfície livre, a água subterrânea em movimento pode solubilizar os contaminantes presentes, promovendo a contaminação.

Quando o chorume de um sistema de disposição de resíduos atinge o aquífero, forma uma pluma de contaminação que se espalha na direção de escoamento da água subterrânea. Em sedimentos mais permeáveis, a pluma de contaminação pode atingir alguns quilômetros de extensão. No entanto, afastando-se da fonte de

ALGUMAS PÁGINAS FORAM OMITIDAS

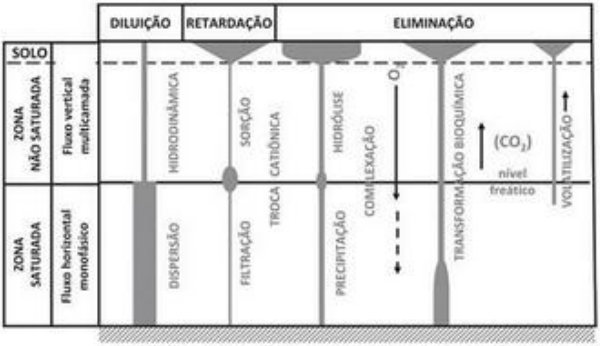

FIGURA 12.18 Representação esquemática dos processos de atenuação natural de contaminantes em água subterrânea. A espessura das linhas é proporcional à intensidade do processo. Fonte: Adaptado de Hirata & Fernandes (2008).

Revisão dos conceitos apresentados

Conforme apresentado, as possíveis fontes de contaminação de água subterrânea são variadas e extensas (Figura 12.19). A Tabela 12.4 apresenta uma compilação das principais fontes de risco para a contaminação de água subterrânea.

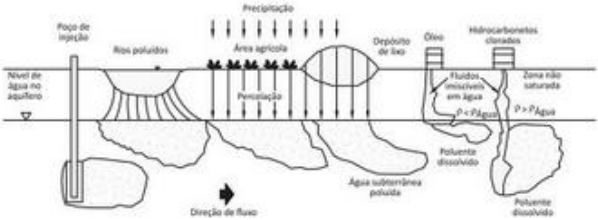

FIGURA 12.19 Principais vias de entrada de solutos em aquíferos. Fonte: Adaptado de Kinzelbach (1986).

Tabela 12.4

Fontes potenciais de contaminação de água subterrânea

Origem	Superficial	Subsuperficial
Municipal	Poluição do ar	Aterros sanitários
	Resíduos urbanos	Redes de esgoto
	Ruas e estacionamentos	
	Lodos de estações de tratamento de água e esgoto	
Industrial	Poluição do ar	Tubulações
	Químicos: armazenamento e derramamentos	Tanques de armazenamento
	Combustíveis: armazenamento e derramamentos	Resíduos industriais
	Pilhas de rejeitos de mineração	
Agrícola	Poluição do ar	Armazenamento subterrâneo
	Produtos químicos, pesticidas, fertilizantes	Tanques
	Dejetos animais	Poços mal construídos e abandonados
Doméstico	Poluição do ar	Sistemas sépticos
	Produtos químicos, pesticidas, fertilizantes	Poços mal construídos e abandonados
	Removedores, detergentes	
	Tintas, óleos, combustível	

Na Tabela 12.5, são listados os principais contaminantes encontrados em água subterrânea, associados às respectivas fontes.

Tabela 12.5

Fontes de contaminação e principais contaminantes em águas subterrâneas

FONTE	TIPO DE CONTAMINANTE
Atividade agrícola	Nitrato, amônio, pesticidas, microrganismos
Saneamento *in situ*	Nitrato, hidrocarbonetos halogenados, microrganismos
Garagens e postos de serviço	Hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, benzeno, fenóis
Disposição de resíduos	Amônio, salinidade, hidrocarbonetos halogenados, metais pesados
Indústrias metalúrgicas	Tricloroetileno, tetracloroetileno, hidrocarbonetos halogenados, fenóis, metais pesados, cianureto
Pintura e esmaltação	Alquilbenzeno, hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, metais pesados, tetracloroetileno
Indústrias de madeira	Hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, pentaclorofenol
Limpeza a seco	Tricloroetileno, tetracloroetileno
Indústrias de pesticida	Hidrocarbonetos halogenados, fenóis, arsênico
Despejo de lodo de esgoto	Nitrato, amônio, hidrocarbonetos halogenados, chumbo, zinco
Curtumes	Hidrocarbonetos halogenados, fenóis, cromo
Indústria de gás e petróleo	Hidrocarbonetos aromáticos, salinidade
Mineração	Acidez, metais pesados, ferro, sulfatos, elementos radioativos

Fonte: Foster et al. (2006)

Os principais mecanismos responsáveis pelo transporte de contaminantes (ou solutos) em águas subterrâneas são resumidos na Tabela 12.6.

Material com direito autoral

Tabela 12.6

Principais mecanismos de transporte de contaminantes em água subterrânea

MECANISMO	DESCRIÇÃO
Advecção	Transporte de solutos pelo fluido em movimento
Difusão molecular	Deslocamento de solutos no fluido resultante do movimento Browniano das moléculas
Dispersão mecânica	Espalhamento de solutos no aquífero, em consequência de diferenças de velocidade do fluido nos poros
Adsorção/absorção	Adesão física ou química de soluto na superfície dos grãos do substrato rochoso
Decaimento	Redução da concentração de soluto no fluido, por processos radioativos, químicos ou biológicos

Sugestões de leitura complementar

Este capítulo apresentou as principais fontes de contaminação de águas subterrâneas e os mecanismos de transportes de solutos no aquífero. Evidentemente, esse conteúdo é importante para o desenvolvimento de ações e mecanismos para a proteção dos recursos hídricos subterrâneos. No entanto, uma vez ocorrida uma contaminação, é necessário desenvolver ações para a recuperação da área contaminada.

Aspectos relacionados a processos, tecnologias e monitoramento de ações de remediação são apresentados nos Capítulos 23 e 24. Em caso de captação de água subterrânea contaminada, faz-se necessária a adequação dessa fonte aos parâmetros de potabilidade estabelecidos na legislação. As principais tecnologias e critérios de escolha de sistemas de tratamento são detalhadamente expostos no Capítulo 17.

O conteúdo apresentado neste capítulo não esgota o tema da contaminação de águas subterrâneas. Para cada fonte apresentada, é possível aprofundar a leitura e o entendimento dos riscos e processos associados. Nesse sentido, recomenda-se a leitura de alguns textos complementares:

- BEAR, J.; CHENG, A. H. D. *Modeling groundwater flow and contaminant transport*. Springer. 834 p., 2010.
- BORMA, L. S.; SOARES, P. S. M. Drenagem ácida e gestão de resíduos sólidos de mineração, In: TRINDADE, R. B. E.; BARBOSA FILHO, O. (organizadores). *Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. 322 p.
- FETTER, C.W. *Contaminant hydrogeology*. Illinois: Waveland Press, 1999. 458 p.
- MANOEL FILHO, J. Contaminação das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F.A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A.

ALGUMAS PÁGINAS FORAM OMITIDAS

e cria locais que passam a ser conhecidos por **zonas mortas**.

ZONAS MORTAS: OS OCEANOS JÁ POSSUEM 150 ZONAS MORTAS

O baixo nível de oxigênio na água, devido ao despejo de fertilizantes agrícolas e esgotos nos rios, trazidos para os mares e oceanos, acarreta sérios danos à natureza

De acordo com relatório divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), cerca de 150 zonas de mares e oceanos já estão mortas. O elevado nível de fósforo e nitrogênio – componentes de fertilizantes agrícolas e esgotos domésticos e industriais – mata peixes, crustáceos e outras espécies que vivem nos oceanos. Cada zona morta pode chegar a 70 mil km² de área. Assim, a falta de espécies nos oceanos e mares acarreta também desemprego de pescadores e, em consequência, fome para muitas famílias. Cerca de 3,5 bilhões de pessoas dependem da pesca como a sua principal fonte de renda e alimento. Apenas 0,5% da zona marítima é protegida, contra 12% da zona terrestre. Este dado preocupa os órgãos de preservação ambiental.

Fonte: GT Águas (2012).

13.2.3 Danos Às Comunidades Ribeirinhas

A ocupação desordenada no espaço litorâneo, além de gerar os impactos já mencionados anteriormente, traz à luz problemas e conflitos de natureza social, ambiental e econômica. As comunidades ribeirinhas tradicionais, cujo modo de vida já faz parte da dinâmica ambiental da zona costeira (Figura 13.9), passam por fortes pressões que as levam a abandonar seus locais de moradia, reflexo da valorização imobiliária crescente do litoral. Assim, a especulação imobiliária expropria a posse da terra e de outros recursos utilizados pelas populações tradicionais que, ao longo do tempo, se tornam, quando muito, empregados com baixa qualificação e remuneração de residências de veraneio e hotéis.

FIGURA 13.9 Foto de pescador remando em canoa no litoral norte de São Paulo. Foto: Aline Borges do Carmo.

Ainda que alguns desses habitantes insistam em permanecer junto ao litoral, suas famílias acabam tendo a vida transformada pelas mudanças provenientes do crescimento da região e por novos valores assimilados por meio do turismo e da mídia. Se, por um lado, o atendimento às exigências do mercado pode ser visto como uma solução para o isolamento destas comunidades, ao mesmo tempo se verifica um processo de degradação do modo de vida tradicional, agravado pelo choque cultural provocado pela chegada de uma elite abastada, com valores que contrastam com a relativa simplicidade material da vida destas comunidades.

Assim, para muitos que sonhavam melhorar de vida com a "chegada do progresso", resta, quando muito, uma inserção em postos de trabalho para prestação de serviços, em bases formais ou informais, que nada tem a ver com as ocupações tradicionais das populações ribeirinhas. Isso contribui para, além da desagregação das relações sociais, a ocorrência de uma modificação da relação da população com o ambiente. Isso não ocorre de forma isenta de conflito, em particular devido ao cerceamento do acesso e uso dos recursos naturais em áreas de uso comunitário tradicional, às quais a população local possuía livre acesso.

O turismo de massa praticado atualmente demanda grandes estruturas, não compatíveis com modelos de um turismo sustentável, baseado no respeito às peculiaridades ambientais e culturais de cada região. Mais do que isso, a maior parte do mercado consumidor do turismo anseia por um ambiente artificial, com inserções da cultura local de forma estereotipada e "segura", sem contato com as peculiaridades da realidade local. Dessa forma, poderia ser proposto outro tipo de turismo, de cunho mais ecocêntrico, com empreendimentos de menor porte, mais próximos da realidade da população tradicional e que valorizassem a cultura dessa população, o que, certamente, diminuiria o impacto socioambiental.

Além disso, torna-se cada vez mais necessária uma maior participação social nas decisões governamentais sobre os destinos da região costeira como ferramenta

Material com direitos autorais

para diminuir os problemas sociais. Isso, aliado a programas de educação e sensibilização ambiental, pode ser considerado como uma boa tentativa para garantir subsídios para decisões e atitudes ambientalmente corretas. Para que isso ocorra, são necessárias ações educativas e de conscientização da população com relação aos processos e políticas públicas em curso, assim como por meio de mecanismos de participação efetiva por parte dos governos, da sociedade e da iniciativa privada, ou seja, um processo pleno de **governança costeira**.

13.3 Uso de recursos vivos

A vida nos oceanos tem sido impactada por atividades humanas de diversas maneiras. A pesca é a principal ação antropogênica direta que afeta a estrutura, função e a biodiversidade dos oceanos. Uma das consequências globais da sobrepesca, por exemplo, é a diminuição do nível trófico médio das teias tróficas marinhas, o que implica mudanças em todo o ecossistema. A pesca predatória (que utiliza métodos destrutivos) também é um fator importante de perda de biodiversidade em águas rasas, pois o arrasto praticado acaba aniquilando hábitats bentônicos (que ocupam o fundo oceânico, como visto no Capítulo 9).

Locais importantes para a biodiversidade marinha têm passado por sérios impactos devido à conversão de áreas de manguezal em empreendimentos para turismo ou carcinicultura. Devido à importância desses locais para a reprodução de espécies para a pesca, os custos econômicos da conversão desses ecossistemas são significativos e frequentemente excedem os benefícios. Apesar disso, muitas vezes esta conversão acontece porque o valor perdido em termos de serviços ecossistêmicos é indireto, não sendo internalizado aos custos dos empreendimentos causadores do impacto. Muitos aspectos do uso abusivo de recursos vivos oceânicos acabam tendo impactos diretos na vida humana, sobretudo em comunidades socialmente mais vulneráveis. O declínio das populações de peixes, por exemplo, tem implicações importantes para os pescadores artesanais e comunidades que dependem do peixe como uma importante fonte de proteína e de renda.

13.3.1 Produtividade De Áreas Pesqueiras

Peixes são muito importantes na alimentação humana. Fornecem cerca de 16% da proteína consumida no mundo, sendo uma fonte especialmente importante em nações em desenvolvimento. A pesca é uma atividade internacional, porém alguns países, como China, Japão, Chile, Rússia e Estados Unidos, dominam o mercado mundial. Para completar este cenário, a pesca comercial concentra-se em relativamente poucas áreas no mundo. As plataformas continentais, que representam apenas 10% da área dos oceanos, fornecem mais de 90% do estoque pesqueiro, uma vez que manguezais e estuários representam berçários e fontes de alimento para os peixes. Recursos pesqueiros são abundantes sobretudo nas chamadas áreas de ressurgência, fenômeno físico que ocorre em determinados pontos do oceano nos quais águas profundas e geralmente mais frias emergem, trazendo consigo muitos nutrientes, conforme visto no Capítulo 9.

A produção pesqueira mundial tem aumentado consideravelmente desde meados do século XX, tendo mais que dobrado entre 1960 e 1980, passando de 35 para 72 milhões de toneladas em apenas 20 anos. Depois desse período, houve um

aumento da produção até a marca de 132 milhões de toneladas e, em seguida, parece ter havido uma estagnação. Esse acréscimo foi devido aos avanços tecnológicos, ao aumento no número de barcos pesqueiros e também ao desenvolvimento da aquicultura. É uma realidade da pesca moderna o fato de a pesca industrial ser dominada por embarcações de pesca que consistem em verdadeiras fábricas flutuantes. Navios gigantes, que usam equipamentos sofisticados na busca por peixes, podem localizar cardumes com precisão, de modo rápido e exato, com instalações de processamento e embalagem do pescado, enormes sistemas de congelamento e poderosos motores para arrastar os aparelhos de pesca pelo fundo do oceano.

Evidências sugerindo o declínio das populações de peixes explorados surgiram quando as taxas de captura, e consequentemente de lucro, começaram a cair. Se a exploração se der em taxas que ultrapassem a capacidade de os estoques se recuperarem, o resultado será a chamada sobrepesca, seguida do consequente colapso na produção. Uma definição para sobrepesca seria a retirada de peixes e outros grupos-alvo (moluscos, crustáceos) em uma taxa superior àquela que garanta a manutenção dos estoques pesqueiros.

As populações de predadores de topo, indicadores-chave da saúde dos ecossistemas, estão diminuindo em um ritmo acelerado. Cerca de 90% dos peixes de grande porte, como o atum, o peixe-espada, o bacalhau e os cações, foram dizimados desde que a pesca industrial de grande escala se iniciou, indicando que este tipo de exploração não tem sido sustentável. O desaparecimento dessas espécies de predadores de topo pode provocar alterações drásticas nos ecossistemas, com a substituição de muitos dos peixes de grande porte e alto valor comercial por espécies menores.

Existe ainda a falsa impressão de que somente a pesca industrial é predatória. Em certos cenários, a pesca artesanal pode ser igualmente destrutiva. A diferença é que na pesca artesanal, os pescadores tendem a se preocupar com a sustentabilidade do recurso por ser uma de suas únicas fontes de renda e/ou alimento. O ritmo de retirada deste tipo de pesca também acaba sendo menor devido aos métodos utilizados. Um problema relativamente recente encontrado nas comunidades pesqueiras artesanais tem sido a grande demanda pelo pescado, seja pelo crescimento populacional em regiões metropolitanas, seja em regiões turísticas em alta temporada e em períodos de férias. Essa demanda extra, muitas vezes, leva o pescador artesanal a realizar práticas não sustentáveis, como pescar além da capacidade de recuperação do estoque, pescar indivíduos jovens antes da idade de reprodução ou a utilizar técnicas proibidas por lei, como arrastos com rede de malha fina, explosivos, além de pescar em épocas proibidas.

Uma alternativa apontada como mais sustentável para a produção pesqueira é a aquicultura. Entretanto, é necessário ter cautela, pois embora a aquicultura apresente muitos benefícios por não diminuir as populações naturais de recursos pesqueiros, sendo uma grande promessa para o abastecimento de alimentos, ela também pode ser a causadora de outros problemas ambientais. Tanto viveiros como a criação em tanques-rede mantidos em águas rasas podem liberar ao oceano matéria orgânica e produtos químicos, assim como nutrientes e antibióticos, poluindo ambientes locais. Em algumas situações, a aquicultura pode, ainda, reduzir a diversidade biológica. Esta é uma preocupação com o salmão cultivado no noroeste do Pacífico, onde linhagens genéticas não nativas são cultivadas e algumas são capazes de se misturar com as populações selvagens. Um outro exemplo refere-se ao cultivo do camarão exótico (*Litopenaeus vannamei*) em áreas de manguezal no norte e nordeste brasileiro. Outro problema

do uso de espécies não nativas na aquicultura é a transmissão de patógenos exóticos para espécies residentes. Estes problemas ilustram a necessidade de pesquisas na área para o desenvolvimento de métodos mais seguros, que levem em consideração os efeitos ambientais desta prática.

> *Compare os impactos ambientais potencialmente gerados pelas atividades pesqueiras e pela aquicultura. Em quais casos a aquicultura seria preferível à atividade pesqueira? E o contrário?*

13.4 Uso de recursos não vivos

Conforme introduzido no Capítulo 9, diversos recursos não vivos de mares e oceanos são explorados pelos seres humanos, seja de maneira direta (como a extração de petróleo e derivados do fundo do mar ou a extração do sal marinho), seja de maneira indireta, por meio da utilização destes ambientes para a disposição de resíduos, de forma intencional ou não. Dependendo de como esses recursos são explorados, impactos podem ser inevitáveis. Outros tipos de poluição, além dos abordados anteriormente neste capítulo, como a nuclear, a térmica e a sonora, também afetam a vida nos oceanos. Usinas nucleares podem, além de gerar resíduos radioativos, lançar a água utilizada para resfriamento do reator ao oceano em uma temperatura bastante superior à das águas circundantes, causando a morte de seres vivos pouco tolerantes a variações térmicas. A poluição sonora, causada por embarcações e pela pesquisa sísmica de poços de petróleo e gás, tem causado impactos sobre populações de animais que utilizam ondas sonoras na comunicação e localização, como golfinhos e baleias. Além disso, a própria instalação de equipamentos necessários para a exploração de recursos não vivos, seja na costa, seja no meio do oceano, acarreta inevitavelmente impactos sobre o ambiente. Esses impactos, todavia, podem ser minimizados com a utilização de novas tecnologias, gerenciamento adequado e boas práticas de planejamento e licenciamento ambiental.

13.4.1 Derrames De Petróleo E Derivados

Quem já não viu fotos ou vídeos de animais selvagens cobertos de preto após um derrame de petróleo? Normalmente, são fotos de aves, animais cujo apelo sentimental costuma ser maior e, por isso, são mais explorados pela mídia. A maioria das pessoas não imagina que não apenas estes animais são atingidos em derramamentos de petróleo. Outros tipos de animais, como mamíferos e tartarugas marinhas, também podem sofrer os efeitos de um acidente deste tipo. E até mesmo animais menores e seres vivos menos carismáticos, bem como diversos processos biológicos, são afetados severamente mesmo com pequenos derrames de petróleo, como os que ocorrem quando barcos lavam seus tanques e lançam este efluente diretamente no mar. Quando o óleo entra em contato com a água do mar, vários processos ocorrem, tanto de natureza física quanto química e biológica. A mancha de óleo move-se e expande e processos ambientais vão alterando suas

ALGUMAS PÁGINAS FORAM OMITIDAS

considerarem a localização da atividade.

As normas relacionadas à Avaliação do Ciclo de Vida indicam seus princípios e estrutura metodológica (ISO 14.040:2006; NBR ISO 14.040: 2009), os requisitos e orientações (ISO 14.044:2006; NBR ISO 14.044:2009) e alguns exemplos (ISO/TR 14.047:2003 e ISO/TR 14.049:2000) e formatação requerida para a documentação dos dados (ISO/TS 14.048:2002). Essa técnica será mais explorada no item relacionado às aplicações da gestão ambiental no ciclo de vida do produto.

As normas referentes aos gases de aquecimento global relacionam-se às especificações com guia para a quantificação, monitoramento, validação, verificação e relatório das emissões e sequestros de carbono (ISO 14.064:2006; NBR ISO 14.064:2007, partes 1, 2 e 3), além dos requisitos da validação e verificação (ISO 14.065:2007) e das equipes (ISO 14.066:2011).

Além dessas normas, as quais estão relacionadas aos subcomitês específicos da área de gestão ambiental da ISO, há outras normas, relatórios técnicos e guias informativos. Entre eles, há a norma de comunicação ambiental (ISO 14.063:2006; NBR ISO 14.063:2009), a qual pode ser usada para subsidiar o desenvolvimento de relatórios ambientais, pois apresenta diretrizes e exemplos.

A integração dos aspectos ambientais no processo de desenvolvimento de produto é indicada por um relatório técnico (ISO/TR 14.062:2002; ABNT ISO/TR 14.062:2004) e nos padrões do produto por um guia (ISO *Guide* 64:2008; ABNT ISO GUIA 64:2010). Esse tema será mais explorado no item relacionado às aplicações da gestão ambiental no ciclo de vida do produto.

A contabilidade dos custos do fluxo de material é dada pela ISO 14.051:2011 e os termos e definições, ou seja, o vocabulário, pela ISO 14.050:2009/NBR ISO 14.050:2004.

A série ISO 14.000 foi desenvolvida para ser implementada de acordo com o ciclo *Plan, Do, Check, Act (PDCA)*. Uma norma que busca organizar um sistema de gestão baseado neste ciclo, em busca da melhoria contínua, é a ISO 14.001.

30.3.1 Sistema De Gestão Ambiental – ISO 14.001

Um dos sistemas de gestão ambiental mundialmente conhecido é o da ISO. Denominado Sistema de Gestão Ambiental (SGA), ele é a parte responsável pelas etapas de desenvolvimento, implementação, execução, avaliação e manutenção da política ambiental da companhia (ABNT, 2004). Segundo ISO (2009), a ISO 14001:2004 está implementada em 200 mil organizações espalhadas por 155 países.

"*O SGA é a parte de um sistema de gestão de uma organização utilizada para desenvolver e implementar sua política ambiental e para gerenciar seus aspectos ambientais. É um conjunto de elementos inter-relacionados utilizados para estabelecer a política ambiental e os objetivos e para atingir esses objetivos. Um sistema de gestão inclui estrutura organizacional, atividades de planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos*" (ABNT, 2004).

Para efeito de certificação, a organização deve estabelecer, documentar, implementar, manter e continuamente melhorar um SGA em conformidade com os requisitos descritos na seção 4 da NBR ISO 14001:2004 (ABNT, 2004), os quais são: **política ambiental; planejamento**, que envolve os aspectos ambientais, os requisitos legais e outros; os objetivos, metas e programas; a **implementação** e **operação**, que envolvem recursos, funções, responsabilidades e autoridades, competência, treinamento, conscientização, comunicação,

ALGUMAS PÁGINAS FORAM OMITIDAS

processo ou para outras aplicações na companhia.

- **Geração de resíduos úteis a outros processos.** Considerar a possibilidade de transformar resíduos em matérias-primas úteis a serem utilizadas em outras empresas. Na ecologia industrial, isso se denomina simbiose industrial e pode ser planejado nos distritos industriais, transformando-os em ecoparques industriais.
- • **Modificação do produto.** Modificar as características do produto para minimizar os seus impactos durante o ciclo de vida, desde a extração e beneficiamento da matéria-prima, a produção, o uso, a reciclagem, reúso ou remanufatura, até a disposição final. Isso é conhecido como projeto para o ambiente ou *ecodesign* e será visto no próximo item deste capítulo.

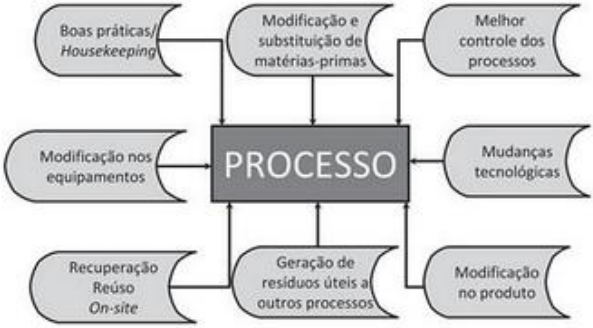

FIGURA 30.6 Práticas utilizadas para a geração de opções de P+L.
Fonte: Adaptado de UNEP (2004).

CASOS DE P+L

Empresa: Robert Bosch Ltda.

A atividade principal da empresa é a fabricação de material elétrico para veículos, aparelhos e ferramentas elétricas. A iminência da expiração da vida útil dos equipamentos de abastecimento de ar comprimido com compressores e secadores de ar e o alto custo para sua reforma justificaram a busca de alternativas para sua substituição. Foi realizada aquisição de equipamentos mais modernos, com foco na redução do consumo de energia elétrica e com sistema de secagem do ar isentos de gases refrigerantes. Um sistema de supervisão automático foi

propostas. Além disso, o programa se mantém baseado no ciclo PDCA, reiniciando-se na busca da melhoria contínua.

Como indicado, a P+L pode ser utilizada de forma complementar ao SGA, embora sejam procedimentos independentes. Por fim, cabe ressaltar que, embora a P+L aborde de forma pioneira o conceito do ciclo de vida, o que se verifica, frente ao seu emprego, é que se trata de uma estratégia de gerenciamento ambiental voltada, prioritariamente, ao processo de produção. A P+L, no entanto, representa a transição para aquelas estratégias voltadas ao ciclo de vida dos produtos.

30.5 Gestão do ciclo de vida

A gestão do ciclo de vida é, atualmente, o modelo mais sistêmico de buscar a melhoria ambiental relacionado à produção e ao consumo de produtos.

Do ponto de vista ambiental, abordagens ao ciclo de vida de produtos justificam-se pela natureza da relação entre produtos e impactos ambientais. Embora os produtos (bens e serviços) guardem estreita relação com a qualidade de vida de que usufruímos, as crescentes taxas com que são produzidos e consumidos estão nas origens da maior parte da poluição e esgotamento dos recursos naturais causados pela humanidade (Comissão das Comunidades Europeias, 2001).

Uma vez que o impacto ambiental de um produto é determinado pela soma dos impactos ambientais observados ao longo das fases de seu ciclo de vida (Baumann et al., 2002; Nielsen & Wenzel, 2002), somente considerando o ciclo de vida dos produtos pode-se caminhar em direção à conciliação entre qualidade de vida e preservação ambiental, elementos essenciais ao desenvolvimento sustentável. Isso é ratificado por Unep (2008), que considerou que o desenvolvimento sustentável pode ser promovido a partir de três estratégias:

i) **Desmaterialização.** Enfoca a necessidade e a funcionalidade, ao invés do bem físico em si.

ii) **Gestão do ciclo de vida.** É um sistema de gestão que integra práticas e conceitos sustentáveis e repassa as informações relevantes às partes interessadas para a tomada de decisão ser em prol do menor impacto ambiental do produto em todas as fases do ciclo de vida (Figura 30.7).

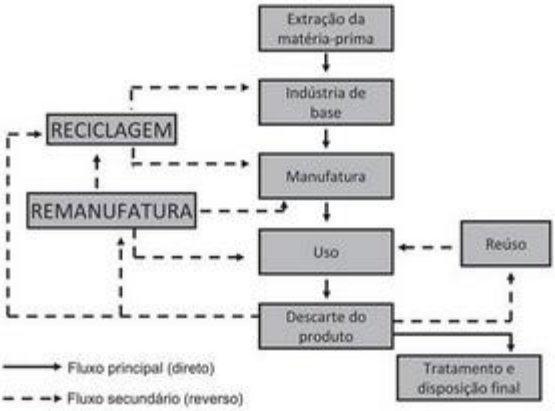

FIGURA 30.7 Ciclo de vida de um produto segundo o fluxo de materiais.
Fonte: Adaptado de Guelere Filho et al. (2009).

iii) **Sistema produto-serviço.** Consiste no desenvolvimento de uma mistura comerciável de bens e serviços que, em conjunto, são capazes de atender às necessidades do cliente, com menor impacto ambiental.

A Figura 30.7 mostra um esquema do ciclo de vida de um produto sob a ótica do fluxo de materiais (direto e reverso), com algumas alternativas complementares para o fim de vida do produto (reúso, remanufatura e reciclagem). Na gestão ambiental baseada no ciclo de vida do produto, são fundamentais as definições de soluções para o fim de vida ambientalmente correto do produto. A remanufatura, em muitos casos, pode ser vista como uma boa opção de fechamento do ciclo de vida dos produtos, pois se trata de um processo no qual produtos usados são restaurados à condição de novos, possuindo a mesma função, garantia e qualidade fornecidas pelo fabricante original. As partes que não podem ser reutilizadas ou remanufaturadas podem seguir para a reciclagem.

Esta gestão após o uso do produto pode promover o retorno dos materiais e produtos e o desenvolvimento de serviços, fechando-se o ciclo de vida do produto e trazendo oportunidades de novas formas de negócios, como o *Product Service System – PSS*, um sistema que integra o bem físico com o serviço, buscando, no limite, a desmaterialização do produto. Portanto, a gestão do ciclo de vida pode incorporar as outras duas estratégias citadas anteriormente por Unep (2008) por ser baseada em métodos criativos e integrados que permitem, à organização, a melhoria contínua do ciclo de vida de seu bem e/ou serviço.

A Gestão do Ciclo de Vida (GCV) ou *Life Cycle Management* (LCM) é um