



CICLO AMBIENTAL DA ÁGUA

da chuva à gestão

Organização

DIRCEU D'ALKMIN TELLES

Blucher

FAT FUNDAÇÃO
DE APOIO À
TECNOLOGIA

**CICLO
AMBIENTAL
DA ÁGUA
DA CHUVA À GESTÃO**

Blucher

**CICLO
AMBIENTAL
DA ÁGUA
DA CHUVA À GESTÃO**

Dirceu D'Alkmin Telles
ORGANIZADOR

Josué Souza de Góis
COLABORADOR

Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão
© 2010 Dirceu D'Alkmin Telles
1ª edição - 2013
Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-012 - São Paulo - SP - Brasil
Tel.: 55 11 3078-5366
contato@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem
autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

FICHA CATALOGRÁFICA

Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão / Dirceu
D'Alkmin Telles (Coordenador); Josué Souza de Góis
(Colaborador). – São Paulo: Blucher: Schneider, 2013.

Vários autores
Bibliografia
ISBN 978-85-212-0694-1

1. Água – Conservação 2. Água – Distribuição 3. Ciclo
hídrico 4. Recursos hídricos 5. Abastecimento de água
I. Telles, Dirceu D'Alkmin II. Góis, Josué Souza de

12-0169

CDD-333.91

Índices para catálogo sistemático:

1. Água – Conservação	333.91
2. Recursos hídricos	333.91

Autores

Alexandre Martinelli

Biólogo e mestre em Biologia Celular e Molecular pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Atuou como professor de graduação e pós-graduação da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP). Foi funcionário da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e atualmente presta consultoria ambiental para diversas empresas.

Ana Paula Pereira da Silveira

Mestre em Tecnologias Ambientais pelo Centro Paula Souza (CEETEPS). Tecnóloga em Hidráulica e Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP) e Bióloga formada pela Fundação Santo André (FSA). Auxiliar docente do Laboratório de Saneamento Ambiental e Química (LABSAN – FATEC-SP) desde 2009. Atuação em manejo de animais silvestres em cativeiro, toxicologia animal e análises de água e esgoto.

Ana Paula Zubiaurre Brites

Engenheira civil e mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), doutora em Ciências na área de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP). É engenheira da Fundação do Centro Tecnológico de Hidráulica da USP. Tem experiência nas áreas de: qualidade da água, resíduos sólidos, drenagem urbana, carga difusa e gestão de recursos hídricos.

Antônio Félix Domingues

Engenheiro Agrônomo pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz” da Universidade de São Paulo (ESALQ-USP). Foi Secretário de Agricultura e Abastecimento (1990/1991) e de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras, Presidente do Conselho de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (1994) e atualmente é Coordenador da Agência Nacional de Águas. Publicou *Comitês de bacias hidrográficas: uma revolução conceitual* (Editora Iqual, 2002), *A cobrança pelo uso da água na agricultura* (Editora Iqual, 2004), *Águas doces do Brasil* (Editora Escrituras, 2006) e *A gestão*

dos recursos hídricos e a mineração (Editora Escrituras, 2006).

Antonio Manoel dos Santos Oliveira

Geólogo, mestre e doutor pela Universidade de São Paulo (USP). Foi pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e é atualmente professor do mestrado em Análise Geoambiental na Universidade Guarulhos. Dedicou-se à Geologia Ambiental e de Engenharia, especialmente a pesquisas sobre o Tecnógeno ou Antropoceno, tendo como principais áreas de atuação o diagnóstico, a prevenção e a correção dos processos geológicos superficiais de erosão, movimentos de massa e assoreamento, manifestados pelo uso do solo.

Ariovaldo Nuvolari

Tecnólogo pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP), doutor em Saneamento (FEC-UNICAMP), Professor de graduação e pós-graduação (FATEC-SP), com atuação em Engenharia Civil em empresas mistas e privadas: THEMAG Engenharia Ltda, Paulo Abib Engenharia S/A, SEMASA e PETROBRÁS.

Augusto José Pereira Filho

Graduação em Meteorologia, mestrado em Meteorologia e Livre-docência em Meteorologia pela Universidade de São Paulo (USP). Doutorado em Meteorologia pela *University of Oklahoma*. Professor Associado do departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG USP), além de desenvolver pesquisa e ensino na disciplina de Sistema de Previsão em Hidrometeorologia. Foi Diretor Profissional e Vice-Presidente da Sociedade Brasileira de Meteorologia (SBMET), Presidente da Comissão da PEC da Meteorologia e Representante do MEC na Comissão de Meteorologia, Climatologia e Hidrologia. Membro do GT de Previsão a Curtíssimo Prazo da Organização Meteorológica Mundial (2003-2012).

Cláudia Cristina dos Santos

Engenheira Civil formada pela Universidade do Vale do Paraíba, doutora em Engenharia Civil pela Escola Poli-

técnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), pós-graduada em Engenharia de Controle de Poluição Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP. Atua na área de sensoriamento remoto no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Cristianny Villela Teixeira

Bióloga (1987), mestre em Ciências pela Universidade de São Paulo (1995), doutora em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista Rio Claro (2000). Especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas (ANA) e assessora técnica na Coordenação de Articulação e Comunicação da ANA, composta pelas Assessorias Internacional, Parlamentar e de Comunicação Social.

Dirceu D'Alkmin Telles

Engenheiro, mestre e doutor pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP). Professor do Programa de Pós-Graduação do Centro Paula Souza (CEETEPS). Foi Presidente da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (ABID), Professor e Diretor da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP), Coordenador de Irrigação do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e Professor do Programa de Pós-Graduação da Escola Politécnica – USP. Organizou e escreveu livros e capítulos nas seguintes áreas: reúso da água, agricultura irrigada, aproveitamento de esgotos sanitários em irrigação, elaboração de projetos de irrigação e matemática com aplicação tecnológica.

Elisabeth Pelosi Teixeira

Doutora em Ciências Biológicas (Microbiologia) pela Universidade de São Paulo (USP). Mestre em Ciências Biológicas (Imunologia) pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Bacharel em Ciências Farmacêuticas pela Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP - Araraquara). Ministra as disciplinas de Microbiologia Básica e Microbiologia Aplicada no Curso de Tecnologia em Sistemas Biomédicos da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP). É docente do Programa de Mestrado Profissional do Centro Paula Souza (CEETEPS). Sua principal linha de pesquisa é voltada para Saúde e Meio Ambiente, especialmente aplicada ao gerenciamento de resíduos de saúde, qualidade aplicada ao ambiente e à tecnologia da saúde, e segurança do trabalho e saúde ocupacional.

Fábio Campos

Biólogo pela Universidade Camilo Castelo Branco (Unicastelo), mestre em Engenharia Sanitária pela Escola

Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), doutorando em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da USP. Técnico de Laboratório III da Escola Politécnica da USP e professor da disciplina de Biologia na Rede Estadual.

Gerônimo Albuquerque Rocha

Geólogo, graduado pela Escola de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Foi funcionário do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) de São Paulo, dedicando-se à Hidrogeologia e ao planejamento e gestão de recursos hídricos. A partir de 1992, atuou na construção do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, tendo coordenado a Câmara Técnica de Águas Subterrâneas. É autor de *Um copo d'Água* (Editora Unisinos, 2003). Foi coordenador geral do projeto “Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de S.Paulo”.

Gerson Salviano de Almeida Filho

Graduado em Tecnologia Civil pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) em 1988, mestrado em Engenharia Civil, na área de Recursos Hídricos, em 2000, e doutorando em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Atualmente é pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo, Vice-Presidente da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE), professor do curso de Especialização em Tecnologias Ambientais na Faculdade de Tecnologias de São Paulo (FATEC), na disciplina de Hidrologia Ambiental.

José Augusto Rocha Mendes

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Foi Coordenador de Obras da Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras e Diretor do Grupo de Informações da Coordenadoria de Recursos Hídricos da Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento no Governo do Estado de São Paulo. Foi professor de diversos cursos na área de construção civil e meio ambiente, além de professor na área de Engenharia Sanitária do Departamento de Hidráulica e Saneamento Ambiental da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC) e Engenheiro do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE).

Josué Souza de Góis

Tecnólogo em Obras Hidráulicas e Edifícios pela Faculdade de Tecnologia (FATEC). Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia São Paulo (FESP). Especialista

em Tecnologias Ambientais pela FATEC/SP. Mestre em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da USP (Poli-USP). Professor Pleno II da FATEC/SP desde 2003. Consultor nas áreas de hidráulica e hidrologia de várias empresas projetistas em projetos de infraestrutura urbana, implantação de condomínios e obras gerais.

Luciana Figueiredo Prado

Mestre em Ciências na área de Meteorologia, Bacharel em Meteorologia pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (USP). Estudante de doutorado em Oceanografia Física no Instituto Oceanográfico da USP. Sua área de interesse é Paleoclimatologia e Interação Oceano-Atmosfera. Seu projeto de pesquisa de doutorado pretende investigar a interação oceano-atmosfera no Oceano Atlântico Sul e o paleociclo hidrológico no leste da América do Sul subtropical durante o Holoceno.

Luiz Eduardo Mendes

Tecnólogo em Obras Hidráulicas e Edifícios pela Faculdade de Tecnologia (FATEC/SP). Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia São Paulo (FESP). Professor Assistente da FATEC/SP desde 2005. Gerente de Manutenção e Operação do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Guarulhos - SP.

Marcela Pellegrini Peçanha

Graduada em Ciências Biológicas, Mestre em Biologia Vegetal e Doutora em Microbiologia Aplicada pela UNESP. Professora da Universidade de Sorocaba e da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Coordenadora da área de Ensino da Sociedade Brasileira de Microbiologia. Participou da implantação do Comitê de Bacia dos rios Sorocaba e Médio Tietê e do Núcleo de Estudos Ambientais da Universidade de Sorocaba. Participa de pesquisas na área de Microbiologia, com ênfase em indicadores microbianos de contaminação ambiental.

Monica F. do Amaral Porto

Professora Titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) na área de Engenharia Ambiental. Engenheira Civil formada pela Escola Politécnica da USP (Poli-USP). Possui títulos de Doutora e Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da USP. Livre-Docente na área de Engenharia Ambiental na Escola Politécnica. É Diretora Presidente da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica e Vice-Chefe do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP (EPUSP). Consultora do Banco Mundial e atua em diversas entidades nacionais e internacionais na área de recursos hídricos e qualidade da água.

Nelson Luiz Rodrigues Nucci

Engenheiro Civil e Doutor pela Escola Politécnica da USP (EPUSP) onde lecionou por quatro décadas no Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Foi Superintendente de Planejamento da Secretaria de Saneamento e Energia de São Paulo (SANESP), Superintendente de Planejamento Técnico da SABESP e Superintendente de Planejamento e Recursos Hídricos na Empresa paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Exerceu a Diretoria de Planejamento da SABESP. Entre as principais atividades destacam-se a elaboração do Anteprojeto e Projeto Básico do Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo, o Plano Diretor de Esgotos da RMS, tendo negociado com o Banco Mundial e o Banco Interamericano o financiamento de obras previstas. Exerce atividades profissionais de engenheiro, acumulando ampla experiência em estudos e consultorias nas áreas urbano-ambiental, de recursos hídricos e de saneamento básico. Como autônomo e contratado exerceu diversas atividades nas áreas de construção, projeto e consultoria para entidades públicas e privadas.

Nobel Penteado de Freitas

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP-Rio Claro). Mestre e doutor em Biologia também pela UNESP. Vice-Presidente do Comitê de Bacias Hidrográficas dos Rios Sorocaba e Médio Tietê (CBH-SMT) 1996-2001. Coordenador do Curso de Gestão Ambiental da Universidade de Sorocaba (Uniso).

Patrícia Dalsoglio Garcia

Possui graduação e Doutorado em Engenharia Civil, pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Atuou como estagiária e engenheira na Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (2000-2011) junto às áreas de Hidráulica Marítima e Hidráulica Computacional. Trabalhou também como docente na Faculdade de Tecnologia de São Paulo (2007-2009) e professora adjunta da Faculdade de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Tem experiência em estudos envolvendo Engenharia Costeira e Portuária, matemática, dragagem de canais e modelação física.

Paulo Cesar Guimarães Pereira

Bacharel e licenciado em Biologia pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras “Professor Carlos Pasquale” (1989), especialização em Tecnologias Ambientais pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP) em 2003, especialização em Tratamento de efluentes Industriais pelo Kitakyushu Internacional Techno – Cooperative Association – Kitakyushu (Japão, 1992).

Atualmente é professor das Disciplinas de Laboratório de Saneamento, Química Sanitária e Tratamento de Efluentes Industriais da Faculdade Tecnologia de São Paulo.

Plínio Tomaz

Engenheiro civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Possui cursos de pós-graduação na Politécnica e na Faculdade de Saúde Pública (FSP-USP). Foi superintendente e diretor de obras do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) e professor de Hidráulica Aplicada na Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC), Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), Faculdade Integrada de Guarulhos (FIG) e Universidade de Guarulhos (UNG). No Conselho Regional de Engenharia e Agricultura de São Paulo (CREA-SP), é membro do Grupo de Trabalho de Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo. Na LEED (*Green Building- sustentabilidade*) participa da adaptação das normas de água para o Brasil. É professor na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e na Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) em cursos de Manejo de águas pluviais e aproveitamento de água de chuva. É coordenador da norma sobre aproveitamento da água de chuva na ABNT.

Regina Helena Pacca Guimarães Costa

Tecnóloga em Hidráulica e Especialista em Tecnologias Ambientais pela faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP). Possui os seguintes cursos complemen-

tares: ISO 14.001, 9.001 e OHSAS (18.000); gestão da qualidade ambiental; formação de auditores internos das Normas 14.001 e 9.001. Ministra aulas na FATEC/SP nos cursos de “Hidráulica e Saneamento Ambiental” e de “Turismo e Hospitalidade”. Atua na coordenação do curso de Especialização em Tecnologias Ambientais, ministrando aulas para a disciplina “Introdução às Tecnologias Ambientais”. É coordenadora e autora do livro *Reúso de Água: conceitos, teorias e práticas* editado pela Editora Edgard Blücher.

Roque Passos Piveli

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP), mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP, doutor em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da USP. Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da USP.

Sílvio Luiz Giudice

Tecnólogo em Construção Civil pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP). Possui especialização em Agrimensura pela Escola Brasileira de Agrimensura (EBA) e especialização em Drenagem Urbana. É Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento Ambiental da FATEC-SP. Foi Diretor da Bacia do Alto Tietê e Baixada Santista e Assistente Técnico da Superintendência do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). É coordenador do DAEE no Projeto Pantanal.

Conteúdo

Prefácio	17	2 Hidrologia e hidrometria	55
Apresentação	19	2.1 Introdução	56
Manifesto FAT – Apoio ao livro	25	2.2 Ciclo hidrológico.....	56
1 A água e o ambiente	27	2.3 Balanço hídrico	57
1.1 Introdução	28	2.4 Bacia hidrográfica	58
1.2 A água no meio ambiente.....	29	2.4.1 Outras características importantes da bacia	59
1.3 Ecossistemas aquáticos	30	2.5 Precipitações	59
1.4 Características da água.....	31	2.5.1 Mecanismo de formação	60
1.4.1 Características físicas.....	32	2.5.2 Classificação	60
1.4.2 Características químicas	33	2.5.3 Pluviometria	61
1.4.3 Características biológicas	33	2.5.4 Estimativa de chuva.....	62
1.4.4 Propriedades	33	2.5.5 Curvas IDF	63
1.4.5 Qualidade das águas naturais ...	34	2.6 Interceptação	63
1.5 A água no planeta.....	34	2.6.1 Interceptação vegetal.....	63
1.5.1 Disponibilidade e escassez	35	2.6.2 Armazenamento nas depressões	64
1.5.2 Dependência de água	36	2.7 Infiltração	64
1.5.3 Uso de águas subterrâneas no mundo.....	38	2.7.1 Capacidade de infiltração e taxa de infiltração	64
1.5.4 Processos de autodepuração e eutrofização	38	2.7.2 Equacionamento geral da infiltração	65
1.5.5 Tratamento, reúso e dessalinização	41	2.8 Evapotranspiração	65
1.5.6 O acesso à água e sua relação com a saúde	42	2.8.1 Fatores que afetam a evaporação.....	66
1.5.7 Enchentes, inundações, secas e desertificação	42	2.8.2 Medição de evaporação.....	67
1.6 A água no Brasil	44	2.8.3 Transpiração	67
1.6.1 Disponibilidades.....	44	2.9 Escoamento superficial.....	68
1.6.2 Demandas	44	2.9.1 Principais fontes de influência sobre o escoamento.....	68
1.6.3 Disponibilidades x demandas ...	46	2.9.2 Volume de escoamento	69
1.6.4 Setores usuários de água	46	2.10 Métodos de medição de vazão	70
1.6.5 Águas subterrâneas no Brasil....	46	2.10.1 Medição volumétrica.....	70
1.6.6 Qualidade das águas superficiais	49	2.10.2 Medição colorimétrica	70
1.6.7 Problemas e desafios para a gestão dos recursos hídricos ..	50	2.10.3 Medição com vertedores	70
1.7 Conflitos pelo uso da água.....	51	2.10.4 Medição com Calha Parshall	71
1.7.1 Conflitos internacionais.....	51	2.10.5 Medição a vau.....	71
1.7.2 Conflitos nacionais.....	51	2.10.6 Medição com molinetes – aplicações diversas.....	72
Referências bibliográficas	54	2.10.7 Medição com equipamentos com tecnologia acústica.....	73
		Referências bibliográficas	75

3 Biodiversidade em ambientes de água doce	77	5.4.3 Vazão explorável.....	130
3.1 Introdução	78	5.4.4 Determinação das perdas de carga e da vazão máxima explorável	131
3.2 Distribuição dos seres vivos no ambiente de água doce: do estado natural ao impactado	79	5.4.5 Fixação das condições de exploração	131
3.2.1 As matas ciliares	81	5.4.6 Medições e testes	132
3.2.2 Fauna	81	5.4.7 Análise físico-química da água .	133
3.2.3 Avifauna.....	81	5.4.8 Análise bacteriológica da água..	133
3.2.4 Mastofauna	83	5.4.9 Avaliação e interpretação de dados.....	133
3.2.5 Macrófitas aquáticas	83	5.4.10 Limpeza e desinfecção de poços.....	135
3.2.6 Fitoplâncton	85	5.4.11 Diretrizes de manutenção preventiva.....	135
3.2.7 Zooplâncton.....	85	5.5 Proteção.....	136
3.2.8 Macroinvertebrados	86	5.5.1 Fontes potenciais de poluição ...	136
3.2.9 Ictiofauna.....	86	5.5.2 Estratégias de proteção	138
3.3 Intervenções humanas e seus impactos: aspectos positivos e negativos.....	88	Referências bibliográficas	142
Referências bibliográficas	90		
4 Precipitação global, regional e local	93	6 Qualidade da água: propriedades, exames, indicadores, transmissão de doenças e potabilidade	143
4.1 Introdução	94	6.1 Propriedades da água.....	144
4.2 Distribuição global da precipitação.....	94	6.2 Usos da água.....	144
4.3 Precipitação na América do Sul	95	6.3 Exames bacteriológicos	145
4.4 Climatologia da precipitação no Estado de São Paulo.....	102	6.3.1 Técnica de tubos múltiplos.....	145
4.5 Eventos extremos e consumo de água na Região Metropolitana de São Paulo	108	6.3.2 Técnica da membrana filtrante	145
4.6 Conclusão	115	6.3.3 Técnica de presença e ausência	145
Referências bibliográficas	116	6.4 Exames físico-químicos.....	146
5 Águas subterrâneas	119	6.5 Indicadores de qualidade.....	149
5.1 Introdução	120	6.5.1 Índice de qualidade das águas (IQA).....	150
5.2 Ocorrência e importância	120	6.5.2 Índice de qualidade da água bruta para fins de abastecimento público (IAP)	152
5.2.1 Ciclo da água	120	6.5.3 Índice de estrado trófico (IET) .	153
5.2.2 Recursos hídricos.....	121	6.5.4 Índice de contaminação por tóxicos.....	154
5.3 Aquíferos e aquitardes.....	124	6.5.5 Índice de balneabilidade (IB)....	154
5.3.1 Aquíferos livres e aquíferos confinados	124	6.5.6 Índice de qualidade de água para a proteção da vida aquática (IVA)	155
5.3.2 Propriedades hidrogeológicas fundamentais.....	125	6.5.7 Índice de qualidade de água em reservatórios (IQAR)	155
5.4 Exploração de água subterrânea.....	128	6.6 Transmissão de doenças.....	157
5.4.1 Operação e manutenção de poços.....	129	6.7 Potabilidade da água.....	158
5.4.2 Levantamento e registro de dados básicos.....	130	Referências bibliográficas	176

7 Usos da água e suas características	177	8 Poluição das águas por efluentes urbanos, industriais e agrícolas	217
7.1 Introdução	178	8.1 Características gerais do lançamento de efluentes	218
7.2 Abastecimento humano	182	8.2 Características físicas dos efluentes e seus impactos: sólidos, temperatura, sabor e odor	218
7.3 Uso industrial.....	185	8.2.1 Resíduos sólidos em águas.....	218
7.3.1 Características no uso da água..	185	8.2.2 Temperatura.....	220
7.3.2 Demandas de água	185	8.2.3 Sabor e odor.....	220
7.3.3 Efluentes industriais	185	8.3 Condições de pH e suas implicações no equilíbrio das águas	220
7.4 Usos agrícolas.....	186	8.4 Sulfato e sulfeto: comportamento nas águas e problemas decorrentes	221
7.4.1 Agricultura irrigada (irrigação)	188	8.5 Metais tóxicos em águas: necessidades de controle dos efluentes industriais	222
7.4.2 Pecuária.....	192	8.6 Poluição das águas por matéria orgânica: os esgotos sanitários, os efluentes industriais, seus efeitos e as necessidades de tratamento biológico.....	223
7.5 Geração de energia elétrica	193	8.6.1 Demanda bioquímica de oxigênio – DBO.....	224
7.6 Diluição e afastamento de despejos	194	8.6.2 Demanda química de oxigênio – DQO	226
7.6.1 Breve histórico	194	8.7 Macronutrientes nos efluentes, eutrofização das águas e processo de remoção	228
7.6.2 Poluição dos rios decorrente do lançamento de esgotos <i>in natura</i>	196	8.7.1 Nitrogênio	228
7.7 Navegação.....	197	8.7.2 Fósforo	230
7.7.1 Introdução	197	8.8 Problemas de poluição das águas advindos de esgotos e efluentes industriais: óleos e graxas, surfactantes e compostos fenólicos	232
7.7.2 Evolução da navegação	197	8.8.1 Óleos e graxas	232
7.7.3 Navegação interior	198	8.8.2 Surfactantes	233
7.7.4 Obras de melhorias nas hidrovias	199	8.8.3 Compostos fenólicos	233
7.8 Paisagismo.....	202	8.9 Contaminação das águas por uso agrícola: pesticidas.....	234
7.8.1 Conceitos	202	Referências bibliográficas	236
7.8.2 Paisagismo e a água	203	9 Água e saúde: doenças de veiculação hídrica de origem biológica	237
7.9 Aquicultura.....	204	9.1 Introdução	238
7.9.1 Implantação de projetos de piscicultura.....	205	9.2 Padrões de qualidade da água potável...	238
7.9.2 Qualidade da água na piscicultura.....	205	9.3 Monitoramento físico-químico e microbiológico da água	242
7.9.3 Despesca.....	206		
7.9.4 Problemas ligados à aquicultura	206		
7.9.5 A aquicultura no Brasil.....	206		
7.10 Turismo e Recreação	206		
7.11 Melhoria do microclima	208		
7.12 Mineração	209		
7.12.1 Uso da água na lavra	210		
7.12.2 Uso da água no tratamento (beneficiamento) do minério.....	210		
7.12.3 Efluentes da indústria mineral..	211		
7.13 Demandas dos principais usos consuntivos no Brasil.....	212		
Referências bibliográficas	215		

9.4	Indicadores da qualidade da água.....	242	10.5.1	Reações de alguns coagulantes com a alcalinidade	284
9.4.1	Parâmetros físicos.....	243	10.6	Membranas filtrantes	286
9.4.2	Parâmetros químicos.....	243	10.6.1	Microfiltração (MF)	286
9.4.3	Parâmetros biológicos.....	244	10.6.2	Ultrafiltração (UF)	286
9.5	Água e saúde	245	10.6.3	Nanofiltração (NF)	286
9.5.1	Ambiente natural e poluição	245	10.6.4	Osmose reversa (OR).....	286
9.5.2	Ações sobre a água que melhoram a saúde ambiental.....	246	10.7	Remoção de cianobactérias e cianotoxinas por meio das técnicas mais usuais de tratamento de água.....	286
9.6	Doenças de veiculação hídrica de origem biológica	246	10.7.1	Remoção de produtos metabólicos das algas	287
9.6.1	Doenças causadas por ingestão de água contaminada por bactérias	247	Referências bibliográficas	288	
9.6.2	Doenças causadas por ingestão de água contaminada por vírus.....	251	11 Tratamento de efluentes	291	
9.6.3	Doenças causadas por ingestão de água contaminada por protozoários.....	253	11.1	Considerações iniciais	292
9.6.4	Doenças causadas por ingestão de água contaminada por helmintos.....	256	11.2	Principais sistemas de tratamento de efluentes	295
9.6.5	Doenças por contato com água contaminada.....	258	11.2.1	O processo de lodos ativados.....	295
9.7	Doenças relacionadas com a água.....	259	11.2.2	Breve comentário sobre as outras opções	305
9.7.1	Malária.....	259	11.2.3	Tipo de tratamento em função da área disponível	306
9.7.2	Dengue.....	260	Referências bibliográficas	309	
9.7.3	Febre amarela.....	260	12 Reúso da água	311	
9.7.4	Cianobactérias e cianotoxinas...	261	12.1	Introdução	312
9.8	Conclusão	261	12.2	O reúso	312
Referências bibliográficas	263		12.3	A viabilidade do reúso	313
10 Processos de tratamento de água	267		12.4	A necessidade de reúso.....	314
10.1	Introdução	268	12.5	Aplicações do reúso	314
10.2	Processos de tratamento	268	12.5.1	Usos previstos para o esgoto tratado (item 5.6.2 NBR 13.969/97)	315
10.3	Tratamento convencional	268	12.5.2	Volume de esgoto a ser reutilizado (item 5.6.3 NBR 13.969/97)	315
10.3.1	Coagulação e floculação	269	12.5.3	Grau de tratamento necessário (item 5.6.4 NBR 13.969/97)	315
10.3.2	Sedimentação.....	270	12.5.4	Sistema de reservação e de distribuição (item 5.6.5 NBR 13.969/97)	315
10.3.3	Filtração	272	12.5.5	Manual de operação e treinamento dos responsáveis (item 5.6.6 NBR 13.969/97)	316
10.3.4	Desinfecção	276	12.5.6	Amostragem para análise do desempenho e do monitoramento (item 6 NBR 13.969/97)	317
10.3.5	Fluoretacção.....	280			
10.4	Outros tratamentos.....	281			
10.4.1	Aeração.....	281			
10.4.2	Remoção de ferro e manganês com aeração.....	281			
10.4.3	Remoção de dureza.....	282			
10.5	Compostos químicos utilizados no tratamento de água	284			

12.6	Formas de reúso.....	317	14.2.4	Dinâmica do processo de produção de sedimentos.....	355
12.7	Reúso urbano	320	14.3	Abordagens dos estudos do assoreamento	355
12.7.1	Reúso urbanos para fins potáveis.....	320	14.4	Abordagem da Engenharia Hidráulica...	356
12.7.2	Reúso urbanos para fins não potáveis.....	321	14.5	Abordagem da Geologia de Engenharia.	357
12.8	Reúso agrícola	324	14.5.1	O homem como agente geológico.....	357
12.8.1	Estratégias de planejamento para reúso na agricultura	327	14.5.2	A produção de sedimentos segue a história do homem	358
12.9	Reúso industrial.....	329	14.5.3	Métodos de investigação da Geologia da Engenharia.....	360
12.10	Considerações finais	334	14.6	Medidas de controle do assoreamento ...	366
	Referências bibliográficas	335		Referências bibliográficas	367
13	Processos erosivos lineares urbanos.....	337	15	Lagos.....	371
13.1	Introdução	338	15.1	Introdução	372
13.2	Erosão – aspectos gerais.....	339	15.2	Características morfométricas dos lagos e o tempo de residência.....	372
13.2.1	Erosão laminar.....	339	15.3	O fenômeno da estratificação térmica ...	373
13.2.2	Erosão linear	339	15.3.1	O comportamento térmico dos lagos: aspectos gerais.....	373
13.2.3	Erosão em sulcos.....	339	15.3.2	Consequências da estratificação térmica sobre a qualidade da água dos lagos	379
13.2.4	Erosão em ravina	339	15.4	Eutrofização	383
13.2.5	Erosão em boçoroca.....	340	15.4.1	O processo de eutrofização.....	383
13.3	Fatores condicionantes dos processos erosivos.....	341	15.4.2	Os efeitos de eutrofização.....	384
13.3.1	Clima.....	342	15.4.3	O conceito de nutriente limitante	384
13.3.2	Solo	342	15.4.4	Graus de trofia.....	385
13.3.3	Topografia.....	343	15.4.5	Modelo simplificado para avaliação do estado trófico	387
13.3.4	Cobertura vegetal.....	343	15.4.6	Controle da eutrofização.....	388
13.3.5	Ação antrópica.....	343		Referências bibliográficas	389
13.3.6	Urbanização.....	343	16	Ações antrópicas e seus impactos nos cursos de água	391
13.4	Fatores consequências da erosão urbana	344	16.1	Introdução	392
13.5	Controle da erosão em áreas urbanas	345	16.1.1	Agricultura e expansão populacional	392
13.6	Impactos da erosão nos recursos hídricos	345	16.1.2	Expansão populacional e urbanização	394
13.7	Considerações finais	346	16.2	Efeitos das ações antrópicas nos cursos d'água	395
	Referências bibliográficas	346			

16.2.1	Poluição e degradação dos cursos d'água.....	395	18 Águas de chuva: poluição difusa e aproveitamento em uso não potável.....	433	
16.2.2	Cheias, enchentes e inundações	396	18.1	Introdução	434
16.2.3	Assoreamento.....	398	18.2	Águas de chuva: poluição difusa e aproveitamento não potável.....	434
16.3	Intervenções antrópicas diretas nos cursos d'água.....	402	18.3	Poluição difusa: ocorrência e dimensionamento.....	434
16.3.1	Canalizações e retificações.....	403	18.3.1	Poluição pontual e difusa	435
16.3.2	Desassoreamento e limpeza	403	18.3.2	A avaliação do impacto do lançamento da drenagem urbana sobre o corpo receptor e a resposta do ecossistema	435
16.3.3	Captações e derivações.....	404	18.3.3	Controle da poluição difusa.....	435
16.3.4	Barramentos, diques e represas	406	18.3.4	Impermeabilização do solo	436
16.3.5	Ocupação de várzeas	409	18.3.5	Critério unificado	436
16.4	Conclusões.....	410	18.3.6	Grupo das opções de BMPs	440
16.4.1	Há a necessidade de mudança...	412	18.3.7	Processos de tratamento das águas pluviais.....	440
	Referências bibliográficas	412	18.3.8	Classificação das BMPs em grupos.....	441
17 Ambientes costeiros.....		415	18.3.9	BMP grupo 1 – Infiltração.....	441
17.1	Introdução	416	18.3.10	BMP grupo 2 – Filtração.....	441
17.2	Conceituação	416	18.3.11	BMP grupo 3 – Detenção	442
17.2.1	A origem dos oceanos	416	18.3.12	BMP grupo 4 – Práticas não estruturais – Planejamento: planejamento e uso do solo.....	442
17.2.2	A origem e distribuição dos sedimentos oceânicos	417	18.3.13	Matriz de remoção de poluentes	442
17.2.3	As ondas no mar.....	419	18.3.14	Custos típicos dos BMPs.....	442
17.2.4	Marés	423	18.3.15	BMPs de práticas não estruturais.....	442
17.2.5	Processos litorâneos	424	18.3.16	Conclusão	444
17.3	Formação das praias	425	18.4	Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis.....	444
17.4	Erosão costeira.....	425	18.4.1	Apresentação.....	444
17.4.1	Dinâmica de circulação costeira	426	18.4.2	Histórico	445
17.4.2	Elevação do nível médio do mar.....	426	18.4.3	Objetivo.....	445
17.4.3	Diminuição do aporte sedimentar.....	426	18.4.4	Definições	445
17.4.4	Degradação das estruturas naturais por ação antrópica.....	426	18.4.5	Calhas e condutores.....	447
17.4.5	Obras de engenharia costeira e portuária.....	428	18.4.6	Reservatórios ou cisternas	448
17.5	Controle e impactos de ações antrópicas	429	18.4.7	Instalações prediais	448
17.5.1	Muros de proteção.....	429	18.4.8	Qualidade da água.....	449
17.5.2	Espigões.....	429	18.4.9	Bombeamento.....	450
17.5.3	Quebra-mares destacados	430	18.4.10	Manutenção	450
17.5.4	Alimentação artificial de praias	430	18.4.11	Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl.....	450
	Referências bibliográficas	432	18.4.12	Método da simulação	450
			18.4.13	Método prático do professor Azevedo Neto	451
			18.4.14	Confiança.....	451

18.4.15 Dimensionamento do reservatório de autolimpeza	451	20 Gestão de serviços de água e esgotos.....	471
18.4.16 Custos	452	20.1 Introdução	472
18.4.17 Previsão de consumo de água ...	452	20.2 A natureza das demandas em um serviço de água e esgotos e o seu atendimento	472
18.4.18 Filtros lentos de areia	452	20.2.1 As demandas públicas e privadas no abastecimento de água.....	473
18.4.19 Avaliação do sistema de aproveitamento de água da chuva.....	452	20.2.2 As demandas públicas e privadas no sistema de esgotos .	473
18.4.20 Tarifa de esgotos	453	20.3 As exigências ou responsabilidades decorrentes e a fiscalização de seu cumprimento	474
18.4.21 Filtro de piscina	453	20.4 As formas de organização dos serviços .	476
18.4.22 Conclusão	453	20.4.1 A experiência nacional.....	476
Referências bibliográficas	453	20.4.2 A experiência internacional	479
19 A gestão integrada de recursos hídricos..	457	20.5 Modelos tarifários	480
19.1 Visão mundial e regional da gestão dos recursos hídricos	458	20.6 Possíveis novos desafios da ampliação do escopo dos serviços.....	481
19.1.1 A gestão de recursos hídricos na União Europeia.....	458	Referências bibliográficas	482
19.1.2 A gestão do rio Danúbio.....	459	21 Gestão ambiental.....	483
19.2.3 A gestão do rio Amazonas	459	21.1 Breves considerações sobre a relação do homem com a água.....	484
19.2.4 A gestão do rio Nilo.....	460	21.2 Surgimento e evolução da questão ambiental no mundo.....	484
19.2 A Política Nacional de Recursos Hídricos e seus instrumentos	461	21.3 Base legal e gestão compartilhada dos recursos hídricos no Brasil	489
19.2.1 Planos de recursos hídricos.....	461	21.4 Licenciamento ambiental e avaliação de impacto ambiental no Brasil.....	491
19.2.2 Enquadramento de corpos de água em classes	462	21.5 Fundamentos dos sistemas de gestão ambiental	496
19.2.3 Outorga de direitos de uso de recursos hídricos.....	463	Referências bibliográficas	500
19.2.4 Cobrança pelo uso dos recursos hídricos	463		
19.2.5 Sistema de informações sobre recursos hídricos.....	465		
19.3 Sistema nacional de gerenciamento dos recursos hídricos	465		
19.4 Comitês e Agências de Água	466		
19.5 Estágio atual da gestão de recursos hídricos no Brasil	468		
Referências bibliográficas	469		

Prefácio

O tema da água desperta hoje o interesse de uma gama muito variada de profissionais além da classe política e do público em geral. Graças ao trabalho de diferentes organizações não governamentais e de agências multilaterais diferentes aspectos relacionados ao uso e conservação deste recurso vital tem sido destacados na mídia internacional e nacional. Entendemos claramente a necessidade de ter água com qualidade adequada para conservar o meio biótico aquático saudável e ao mesmo tempo destacamos a importância deste recurso natural para o desenvolvimento socioeconômico das populações humanas.

O livro organizado pelo eminente professor Dirceu D'Alkmin Telles tem um título que já resume o que o leitor irá encontrar ao longo de suas páginas: “O Ciclo Ambiental da Água: da chuva à gestão”. Esta obra inicia-se com um tratamento técnico do tema no sentido de mostrar as inter-relações entre clima e água através da hidrologia. Hidrologia e Hidrometria são elementos essenciais para se entender a variabilidade quantitativa da água no âmbito da bacia hidrográfica. À partir daí a obra se desenvolve analisando o resultado das ações antrópicas na qualidade da água dos rios e lagos e as formas de remediação desses impactos à partir do tratamento adequado dos efluentes. Entretanto, entendendo que a poluição não é só derivada de fontes pontuais, como municípios e indústrias, mas também das atividades agrícolas e do uso do solo urbano, o livro enfoca também a questão da chamada poluição difusa. Este tipo de poluição de controle mais complexo representa em alguns casos mais de 50% da carga poluidora em rios e lagos de países tanto desenvolvidos como em desenvolvimento.

Ainda neste contexto de análise da interação dos processos hidrológicos com os processos pedológicos no nível da bacia hidrográfica o livro trata dos processos erosivos lineares nos ambientes urbanos. Este é um problema de grande significância ambiental e social. Nosso país tem vivido nos últimos anos consequências de desastres naturais ligados a água que causaram perdas de vidas humanas e prejuízos econômicos consideráveis. Cada vez mais o profissional de recursos hídricos deve se tornar mais multidisciplinar e a interação solo – água é um ponto de grande relevância ambiental muito bem considerada neste trabalho.

A participação de um grande número de autores com experiência prática na produção dos 21 capítulos do livro, proporciona ao leitor uma segurança de que os materiais e métodos apresentados representam a realidade do cotidiano dos profissionais da área. Nesse sentido além de contribuir como texto para um curso sobre tecnologia e gestão de água, o livro pode ser utilizado como uma referência para aqueles profissionais militando na área do abastecimento de água e saneamento e gestão ambiental da água.

Benedito Braga é professor titular da Universidade de São Paulo, Ph.D. pela Stanford University – EUA, foi Diretor da Agência Nacional Águas de 2001 a 2010 e presidiu o Comitê Internacional do 6.º Fórum Mundial da Água em Marselha, França em Março de 2012

Apresentação

Moramos no planeta Azul, no planeta Água. De todos os recursos naturais importantes à sustentabilidade, a água é aquele que requer nossa atenção urgente. É através dela que toda a vida nasce e se mantém. Nas últimas décadas percebemos que precisamos modificar a maneira pela qual a tratamos. Na busca do desenvolvimento da humanidade aprendemos a transportá-la, desviá-la, usá-la para receber nossos detritos, irrigar nossas plantações, ferver, congelar, navegar e tantas outras coisas que nos fizeram acreditar que a dominamos. Porém isso não é realmente verdade, e por não sabermos que não sabemos, temos dificuldade de opinar e, mais ainda, de agir. Somos a favor ou contra uma hidrelétrica na Amazônia? E sobre a transposição do rio São Francisco? Por quê? Se eu fechar a torneira enquanto escovo os dentes estarei ajudando a preservar água? Quanto? Se eu deixar de comer carne também vou preservar água? E os vegetais? Nossa percepção natural é de que temos abundância de água. Se alguém já esteve num rio como o Amazonas ou Rio Negro, não consegue entender como pode algum dia faltar água. De tantas perguntas sem respostas paramos de perguntar, e quando nos perguntam, fingimos que sabemos e não respondemos o que o coração quer ouvir. Com isso não nos afligimos com as informações sobre a condição da água que ouvimos aqui e acolá, porque nossa mente já se acostumou a não saber. O que precisamos é continuar falando até que o “adormecido” dentro de nós acorde! Este livro não consegue dizer tudo que você precisa saber sobre a água. Nenhum livro consegue! Esta obra reúne autores que conhecem partes dos processos e estão colaborando com seu conhecimento, mostrando, de forma sucinta, a presença, as transformações e os movimentos da água no planeta Terra, suas causas e efeitos naturais, decorrentes das ações antrópicas. Eles escreveram para inspirar você a voltar a se questionar, perguntar, ouvir e principalmente a acordar para a urgência que temos em tratar desse assunto. Em virtude da reconhecida competência dos autores, estabeleceu-se que cada um deles teria plena liberdade, na escolha do conteúdo e na forma de expressá-lo, relevando a importância das águas interiores. Nessas condições, possíveis repetições e divergências fazem parte do processo. A partir de agora você não vai mais ter uma opinião sobre algo que não conhece ou deixar de se sensibilizar com a nossa forma atual de entender o desenvolvimento da humanidade. Teremos que buscar outras maneiras de tratar a água daqui

por diante. Este livro é uma pequena gota num oceano urgente de ser navegado. O importante é lembrar que o oceano é formado por gotas como essa. Bem-vindo!

Os inúmeros significados da água, em visões ambientalistas, espirituais, comerciais e sociais, bem como a correlação entre a quantidade e a qualidade, são mostrados no início do **Capítulo 1**, “A água e o ambiente”. Diversas definições de meio ambiente são seguidas das funções, características, propriedades e qualidade da água. São apresentados os ecossistemas aquáticos, salientando os grupos lênticos e lóticos, típicos de água doce. A seguir, são enfocadas: a distribuição da água no planeta Terra, a disponibilidade e a escassez de países, continentes e regiões, bem como dados sobre águas subterrâneas. Fenômenos naturais e antrópicos de alteração da qualidade, de tratamentos de recuperação e de aspectos entre o acesso à água de qualidade e a saúde, enchentes, secas e desertificação também são sintetizados, em tabelas. Além disso, são apresentadas as demandas e disponibilidades regionais brasileiras. Os principais conflitos nacionais e internacionais que ocorrem pelo uso da água fecham o capítulo.

Apresentando o conceito de Hidrologia e descrevendo os fenômenos que compõem o Ciclo hidrológico, o **Capítulo 2**, “Hidrologia e hidrometria”, fornece, em seguida, o Balanço Hídrico na natureza. Bacia Hidrográfica, considerada como unidade de gestão dos recursos hídricos, e suas características são descritas nessa seção. Segue-se o detalhamento dos principais fenômenos do ciclo, os mecanismos de suas formações, características e formas de observação. Especial ênfase é dada ao escoamento superficial e às diversas formas de medição.

No **Capítulo 3**, os autores se referem à “Biodiversidade aquática em ambientes de água doce”, caracterizando esses ambientes, apresentando sua distribuição, as ameaças que sofrem e os caminhos para sua preservação e conservação. Os autores consideram o Brasil como detentor de uma Megadiversidade. Eles prosseguem, abordando a distribuição dos seres vivos no ambiente de água doce, do estado natural ao estado impactado, e explicam que, tendo em vista que o território brasileiro apresenta características continentais e que possui uma extensa rede hidrográfica natural, a nossa diversidade de ambientes de água doce se reflete diretamente na heterogeneidade da diversidade biológica neles instalados. Os autores classificam os habitats de água doce em:

ecossistemas de águas paradas ou lânticos, em ecossistemas de águas moventes ou lóticos e em terras úmidas, como brejos e pântanos, nas quais o nível de água varia sazonalmente. De acordo com a distribuição espacial, os organismos são agrupados em bentônicos (associados ao fundo), nectônicos (que se distribuem e deslocam na coluna de água) e nos flutuantes e diminutos fitoplâncton e zooplâncton, além dos organismos encontrados na superfície pertencentes ao plêuton. As descrições das intervenções humanas e seus impactos nos corpos de água encerram o capítulo.

Segundo os autores, o **Capítulo 4**, “Precipitação global, regional e local”, é uma análise da distribuição de precipitação global, continental e regional. O sistema Terra é composto por atmosfera, hidrosfera, criosfera, litosfera e biosfera e sua evolução espaço-temporal depende da evolução desses componentes e da interação entre eles ao utilizar a energia solar disponível. A distribuição global da precipitação média diária, apresentada em ilustração, resulta de áreas de levantamento produzidas por circulações atmosféricas; circulações semipermanentes e circulações transientes associadas a frentes frias, ciclones, complexos convectivos e furacões, entre outros. A zona de convergência intertropical (ZCIT) produz uma região alongada de precipitação sobre a Amazônia e oceano Atlântico Equatorial. A precipitação global varia ao longo do tempo e é afetada pelo aquecimento e pelo resfriamento dos oceanos, em particular o oceano Pacífico, onde surgem episódios de El Niño e La Niña. A precipitação média horária anual na América do Sul e alguns valores relativos ao Brasil e ao Estado de São Paulo estão apresentados em ilustrações.

O **Capítulo 5**, “Águas subterrâneas”, explica a função dos aquíferos (reservatórios de água subterrânea), livres e confinados no ciclo hidrológico, e apresenta, em tabela, os volumes e tempos de permanência da água no ciclo. Mostra as disponibilidades de águas superficiais e subterrâneas nos continentes, em alguns países e no Brasil. Destaca que, do volume total de água do planeta ($1.454.375 \times 10^3 \text{ km}^3$) – incluindo oceanos, água subterrânea, calotas polares, lagos, umidades do solo, atmosfera e rios –, 94,2% se encontra nos oceanos, 4,1% é água subterrânea e apenas 0,007% está nos rios. Faz uma descrição dos aquíferos, suas propriedades, formas de recarga e descarga. Prossegue com: exploração de água subterrânea, operação e manutenção de poços, vazão explorável, condições de exploração, medidas, testes e análises de avaliação. O capítulo apresenta ainda: fontes potenciais de poluição e contaminação, diretrizes de manutenção preventiva de limpeza e desinfecção, e estratégias de proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

O **Capítulo 6**, “Qualidade da água: propriedades, exames, indicadores, transmissão de doenças e potabili-

dade”, é iniciado com o destaque da importância da condutividade elétrica. Dando ênfase à qualidade da água a ser ingerida e utilizada, o texto relaciona as substâncias que podem poluir ou contaminá-la: sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, substâncias laxativas e nutrientes. De acordo com o problema que podem causar, as águas são classificadas em: nocivas (contêm substâncias que as contaminam), passivas (poluem, mas não contaminam o ambiente) e desagradáveis (causam sabor, odor, manchas que podem causar dificuldades ou impedir seu uso). O autor salienta que, mesmo sendo considerada quimicamente potável, a água pode apresentar contaminação bacteriológica, e descreve os métodos (técnicas) mais usados na quantificação das bactérias do grupo coliformes. Os exames físico-químicos são apresentados em tabela correlacionando: variável, significado, problemas que causa e valor máximo. Segue-se a descrição, forma de calcular os valores e tipos dos principais indicadores de qualidade: IQA, IAP, IET, IVA e IB utilizados no Estado de São Paulo.

No **Capítulo 7**, “Usos da água e suas características”, são delineados os principais usos da água: para fins agrícolas, abastecimento urbano e rural, uso industrial, geração de energia elétrica, diluição e afastamento de esgotos, navegação, paisagismo, aquicultura, turismo, recreação, melhoria do microclima e mineração. São detalhados os requisitos de qualidade, para cada uso específico, suas demandas e efluentes. As principais utilizações são classificadas conforme: forma e tipo de uso, finalidade, dimensão do uso consuntivo e efeitos na poluição das águas. As formas e a relevância da participação da água na navegação interior. Os autores apresentam, também, os percentuais de uso da água por setor em alguns países do mundo (70% para agricultura, 20% para a indústria e apenas 10% para abastecimento doméstico urbano) e, no Brasil, onde, para uma demanda total de $1.841,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e consumo de $986 \text{ m}^3/\text{s}$ em 2006, são predominantes os consumos na irrigação com 69%, na dessedentação de animais com 12%, no uso urbano com 10% e na indústria com 7%.

Os autores do **Capítulo 8**, “Poluição das águas por efluentes urbanos, industriais e agrícolas”, salientam a conceituação e a aplicação das principais variáveis de controle, e descrevem as características gerais dos lançamentos de efluentes. São também comentados os impactos dos despejos sólidos, bem como problemas de temperatura, sabor e odor; as implicações das condições do pH (potencial hidrogeniônico) no equilíbrio das águas, além da presença e dos problemas decorrentes da presença de sulfatos, sulfetos e metais tóxicos. É, ainda, enfocada a poluição por matéria orgânica de esgotos sanitários e efluentes industriais, com seus efeitos e necessidades de tratamento biológico. Na sequência, são analisados a presença de macronutrientes, o fenômeno da eutrofização e a necessidade de remoção desses poluentes, assim como de óleos, graxas, surfac-

tantes e compostos fenólicos. O capítulo é concluído com um enfoque sobre a contaminação por efluentes de águas agrícolas.

Destacando que 80% de todas as doenças são de origem hídrica e que mais de um terço das mortes, em países em desenvolvimento, são causadas pelo consumo de água contaminada, a autora do **Capítulo 9**, “Água e saúde: doenças de veiculação hídrica de origem biológica”, considerando a Portaria n.º 2.914 de 12 de dezembro de 2011, apresenta os padrões de qualidade de água potável no Brasil, as metodologias de monitoramento físico-químico e microbiológico da água, e os indicadores da situação ambiental das águas (Índice de Qualidade da Água – IQA), além da contaminação por tóxicos. A autora prossegue descrevendo parâmetros físico-químicos e biológicos relativos à qualidade da água; relaciona a água com a saúde e as principais ações que melhoram a saúde ambiental. A autora também cita as doenças de veiculação hídrica de origem biológica, classificadas em causadas por ingestão de água contaminada por bactérias; por vírus; por protozoários e por helmintos. O capítulo finaliza com um quadro resumo das doenças de veiculação hídrica, suas formas de contágio, tipo de doença, agentes e hospedeiros.

O **Capítulo 10**, “Processos de tratamento de água”, destaca os objetivos de um sistema para a obtenção de água para consumo humano. O texto define os tratamentos e os processos necessários, indicando que as impurezas presentes na água podem ser classificadas como: materiais flutuantes; materiais em suspensão (bactérias, algas, protozoários e outros); materiais dissolvidos e materiais coloidais (matéria orgânica; sílica e outros). Além disso, o capítulo esclarece por que um tratamento prévio (remoção de sólidos grosseiros por meio de gradeamento) é sempre recomendável. A seguir, descreve o processo de tratamento convencional para tornar a água potável e suas partes: coagulação e floculação; sedimentação; filtração; desinfecção e fluoretação. Designando, como outros tratamentos, o texto descreve os sistemas de aeração, remoção de ferro e manganês e remoção de dureza. Os autores esclarecem que a utilização de membranas filtrantes, em suas variações (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa), vem se destacando. O capítulo é finalizado com os procedimentos para remoção de cianobactérias, cianotoxinas e de produtos metabólicos das algas.

No **Capítulo 11** é abordado o “Tratamento de efluentes”, comumente chamados de águas residuárias, sejam elas de origem sanitária (ou doméstica) ou de origem industrial. Os industriais têm composição, às vezes, muito complexas e podem causar problemas ambientais nos corpos d’água receptores. O autor destaca que a qualidade a ser obtida no efluente líquido, depois de tratado, é função da sua destinação final em corpos de água receptores. É apresentado o processo de lodos

ativados (o mais utilizado em todo o mundo) e suas possíveis 16 unidades e das respectivas fases, desde a entrada do esgoto na estação de tratamento, passando por: sistema de gradeamento, caixa de areia, clarificador primário, reator biológico, clarificador secundário, eventual desinfecção do efluente tratado, destino final do efluente tratado, remoção do lodo primário, recirculação do lodo secundário, remoção do lodo excedente, unidades de adensamento primário e de secundário, de digestão dos lodos, de desaguamento e destino final do lodo gerado na ETE. O texto prossegue com um breve comentário sobre as outras opções de tratamento.

A autora do **Capítulo 12**, “Reúso da água”, enfatiza que a água começou a perder qualidade e escassear em diversas ocasiões e regiões. Ela define como reúso uma nova utilização da água após algum tipo de tratamento em água usada anteriormente. São apresentados a NBR 13.969/97 e o *Manual de conservação e reúso de água em edificações*, que estabelecem a classificação e os parâmetros para o reúso no Brasil. A autora afirma que especialistas não recomendam o reúso para fins potáveis de águas provenientes de esgotos urbanos; sendo indicadas as utilizações na irrigação de: parques e jardins, centros esportivos, campos de golfe e de futebol, áreas ajardinadas públicas, residenciais e industriais, bem como para reserva de proteção contra incêndios, descarga sanitária, lavagens de pisos, de trens e ônibus. O reúso em irrigação para fins agrícolas, face às grandes vazões utilizadas, tem um grande significado. A autora apresenta, em fluxograma, as aplicações do reúso no setor industrial a partir do efluente tratado. O capítulo é encerrado mostrando preocupações com a qualidade da água de reúso que pode causar problemas de: incrustações, corrosão metálica, crescimento biológico e formação de *fouling*.

O **Capítulo 13**, “Processos erosivos urbanos lineares”, relata que a degradação atual dos solos e das águas reflexo de uma série de intervenções antrópicas nos sistemas naturais. O autor afirma que a erosão envolve importantes processos de degradação do meio físico, provocando a perda de solos agricultáveis e de equipamentos urbanos, bem como a deterioração de obras civis, tendo como consequência o assoreamento e eutrofização de reservatórios e de cursos de água. O Brasil, país tropical, com concentração das chuvas de grande intensidade no verão, está sujeito a um intenso processo erosivo dos solos. Cada um dos processos erosivos – erosão laminar, erosão linear, erosão em sulcos, erosão em ravina, erosão em boçoroca e deslizamentos – é, detalhadamente, descrito. Um quadro sintetiza as características do movimento e da geometria dos principais tipos de deslizamentos que ocorrem no Brasil. Outro quadro resume os impactos e as consequências, tanto na área urbana como na área rural, conforme o tipo de ocupação e de intervenção. O capítulo encerra descrevendo os fatores e as consequências da erosão urbana,

apresentando recomendações para controle da erosão em áreas urbanas e uma ponderação sobre os impactos da erosão nos recursos hídricos.

Como “Assoreamento”, abordado no **Capítulo 14**, é considerado o depósito de sedimentos ou o próprio processo de sua deposição em corpos de água, continentais ou interiores, sejam rios, lagos ou reservatórios artificiais, provocado pela ação antrópica. Os impactos mais notáveis são: redução de volume de água em reservatórios, diminuição de profundidade de canais, restrição de vida útil de hidrelétricas, alteração da vida aquática, prejuízos ao lazer e alteração do regime dos rios com manifestação de inundações mais frequentes e intensas a montante. Segundo o autor, os princípios norteadores do processo são: a bacia hidrográfica como unidade de estudo, o ciclo sedimentar, a produção e a liberação de sedimentos e, finalmente, a dinâmica do processo de produção de sedimentos. Em seguida, esses fundamentos são detalhados, incluindo ilustrações. São descritos os métodos de abordagens dos estudos de assoreamento, distinguindo a abordagem da Engenharia Hidráulica (com processos de cálculo) da abordagem da Geologia de Engenharia. A seguir, é salientado que as soluções para os problemas do assoreamento envolvem medidas preventivas e medidas corretivas, ambas apresentadas em textos e em tabelas.

O **Capítulo 15** enfoca “Lagos”, esses corpos hídricos interiores, formados pela acumulação de água de diversas origens: atividades tectônicas, vulcânicas, movimentos do terreno, ação fluvial ou do vento, entre outras, e ainda por alterações no terreno ou no escoamento da água. As autoras mostram as diferenças entre lagos naturais e lagos artificiais. As características morfométricas: área superficial, volume, comprimento máximo, profundidade máxima e média, perímetro e índice de desenvolvimento de margem dos lagos e o conceito de tempo de residência são explicitadas em seguida. É descrito o fenômeno da estratificação térmica. A moderna limnologia classifica os lagos, em função do número de vezes que sofrem estratificação durante o ano, em: Amícticos, Monomícticos, Dimícticos, Polimícticos e Meromícticos. Suas características e comportamentos são apresentados, bem como uma tabela com valores da ocorrência de estratificação térmica em reservatórios brasileiros. O texto apresenta o perfil vertical do oxigênio dissolvido e as regiões produtoras e consumidoras de um lago, bem como suas consequências. A eutrofização, seus efeitos, conceitos de nutriente limitante, graus de trofia, índice de estado trófico, modelo de avaliação do estado trófico e medidas de controle da eutrofização encerram o Capítulo.

Os autores do **Capítulo 16**, “Ações antrópicas e seus impactos nos cursos de água”, consideram ações antrópicas como efeitos, processos e materiais derivados de atividades humanas em oposição àquelas modificações

que ocorrem em ambientes naturais sem essa influência. As sociedades formaram-se desmatando a vegetação nativa para implantar culturas selecionadas facilitando a expansão populacional. Atualmente, superamos os sete bilhões de habitantes que promovem a urbanização, a industrialização e outras ações antrópicas negativas para as águas. Os impactos sobre os recursos hídricos crescem. Textos e figuras explicam os principais efeitos das ações antrópicas nos cursos de água: poluição, degradação dos recursos hídricos, cheias, enchentes, inundações e assoreamento. A seguir, são apresentadas, com apoio de inúmeras fotos, as mais significativas ações antrópicas diretas nos cursos de água: canalizações, retificações, desassoreamento, limpeza dos corpos de água, captações de água, derivações de cursos de água, barramentos, diques, represas e ocupação de várzeas. Na conclusão do capítulo, é fornecida uma tabela que correlaciona os tipos de intervenção com as consequências nos meios físico, biótico e antrópico.

Segundo a autora do **Capítulo 17**, “Ambientes costeiros”, os oceanos apresentam uma biodiversidade imensa, com milhões de espécies-chave, além de atuar como agente regulador do clima. A Plataforma Continental, uma das unidades do relevo submarino, representa extensões submersas dos continentes com baixa declividade e é a de maior importância para o estudo dos fenômenos que ocorrem junto à zona costeira. No planeta Terra ocorrem oscilações do nível do mar, fazendo com que as plataformas continentais ora estejam submersas e ora emersas, deslocando as linhas de costa e alterando ambientes marinhos. Uma tabela mostra os volumes de sedimentos transportados para o mar, conforme os processos de transporte: fluvial, eólico, por gelo, vulcanismo, erosão costeira e outras formas. A autora descreve a formação de cada tipo de onda do mar, suas características, movimentação e direção de propagação. Explica que existem várias definições sobre praia e seus limites e mostra as alterações do perfil da praia ao longo do tempo. Prossegue com os principais fatores responsáveis pela erosão costeira. Encerra o capítulo descrevendo e ilustrando as principais obras destinadas a conter a erosão costeira: obras longitudinais, obras transversais, obras destacadas da costa e alimentação artificial de praias.

No **Capítulo 18**, “Águas de chuva: poluição difusa e aproveitamento em uso não potável”, o autor descreve os principais tipos de chuva: convectivas, orográficas e frontais. Considera que poluição difusa é aquela gerada, principalmente, pelo escoamento superficial da água de chuva em zonas urbanas (poluição difusa urbana) e a que provém de atividades poluentes de forma esparsa (poluição difusa rural) sobre a área da bacia hidrográfica, diferentemente da poluição pontual (lançamento em local bem definido). O texto descreve os principais impactos da poluição difusa, apresenta as maneiras de controlá-la, além de explicar as práticas estruturais e

não estruturais positivas no seu combate. Também apresenta as principais razões e condições que levam à opção pelo aproveitamento da água de chuva e destaca a importância da eliminação do *first flush* (primeiros fluxos) das chuvas, além de descrever os sistemas de aproveitamento e seus respectivos equipamentos. O autor conclui indicando as exigências de qualidade da água, os métodos de dimensionamento dos sistemas, a previsão de consumo de água e os processos de manutenção dos sistemas de aproveitamento das águas pluviais, incluindo custos.

O **Capítulo 19**, “Gestão dos recursos hídricos”, apresenta uma visão mundial e nacional da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos que relaciona a disponibilidade hídrica (tanto em quantidade como em qualidade) com o conjunto de usos atuais e potenciais da bacia hidrográfica. Apresenta os processos de gestão das águas na União Europeia, dando destaque para o rio Danúbio, que abrange quatorze países, para o rio Amazonas, na América Latina, e o rio Nilo, na África. Os autores discorrem sobre os fundamentos, os objetivos, as diretrizes e os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Os Planos de Recursos Hídricos, documentos que visam fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional, devem conter, no mínimo, diagnósticos da situação, análise de alternativas de crescimento, evolução das atividades produtivas, além de outros elementos, visando ao desenvolvimento de projetos para o atendimento das metas previstas na respectiva bacia hidrográfica. Os autores fornecem detalhes dos processos de Enquadramento em classes dos corpos de água, da Outorga de direito de uso, da Cobrança pelo uso da água, do Sistema de Informações e de Gerenciamento, dos Comitês e Agências de Água. Concluem apresentando o estágio atual da gestão das águas no Brasil.

O **Capítulo 20**, “Gestão de sistemas de água e esgotos”, que pressupõe que os leitores tenham conhecimento prévio sobre os sistemas físicos, inicia mostrando a diferença entre o conceito de sistema físico (conjunto de

obras e equipamentos) e o conceito de serviço (atendimento às expectativas) em um Serviço de Abastecimento de Água e Esgotos. São, então, descritas as naturezas, as exigências e as responsabilidades das demandas públicas e privadas, bem como seus relacionamentos nos sistemas de abastecimento de água e de sistema de esgoto. A experiência nacional nas formas de organização desses serviços – como modelos de delegação interna, de delegação externa, contratos de concessão e dos tipos (terceirização, gerenciamento, arrendamento, BOOT e PPP) – é minuciosamente fornecida. O capítulo encerra com a experiência Internacional no tema, com os modelos tarifários atuais e com uma relação de possíveis novos desafios na ampliação do escopo desses tipos de serviço.

O **Capítulo 21**, “Gestão ambiental”, destaca, inicialmente, que os primeiros registros históricos de saneamento datam de 3750 a.C., e se referem a galerias de esgoto na Índia. O texto enfatiza que o relatório “Limites do Crescimento”, publicado em 1972, estabeleceu um novo paradigma acerca da questão ambiental, e passa por diversos episódios marcantes chegando ao “Relatório Brundtland”, intitulado “Nosso Futuro Comum”, de 1987. Mais adiante apresenta a Rio 92, a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e a Agenda 21, que reflete um consenso mundial sobre a necessidade da cooperação internacional em prol do desenvolvimento sustentável. Fala sobre o protocolo de Kyoto e eventos mais recentes. Apresenta a Política Nacional de Recursos Hídricos brasileira, seus princípios, bases e instrumentos. Prossegue explicando a nossa Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) de 1981, a criação do Conama e do Ibama, a exigência dos EIA/RIMA, mostra as diferenças entre Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação. Apresenta as etapas para o procedimento de licenciamento ambiental no Brasil. Descreve, em seguida, os cinco Princípios da gestão ambiental, classifica as Auditorias e conclui mostrando, em quadro, os Objetivos e Benefícios da Auditoria Ambiental.

Manifesto FAT – Apoio ao livro

As preocupações com a degradação do Meio Ambiente e com a Sustentabilidade do Planeta Terra têm avançado em varias frentes. Existe, todavia, uma crescente percepção de que esses avanços não se dão no ritmo desejado e não atingem, com a profundidade necessária, a elaboração de publicações técnico-científicas específicas em nosso País.

A missão da FAT, Fundação de Apoio à Tecnologia, baseia-se no incentivo à pesquisa, ao desenvolvimento tecnológico e à educação para sustentabilidade. De todos os recursos naturais importantes ao meio ambiente e à sustentabilidade, a água, é o que requer nossa atenção urgente, pois através dela que toda Vida nasce

e se mantêm. Captando a premência de publicações focadas na importância quantitativa e qualitativa do uso, conservação e gestão dos recursos hídricos, a Fundação FAT apóia a confecção deste livro Ciclo Ambiental da Água: da chuva à gestão, que foi elaborada por mais de duas dezenas de reconhecidos professores, pesquisadores e consultores das principais entidades nacionais, em suas respectivas áreas de atuação.

Esperamos que esta obra possa subsidiar o conhecimento e o desenvolvimento técnico-científico de profissionais, estudiosos e demais interessados na sustentabilidade do Planeta Terra.

César Silva
Diretor Presidente da Fundação FAT



A água e o ambiente

Dirceu D'Alkmin Telles

Introdução

1.2 A água no meio ambiente

1.3 Ecossistemas aquáticos

1.4 Características da água

- 1.4.1 Características físicas
- 1.4.2 Características químicas
- 1.4.3 Características biológicas
- 1.4.4 Propriedades
- 1.4.5 Qualidade das águas naturais

1.5 A água no planeta

- 1.5.1 Disponibilidade e escassez
- 1.5.2 Dependência de água
- 1.5.3 Uso de águas subterrâneas no mundo
- 1.5.4 Processos de autodepuração e eutrofização
- 1.5.5 Tratamento, reúso e dessalinização
- 1.5.6 O acesso à água e sua relação com a saúde
- 1.5.7 Enchentes, inundações, secas e desertificação

1.6 A água no Brasil

- 1.6.1 Disponibilidades
- 1.6.2 Demandas
- 1.6.3 Disponibilidades × demandas
- 1.6.4 Setores usuários de água
- 1.6.5 Águas subterrâneas no Brasil
- 1.6.6 Qualidade das águas superficiais
- 1.6.7 Problemas e desafios para a gestão dos recursos hídricos

1.7 Conflitos pelo uso da água

- 1.7.1 Conflitos internacionais
- 1.7.2 Conflitos nacionais

Referências bibliográficas

1.1 Introdução

O termo água, um recurso natural renovável, tem inúmeros significados. Para os ambientalistas, significa vida para a fauna e para a flora. Para os setores de usuários, representa um recurso de grande utilidade que pode servir para abastecer populações e indústrias, para produzir alimentos, como meio de transporte de mercadorias, de pessoas e de efluentes, e para gerar energia, entre outras utilidades.

As sociedades possuem uma relação peculiar com a água, que reflete a diversidade de valores e de experiências acumuladas. Como referência social e cultural, a água encontra grande expressão nas artes, na mitologia, no folclore, na ciência e na política. Para as religiões, tem o poder de purificar a alma e o corpo. No Alcorão, documento supremo dos muçulmanos, está escrito: “Por meio da água, damos vida a tudo”.

Em diferentes épocas, povos e culturas, a água é considerada um elemento vital e fundamental para um desenvolvimento garantido para as futuras gerações. Ela tem sido, e continua sendo, instrumento de dominação.

Cada um tem sua visão sobre o que representa a água. Com a politização e o aprimoramento legal e institucional, na gestão democrática e participativa dos recursos hídricos, essa situação vem sendo enfrentada.

Quando se refere ao termo *água*, em geral, considera-se o elemento natural desvinculado de utilização, já o termo *recurso hídrico* considera a água como bem econômico utilizável para diversos fins.

Atualmente, os termos quantidade e qualidade da água não podem ser dissociados, tendo em vista o uso ambiental e sustentável.

O abastecimento de água no mundo está em crise, e a situação vem piorando e não melhorando, apesar de planos grandiosos de organismos mundiais, regionais e locais. Desde os anos 1970, percebe-se que questões básicas precisam ser resolvidas. Em regiões de maior escassez, mulheres e crianças são penalizadas com serviços pesados de transporte manual desse precioso líquido, às vezes, por quilômetros, em utensílios rudimentares.

Sofrer de carência de água representa muitos problemas. Geralmente, em regiões pobres, não há água suficiente para beber, para limpeza, para o cultivo da terra ou para a criação de animais. Há necessidade de se percorrer longos trajetos, diariamente, para transportar água, captada em reservatórios, açudes ou nascentes (Figura 1.1). Este fato contrasta com imagens de pessoas ricas, desperdiçando água ao lavar pisos e calçadas usando “vassouras hidráulicas” (Figura 1.2), regando gramados, abastecendo luxuosas piscinas e tomando longos banhos.



Figura 1.1 Água captada em reservatório e transportada por tração animal.

Fonte: retirado do livro *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil* (2002).



Figura 1.2 Desperdício de água pelo uso de “vassoura hidráulica” para lavagem de pisos e calçadas.

Fonte: arquivo pessoal do autor.

A falta de água em quantidades ou em qualidade é o principal obstáculo ao desenvolvimento de regiões pobres e uma das principais razões pelas quais tanta gente fica doente ou morre prematuramente.

Grande parte das águas que utilizamos vem de aquíferos subterrâneos. A questão é que as retiradas têm sido muito superiores às capacidades de recarga destes aquíferos, pois essa recarga é naturalmente muito lenta. O nível dos lençóis está baixando e os poços vêm secando. O rebaixamento dos lençóis causa também recalques na superfície do solo, como observado em diversas partes do mundo. Exemplos notórios são a cidade do México e Pequim.

Outras questões relevantes são as construções de grandes reservatórios para acumulação de água, as mudanças nos traçados naturais dos cursos de água e as chamadas reversões ou transposições de bacias hidrográficas.

Para o Banco Mundial, “As guerras do século XX foram travadas por causa do petróleo; as deste século serão travadas por causa da água”.

Um dos maiores desafios da humanidade, no século XXI, é assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos, como condição essencial para a cidadania plena, qualidade de vida, redução da pobreza, em um modelo de desenvolvimento que considere os direitos das atuais e futuras gerações a um ambiente limpo e saudável.

De acordo com Rebouças *et al.* (2006), o conceito de desenvolvimento sustentável foi introduzido, em uma versão moderna, pelo relatório “Nosso Futuro Comum”, preparado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, publicado em 1987. Resumidamente, o desenvolvimento é sustentável quando provê as necessidades da geração atual, sem comprometer a habilidade de que futuras gerações possam prover as suas.

Essa conceituação abrange um grande leque de relações entre o homem e a natureza. Entende-se que a espécie humana deve utilizar os recursos naturais de forma a não alterar as condições de equilíbrio planetário, o qual depende fundamentalmente do equilíbrio climático atual e da biodiversidade existente.

Entre os fatores que limitam o desenvolvimento sustentável, está a substância fundamental para os processos vitais: a água. Assim o desenvolvimento urbano, industrial e rural está diretamente ligado à oferta de recursos hídricos. Essa disponibilidade de água não envolve apenas o fator quantidade, mas também sua qualidade.

1.2 A água no meio ambiente

De acordo com Fogliatti *et al.* (2004), por meio ambiente entende-se o conjunto de elementos constituído pelas águas superficiais ou subterrâneas, solo, subsolo, ar, fauna, flora, comunidades humanas e os seus inter-relacionamentos.

O meio ambiente pode ser entendido também como a união de três conjuntos: o meio físico (águas, solo, subsolo e o ar), o meio biótico (fauna e flora) e o meio antrópico (seres humanos e seus relacionamentos entre si e com os demais elementos).

Em termos acadêmicos, o meio ambiente é considerado como composto por meio ambiente natural (biosfera e homem) e meio ambiente social (infraestrutura, sistema social, sistema político etc.).

Ainda, de acordo com os autores citados, os elementos que constituem o meio ambiente natural são aqueles que atendem às necessidades básicas de nutrição, reprodução e proteção de seres vivos. Algumas espécies de animais provocam alterações no meio ambiente, mas com capacidade limitada por fatores naturais. O homem é o único ser na natureza com capacidade de improvi-



Figura 1.3 Vitória Régia, vegetação aquática.

Fonte: retirado do livro *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil* (2002).

sar ilimitadamente, modificando o meio ambiente para torná-lo mais adequado ao seu tipo de vida. Essa substituição dos processos naturais por métodos artificiais cria conflitos entre o ser humano e o ambiente.

Em uma visão abrangente, o meio ambiente pode ser definido como conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permitem, abrigam e regem a vida em todas as suas formas.

O planeta Terra abriga um complexo sistema de organismos vivos; nele, a água é elemento fundamental e insubstituível, como mostra a Figura 1.3 Sem água, não existe vida. A água é responsável pelo equilíbrio da vida, da qual nós, seres humanos, também fazemos parte. Todas as atividades humanas dependem da água. Cuidar da água é uma questão de sobrevivência.

O nosso corpo é constituído de 70% de água. As pessoas necessitam tanto de água como de oxigênio: sem ela, não haveria vida. A água dá vida num sentido bem amplo. Os seres humanos necessitam de água potável e de saneamento para manterem a sua saúde e dignidade. A água também sustenta os sistemas ecológicos e contribui para os sistemas de produção, que garantem os meios de subsistência.

No começo do século XXI, levantamentos efetuados por reconhecidas organizações identificaram uma quantidade enorme de pessoas que morrem, no planeta, por causas atribuídas à precariedade do atendimento das necessidades mínimas de água, esgoto e higiene, como se verifica na Tabela 1.1.

Outros levantamentos, como o do aumento no número de inundações de grandes proporções (Tabela 1.2), também chamaram a atenção da sociedade contemporânea.

Atualmente, o rio Colorado, situado no sudoeste dos Estados Unidos, raramente chega ao Golfo da Califórnia. O rio Amarelo, berço da civilização chinesa, secou, pela primeira vez nos 3.000 anos de história da China, em 1972,

Tabela 1.1 Número de mortes atribuídas à precariedade de: água, esgoto e higiene, por regiões – Ano 2000.

Região	Número de mortes
Sudoeste asiático	699.000
África	608.000
Mediterrâneo Oriental	270.000
Pacífico Ocidental	77.000
Américas	55.000
Demais	15.000

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

Tabela 1.2 Evolução no número de inundações, de grandes proporções, no mundo – Período 1992-2001.

Ano	Número de inundações
1992	57
1993	82
1994	80
1995	88
1996	69
1997	77
1998	90
1999	112
2000	152
2001	156

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

deixando de chegar ao mar por uns 15 dias. Nos anos seguintes, secou, intermitentemente, mas desde 1985 tem secado, parcialmente, todos os anos. O fenômeno é tão excepcional que, em 1997, deixou de chegar ao mar por sete meses do ano. Pouca água do rio Nilo consegue alcançar o mar Mediterrâneo, e o rio Ganges, na Índia, raramente chega ao golfo de Bengala na estação seca.

Há um bom tempo, percebia-se a degradação do meio ambiente, mas prevalecia o conceito de que a natureza servia para satisfazer as necessidades e as vontades humanas. A partir de meados do século XX, a humanidade foi notando que a capacidade de fornecimento do planeta é limitada, e que o aproveitamento ilimitado dos recursos não renováveis e a poluição podem causar danos irreversíveis ao meio ambiente. Esses fatos chamaram a atenção de organismos internacionais, como a Organização das Nações Unidas (ONU) e de financiadoras de projetos, como o Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) e o Banco Inte-

ramericano de Desenvolvimento (BID), que passaram a exigir estudos de impacto ambiental para o atendimento de solicitações de recursos financeiros.

1.3 Ecossistemas aquáticos

A superfície da Terra apresenta uma grande diversidade de habitats, em decorrência da variação do clima, da distribuição de nutrientes, da topografia e de outros elementos, o que leva a uma grande diversidade de seres vivos, conforme a capacidade dos indivíduos e das espécies como um todo para se adaptarem às referidas condições. Por isso, podemos dividir o planeta Terra em regiões de grande extensão, chamadas de ecossistemas, onde predomina um determinado tipo de vida (BRAGA *et al.*, 2002).

Os grandes ecossistemas terrestres são chamados de biomas, que se distribuem, em grande parte, em função da latitude, uma vez que o clima varia diretamente com ela. Os biomas se diferenciam também conforme o solo e a vegetação que se inter-relacionam, um afetando e modificando o outro.

Devemos destacar os ecossistemas aquáticos, uma vez que uma parcela de 75% da superfície da Terra é ocupada pelas águas. Os continentes (ecossistemas terrestres) são habitados na superfície, o domínio aquático (ecossistemas aquáticos) é ocupado em todas as suas dimensões.

As principais diferenças entre os ecossistemas aquáticos e terrestres são bem conhecidas:

A água é, muitas vezes, fator limitante nos ecossistemas terrestres; nos aquáticos marinhos, a luz é que se torna limitante.

As variações de temperatura são mais pronunciadas no meio terrestre.

Os ecossistemas terrestres apresentam uma biomassa vegetal muito maior que os aquáticos, que, por sua vez, têm cadeias alimentares bem maiores.

Os ecossistemas aquáticos são de dois tipos, os de água doce e os de água salgada (águas marinhas). É considerada água doce aquela cuja concentração de sais dissolvidos é de até 0,5 g/L. A concentração média das águas marinhas é de 35 g/L. A salinidade da água é fator limitante na distribuição dos seres aquáticos: algumas espécies são estritamente marinhas, outras são de água doce.

Os seres aquáticos são de três categorias principais, em função do seu modo de vida: Plânctons (organismos em suspensão sem locomoção própria como as algas e os protozoários), Bentos (vivem na superfície sólida submersa, podendo ser fixos ou móveis) e Néctons (possuem meio de locomoção própria, como os peixes).

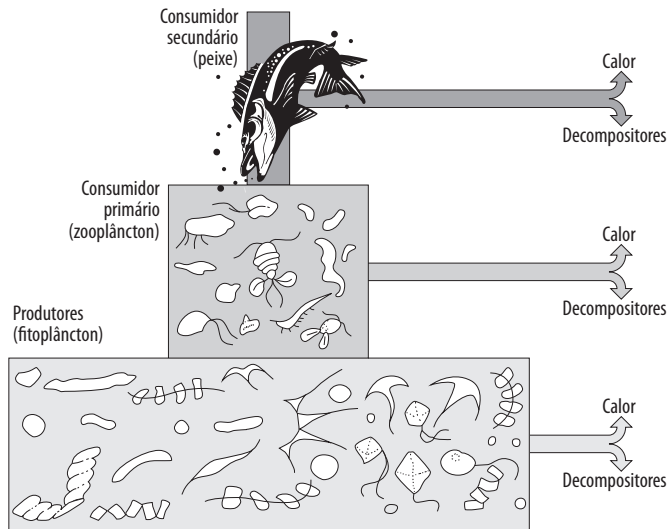


Figura 1.4 Cadeia alimentar aquática.

Fonte: adaptado do livro *Introdução à engenharia ambiental* (2002).

As algas (o principal grupo de *produtores*), os moluscos, os insetos aquáticos, os crustáceos e os peixes (os principais *consumidores*), além das bactérias e fungos, vivem nos ecossistemas de água doce (Figura 1.4).

Os ecossistemas de água doce são divididos em dois grupos: os lânticos, cujas águas são praticamente paradas (lagos e pântanos), e os lóticos, cujas águas são correntes (rios, nascentes e corredeiras).

RIOS: Os rios (cursos de água) são profundamente associados ao ambiente e seu entorno, dependendo dele para o atendimento da maior parte das necessidades de suprimento de energia de seus indivíduos, uma vez que os *produtores* nele encontrados não são suficientes, tornando, assim, os cursos de água *ecossistemas abertos*. Os principais elementos que influem no povoamento dos cursos de água são: a velocidade da água, a natureza do fundo, a temperatura, a oxigenação e a composição química das águas.

LAGOS: São constituídos por águas praticamente paradas. A sua produtividade depende de sua profundidade, de sua idade geológica e do recebimento de nutrientes do exterior. Os lagos oligotróficos (profundos e geologicamente jovens) são aqueles de baixa produtividade; os eutróficos são aqueles onde a vida aquática é abundante, tanto sua flora como sua fauna são extremamente ricas e possuem elevada capacidade de depuração de matéria orgânica.

OCEANOS: Os oceanos são fundamentais para os ecossistemas que se desenvolvem em suas águas e também para os demais ecossistemas do planeta, em virtude de sua influência nas características climáticas e atmosféricas da Terra.

A região melhor conhecida dos oceanos é a denominada *plataforma continental*, que se estende até a profundidade de 200 metros. É de grande valor econômico para o homem em virtude de suas ricas regiões de pesca.

ESTUÁRIOS: Estuários são corpos de água litorâneos, semifechados, com livre acesso para o mar. As águas marinhas se misturam com as águas doces provenientes do continente. A salinidade dos estuários apresenta grande variação durante o ano, por essa razão as espécies que os habitam possuem grande tolerância a tais variações. Neles, geralmente, as condições de alimento são muito favoráveis.

1.4 Características da água

A água, nas condições normais de pressão e temperatura, em estado puro, é um líquido sem cor nem gosto ou odor, formado por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, em cada molécula. Quimicamente, é um óxido de hidrogênio, com a fórmula H_2O . Abaixo de $0^\circ C$, a água se solidifica em forma de gelo. Quando aquecida a $100^\circ C$, entra em ebulição, formando um gás incolor chamado vapor d'água.

Com o calor proveniente do sol, parte das águas superficiais e dos oceanos evapora-se continuamente, formando vapor de água. Esse vapor sobe para a atmosfera e, resfriando-se, condensa em pequenas gotas de água. Conjuntos destas pequenas gotas formam as nuvens. Fatores diversos provocam o resfriamento da água contida na nuvem, ocasionando as precipitações, em suas diversas formas, sobre a superfície terrestre. Assim, os solos, os rios, os riachos e os oceanos são alimentados de água. O processo continua, repetidamente, sendo conhecido como o ciclo da água ou ciclo hidrológico (Figura 1.5). Anualmente, um volume da ordem de $577.200\ km^3$ sobe da Terra para a atmosfera, sob a forma de vapor (sendo $503.000\ km^3$ evaporados dos oceanos e $74.200\ km^3$ evapotranspirados das terras emersas). A quantidade de água meteórica que cai, nas formas de chuva, neve e neblina, é de $458.000\ km^3$ nos oceanos e $119.000\ km^3$ nos continentes.

A diferença entre as quantidades de água que evaporam e caem nos oceanos ($47.000\ km^3/ano$) representa a umidade que é transferida para os continentes. Por outro lado, a diferença entre o volume precipitado nas terras emersas e o dele evapotranspirado ($44.800\ km^3/ano$) é o excedente hídrico que se transforma em fluxos dos rios, alimenta a umidade do solo e os aquíferos subterrâneos.

Todos os organismos necessitam de água para sobreviver, sendo sua disponibilidade um dos fatores mais importantes a moldar ecossistemas. É fundamental que a água apresente condições adequadas para sua utilização pelos seres vivos.

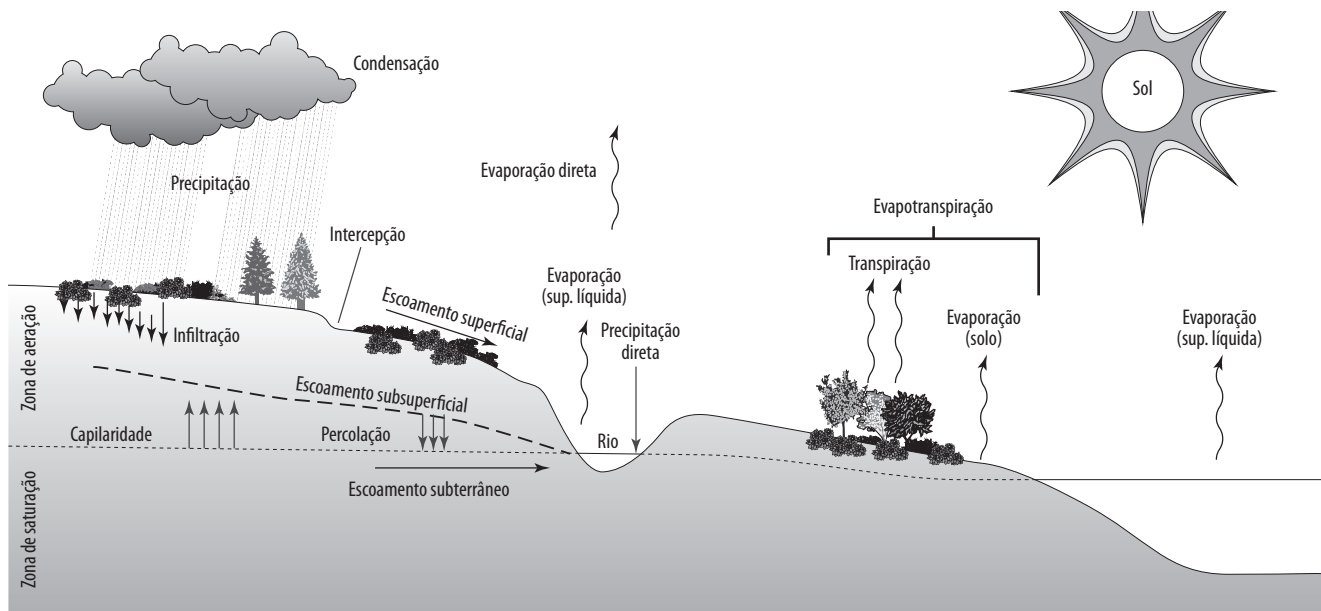


Figura 1.5 Ciclo hidrológico esquemático.

Fonte: adaptado do livro *Introdução à engenharia ambiental* (2002).

Nem toda a água disponível no planeta Terra pode ser aproveitada nas condições encontradas pelo homem. As águas salgadas não podem ser utilizadas diretamente para o abastecimento humano, a não ser após passagem por sofisticados e caros tratamentos. A extração de águas muito profundas está sujeita a limitações econômicas. As águas das geleiras, geralmente, estão muito distantes dos centros consumidores, implicando custos de transporte elevados.

De acordo com Braga *et al.* (2002), estima-se que apenas 0,5% da água do planeta é água doce explorável do ponto de vista tecnológico e econômico. Deve-se ainda descontar as águas doces que se encontram poluídas e em locais de difícil acesso, restando assim apenas 0,003% do volume total de água do planeta. Por outro lado, essa água doce está distribuída de maneira bastante heterogênea no espaço e no tempo no globo terrestre.

Conforme Braga *et al.* (2002), a Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que 25 milhões de pessoas no mundo morram, por ano, em decorrência de doenças transmitidas por água de má qualidade, como cólera e diarreia.

A qualidade da água está diretamente ligada à quantidade de água existente para abastecer, dissolver, diluir e transportar as substâncias benéficas e malélicas para os seres que compõem as cadeias alimentares. O termo qualidade está vinculado ao(s) uso(s) a que se destina, seu(s) uso(s) preponderante(s).

Ao avaliar a qualidade da água, deve-se considerar suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

No Brasil, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) de número 357, de 15 de março de

2005 (alterada e complementada pela Resolução Conama 430, de 13 de maio de 2011), dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas em 13 classes de qualidade, segundo a qualidade requerida para seus usos preponderantes. A Resolução 357 enfatiza: “águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em usos menos exigentes, desde que não prejudiquem a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes”.

De acordo com a Resolução 357, são consideradas ÁGUAS DOCES as que têm salinidade $\leq 0,5\text{‰}$ (subdivididas em 5 classes), são ÁGUAS SALOBRAS aquelas cuja salinidade seja $> 0,5\text{‰}$ e $< 30\text{‰}$ (subdivididas em 4 classes) e são ÁGUAS SALINAS as que possuem salinidade $\geq 30\text{‰}$ (subdivididas em 4 classes).

1.4.1 Características físicas

De acordo com Braga *et al.* (2002), a densidade da água é elevada, cerca de oitocentas vezes superior à densidade do ar. Este fato determina a interface bem definida entre o meio aquático superior e a atmosfera. A densidade da água varia com a temperatura, a pressão e a concentração de substâncias dissolvidas. Suas variações são muito pequenas, mas suficientes para dar origem a uma série de fenômenos sob o aspecto ambiental. A densidade da água atinge seu maior valor a 4 °C (1.000 kg/m³). A 0 °C a densidade da água é menor que a 4 °C, o que faz com que o gelo (água no estado sólido) flutue sobre a água em estado líquido. Mas mesmo quando há gelo sobre a superfície dos corpos de água, sua parte infe-

rior pode permanecer no estado líquido, possibilitando a existência de vida aquática.

A presença de sais dissolvidos, em maior ou menor concentração, afeta a densidade da água. Assim, por exemplo, as águas salgadas, em virtude da presença de sais, são mais densas que as doces. Esse fato é de muita relevância nos estuários que recebem água doce de montante e água salina dos mares e oceanos. Desse modo, determinadas substâncias podem ser transportadas em ambos os sentidos nesses ambientes.

Braga *et al.* (2002) afirmam que a importância da penetração da luz nos meios aquáticos é clara, pois é fator fundamental para a fotossíntese e, dessa forma, pode modificar toda a biota do corpo de água. A cor e a turbidez da água afetam substancialmente a penetração da luz no meio aquático. A cor pode ser classificada como real ou aparente. A cor real está relacionada com presença de substâncias dissolvidas e afeta a penetração da luz. A cor aparente está associada a reflexos originados na paisagem ao redor do corpo de água e à cor do leito. Partículas minerais e algas também alteram a turbidez da água.

A viscosidade da água é inversamente alterada em função das variações de sua temperatura: maior temperatura significa menor viscosidade. Assim, despejos de água quente podem ser danosos aos ecossistemas aquáticos, pois, com a diminuição da viscosidade, a velocidade de sedimentação dos fitoplânctons aumenta, afastando-os da zona mais iluminada, reduzindo ou cessando a fotossíntese.

O calor específico da água é bastante elevado, portanto, a água pode liberar ou absorver grandes quantidades de calor sob variações pequenas de temperatura. Essa propriedade faz que a água seja muito utilizada em refrigeração de motores e processos industriais. O alto calor específico da água produz variações nos meios aquáticos, assim, toda sua biota não se adapta para viver em grandes variações de temperatura.

A tensão superficial da água oferece resistência à penetração da luz, criando, na superfície, um habitat de muitas espécies de animais que vivem sobre ela. Para pequenos organismos, essa tensão superficial constitui barreiras para que não escapem do corpo de água. A presença de detergentes restringe a tensão superficial, afetando sobremaneira organismos que dependem dela e criando outros problemas, como a geração de espumas.

1.4.2 Características químicas

A água é um ótimo solvente, sendo considerada **solvente universal**, pois é capaz de dissolver uma grande variedade de substâncias orgânicas e inorgânicas. Por outro lado, algumas substâncias dissolvidas nas águas naturais são essenciais à sobrevivência dos organismos aquáticos.

O pH, potencial hidrogeniônico, é a medida da acidez ou alcalinidade de uma solução. O pH da água pura a 25 °C é igual a 7, variando de 0 a 7 nos meios ácidos e de 7 a 14 nos alcalinos. O valor do pH rege muitas reações químicas que ocorrem no meio ambiente e também nos sistemas biológicos. Valores do pH entre 6,5 e 8,5 não provocam grandes danos nos organismos aquáticos.

Os sais dissolvidos servem como nutrientes para os organismos autótrofos que são fundamentais nas cadeias alimentares no meio aquático. Esses organismos necessitam de quantidades moderadas de sais de cálcio, magnésio, sílica, sódio, potássio e de quantidades mínimas de sais de manganês, zinco, cobre e ouro. Porém os sais de fósforo e de nitrogênio são fatores limitantes para o desenvolvimento desses organismos no ambiente, de modo que um aumento na concentração desses sais pode gerar uma proliferação de algas, provocando, assim, a eutrofização.

A presença de gases dissolvidos naturalmente na água, como o oxigênio e o dióxido de carbono, permite a respiração aeróbia e a fotossíntese. A água do mar apresenta menor concentração de gases dissolvidos do que a água doce, nas mesmas condições de pressão e temperatura, em virtude da maior concentração de sais dissolvidos.

1.4.3 Características biológicas

Os organismos aquáticos se dividem nos seguintes grupos: peixes, anfíbios, répteis, aves, mamíferos, vírus, bactérias, vermes, fungos, algas, macrófitas, protozoários rotíferos, crustáceos, insetos e moluscos. Esses organismos também podem ser classificados pelo meio onde vivem. O plâncton é a comunidade de seres vivos que vivem em suspensão no meio aquático, sendo genericamente subdivididos em fitoplâncton (comunidade vegetal) e zooplâncton (comunidade animal). O nécton refere-se aos organismos que possuem capacidade de locomoção própria. Os organismos que habitam os leitos dos corpos de água são os bentônicos.

Havendo condições físicas e químicas adequadas, poderá surgir, nos meios aquáticos, uma cadeia alimentar composta por organismos produtores, consumidores de várias ordens e decompositores. Esses organismos desempenham papéis importantes no meio aquático, sendo fonte de alimentação para o ser humano, atuando na recuperação da qualidade de águas poluídas e, também, na ocorrência de uma série de doenças, conhecidas como de veiculação hídrica.

1.4.4 Propriedades

A água é uma das poucas substâncias inorgânicas que se apresenta no estado líquido nas condições normais de pressão e temperatura. A Tabela 1.3 apresenta algumas propriedades da água, usadas principalmente em cálculos de dimensionamento.

Tabela 1.3 Principais propriedades da água.

Propriedade	Valor
Ponto de congelamento	0 °C
Densidade do gelo a 0 °C	0,92 g/cm ³
Densidade da água a 0 °C	1,00 g/cm ³
Calor de fusão	80 cal/g
Ponto de ebulição	100 °C
Calor de vaporização	540 cal/g
Calor específico	4,179 J/(g)(°C)
Temperatura crítica	347 °C
Pressão crítica	217 atm (22,0 MPa)
Viscosidade da água líquida a 25°C	0,8937 cP
Condutividade térmica a 25 °C	5,30 cal/h · cm · °C
Condutividade elétrica específica a 25 °C	1x10 ⁻⁷ ohm ⁻¹ · cm ⁻¹
Constante dielétrica	78

Fonte: adaptado do livro *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação* (2006).

1.4.5 Qualidade das águas naturais

A água pura, líquido incolor, insípido, inodoro e de fórmula H₂O, não é encontrável na natureza. Isso se deve, principalmente, ao fato de praticamente todas as substâncias serem, em maior ou menor grau, solúveis em água, razão pela qual é conhecida como solvente universal. Impurificar a água é, portanto, extremamente fácil, por contato com outras substâncias.

Em qualquer momento do ciclo hidrológico, a água pode ser “contaminada”, esteja ela no estado de vapor em contato com a atmosfera, quanto no estado líquido, seja na fase descendente (precipitação), seja no contato com a superfície terrestre e, cada vez mais, em decorrência das atividades antropogênicas.

O tipo das impurezas encontradas nas águas naturais depende, fundamentalmente, das características regionais onde se formam as nuvens, dos locais onde é precipitada, dos ambientes percorridos e do local onde se localiza sua fonte. Essas impurezas podem se encontrar dissolvidas (gases, líquidos ou sólidos solúveis) ou em suspensão (partículas sólidas ou coloides).

Os principais gases encontrados na água são o gás carbônico (CO₂) e o oxigênio (O₂), absorvidos do ar atmosférico. O CO₂ merece atenção especial, pois é um componente importante nas reações da água com outros compostos.

No contato com a superfície da Terra, à medida que escoar, infiltra e percola em suas diversas camadas, a água interage com o meio e, como resultado, sua composição se altera. Dessa forma, são incorporadas à água diversas impurezas na forma de materiais dissolvidos (bicarbonatos, sulfatos, cloretos de cálcio, magnésio, sódio etc.) ou na forma de materiais em suspensão.

As impurezas presentes na água podem modificar significativamente suas propriedades.

1.5 A água no planeta

A Terra é o único corpo do Universo, até agora conhecido, onde a água ocorre, simultaneamente, nos três estados fundamentais: líquido, sólido e gasoso.

De acordo com Rebouças *et al.* (2006), cerca de 97,5% da água do planeta Terra é água salgada e apenas 2,5%, água doce. Da água doce existente, aproximadamente 68,9% encontram-se nas geleiras, calotas polares ou em regiões montanhosas; em torno de 30% são águas subterrâneas; cerca de 0,9% compõe a umidade do solo e pântanos, e menos de 0,3% constitui a porção superficial da água doce, presente em rios e lagos. A quantidade total de água no planeta é de 1.386 milhões de km³. Esse valor tem permanecido constante, pelo menos, durante os últimos 500 milhões de anos. Porém, as quantidades estocadas nos diferentes reservatórios de água da Terra, variam, substancialmente, ao longo do citado período. Durante a Grande Idade do Gelo, cujo apogeu ocorreu há cerca de 20.000 anos, as massas de gelo cobriram grandes extensões de terras emersas. Essa situação provocou a transferência da ordem de 47 milhões de km³ de água dos oceanos para os continentes. Em consequência, os registros geológicos apontam para um rebaixamento dos mares e oceanos de cerca de 130 metros.

O volume de água na Terra é fixo, não cresce nem diminui, mas a qualidade piora consideravelmente.

O crescimento populacional, particularmente nos países em desenvolvimento, e a maior demanda de água para usos agrícola e industrial, provocaram o aumento do consumo global de água de cerca de 1.000 km³/ano para aproximadamente 4.100 km³/ano, nos últimos 50 anos.

No período de 1900 a 1995, o consumo total de água para as atividades humanas cresceu seis vezes, que é mais do que o dobro do crescimento da população mundial nesse período. O aumento do consumo é maior nos países em desenvolvimento do que nos desenvolvidos, em virtude do crescimento da população. As Nações Unidas preveem a estabilização do crescimento populacional somente no final do século XXI, mais de 90% des-

Tabela 1.4 *Evolução e projeção do consumo total mundial anual de água (km³).*

Ano	Consumo
1900	579
1950	1.382
2000	3.973
2025 (projeção)	5.235

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

se crescimento ocorrerá nos países em desenvolvimento. Sem dúvida, a água será um recurso limitante neste século XXI, e vai atingir mais severamente os países que estão se desenvolvendo.

À medida que as populações crescem e as aspirações dos indivíduos aumentam, há cada vez menos água disponível por pessoa. Em 2000, o mundo consumiu duas vezes mais água que em 1960. A Tabela 1.4 apresenta a evolução e a projeção do consumo mundial de água para o ano 2025.

No início deste século, grande parte das populações regionais, urbanas e rurais ainda não tinha acesso a fontes de água pura, como mostra a Tabela 1.5.

Mais de 1 bilhão de pessoas não têm acesso à água potável. Por volta de 2050, quase metade da população mundial, ou seja, 4 bilhões de pessoas, sofrerá a falta desse recurso. O mundo caminha rapidamente para ficar sem quantidades ou qualidades de águas limpas.

O regime de chuvas varia muito entre as diferentes áreas de um mesmo continente, e como também a população não está distribuída de forma homogênea, a disponibilidade de água doce *per capita* é bastante desigual nas várias regiões do planeta: desde níveis ex-

Tabela 1.5 *Porcentual da população regional com acesso a fontes de água pura (%) – Ano 2000.*

Regiões	Urbano	Rural
África	85	47
Ásia	93	74
América Latina e Caribe	93	62
Europa	100	87

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

tremamente baixos, de 1.000 m³/ano *per capita*, até níveis muito elevados, superiores a 50.000 m³/ano.

1.5.1 Disponibilidade e escassez

A água doce não está distribuída uniformemente pelo globo e está relacionada com os diversos ecossistemas da Terra. Dependendo das características dos ecossistemas que compõem o território de uma região ou de um país, esses ecossistemas podem ter mais ou menos água. A Tabela 1.6 apresenta as disponibilidades hídricas renováveis no ano 2000, em países e regiões selecionadas.

Em países ricos em água, como o Brasil e o Canadá, a questão não preocupa muito. Em algumas áreas secas como no sudoeste dos Estados Unidos, a situação local já é alarmante, com a agricultura, as cidades e as indústrias lutando pelo controle, já maximizado, de recursos hídricos.

O regime de chuvas e a população não se distribuem homogeneamente e, dessa forma, a disponibilidade de água *per capita* varia de 120.000 m³/ano, no Canadá, a 300 m³/ano na Jordânia. A América do Sul e a América do Norte têm abundância, em contraste com a África Subsaariana e o Leste da Ásia, que sofrem de acentuada

Tabela 1.6 *Relação de disponibilidades de recursos hídricos renováveis internos de países e de regiões selecionadas (em m³, por pessoa, por ano) – Ano 2000.*

Menos de 1.000 Escassez de água	1.000-1.699 Água no limite	1.700-2.999 Insuficiência de água	3.000-9.999 Suficiência relativa	10.000 ou mais Abundância
Norte da África Oriente Médio Hungria Bangladesh	Norte da Europa Índia África do Sul Zimbábue Sudão	Oeste da Europa Reino Unido China Turquia Irã Nigéria Afeganistão Países da África Central	EUA Argentina México Cuba Países do sul da África Tailândia Vietnã Filipinas	América do Sul Canadá Austrália, Nova Zelândia Suécia Noruega Finlândia, Rússia Portugal Países do sudoeste da África

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água: o mapeamento completo do recurso mais precioso do planeta* (2005).

Tabela 1.7 Países principais com “estresse de água” ou “escassez de água” (m³/hab/ano) – Períodos de 1990 e 2025.

Continente/ Região	País	Ano 1990	Projeção para 2025
África	Argélia	750 - estresse	380 - escassez
	Cabo Verde	500 - estresse	220 - escassez
	Camarões	2.040	790 - estresse
	Egito	1.070	620 - estresse
	Quênia	590 - estresse	190 - escassez
	Líbia	160 - escassez	60 - escassez
	Marrocos	1.200	680 - estresse
	Ruanda	880 - estresse	350 - escassez
	África do Sul	1.420	790 - estresse
	Tunísia	530 - estresse	330 - escassez
América do Norte e Central	Barbados	170 - escassez	170 - escassez
	Haiti	1.690	960 - estresse
América do Sul	Peru	1.790	980 - estresse
Ásia/Oriente Médio	Irã	2.080	960 - estresse
	Israel	470 - escassez	310 - escassez
	Jordânia	260 - escassez	80 - escassez
	Catar	50 - escassez	20 - escassez
	Arábia Saudita	160 - escassez	50 - escassez
	Cingapura	220 - escassez	190 - escassez
Europa	Malta	80 - escassez	80 - escassez

Fonte: adaptado do livro *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação* (2006).

escassez de água. A redução da disponibilidade de água deverá ser sentida nos próximos anos, sendo que, na África, essa redução é de quase quatro vezes, seguida, de perto, pela América do Sul e pela Ásia.

Boa parte do mundo vem enfrentando escassez. Considera-se que menos de 1.000 m³ por habitante, por ano, já representa uma condição de “estresse de água”, e que menos de 500 m³ por habitante por ano significa “escassez de água”. A Tabela 1.7 mostra a relação dos principais países com “estresse de água” ou “escassez de água”, em 1990, e a projeção para 2025.

1.5.2 Dependência de água

Um quarto da população africana sofre com o estresse hídrico, entendido como sendo de consumo de água superior aos recursos renováveis de água doce. Parte do Peru e algumas regiões do México e da América Central também se encontram nesse estado. Na China, Índia e Tailândia a situação é crítica. Kuwait, Emirados Ára-

Tabela 1.8 Os países mais pobres de água.

País	Disponibilidade m ³ /habitante/ano
Kuwait	Praticamente zero
Malta	40
Catar	54
Bahamas	75
Arábia Saudita	105
Líbia	111
Bahrein	185
Jordânia	185
Cingapura	211
Emirados Árabes	279

Fonte: adaptado do livro *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação* (2006).

Tabela 1.9 Quantidades mínimas para produzir alimentos (1 quilo) e produtos industrializados (1 quilo ou 1 litro) – Ano 2000.

Alimento/Produto	Litros de água
Arroz – kg	2.000
Batata – kg	500
Trigo – kg	900
Sorgo – kg	1.100
Soja – kg	1.650
Aves – kg	3.500
Carne bovina – kg	15.000
Carne suína – kg	5.500
Manteiga – kg	18.000
Cerveja – litro	4 a 7
Gasolina – litro	10
Leite – litro	700
Alumínio – kg	100.000
Aço – kg	95
Papel – kg	324

Fonte: baseado no livro *O atlas da água*(2005).

bes, Ilhas Bahamas e Faixa de Gaza praticamente não têm mais água. Por outro lado, Canadá, Rússia asiática, Guianas e Gabão têm uma média superior a 100.000 litros de água por ano para cada habitante. Os países mais pobres em água, localizados em zonas áridas e insulares, são relacionados na Tabela 1.8.

Do total de água consumida no mundo, 69% da água é destinado à irrigação e à dessedentação de animais, destacando-se as regiões áridas e semiáridas. Nesses setores o mau uso e o desperdício são muito altos. A indústria é o segundo maior usuário, com cerca de 21% do total mundial. O grande problema é que, geralmente, depois de usada, a água é despejada nos corpos de água bastante poluída. No caso do abastecimento humano, que envolve cerca de 10% do consumo mundial, os principais problemas são ligados ao lançamento de esgotos sem tratamento ou com tratamento inadequado, nos corpos de água. A Tabela 1.9 apresenta as necessidades mínimas de água para a produção de alimentos e de materiais industriais.

Um grande desafio deste século está no fato de que muitos países se tornam, cada vez mais, dependentes de águas geradas em bacias hidrográficas fora de seus territórios (Tabela 1.10). Problemas políticos e sociais,

Tabela 1.10 Águas geradas fora dos territórios dos países.

País	Porcentagem da água gerada fora de seu território (%)
Egito	97
Hungria	95
Mauritânia	95
Botsuana	94
Bulgária	91
Holanda	89
Camboja	82
Romênia	82
Luxemburgo	80
Síria	79
Congo	77
Sudão	77
Paraguai	70
Níger	68
Iraque	66
Albânia	53
Uruguai	52
Alemanha	51
Portugal	48
Bangladesh	42
Tailândia	39
Áustria	38
Paquistão	36
Jordânia	36
Venezuela	35
Senegal	34
Bélgica	33
Israel	21

Fonte: adaptado do livro *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação* (2006).

ligados aos recursos hídricos, se tornam cada vez mais frequentes, e sempre há perspectivas de guerra iminente tal como tem acontecido nas áreas mais secas do planeta, desde os primórdios das civilizações antigas, tanto orientais como ocidentais.

Em alguns desses países, essa dependência de recursos hídricos externos poderia ser minimizada com uma gestão adequada, incluindo racionalização do uso da água na agricultura, aproveitamento de águas subterrâneas e reúso de águas servidas.

1.5.3 Uso de águas subterrâneas no mundo

Os oceanos, mares e lagos de água salgada constituem 97,5% da água do planeta. A água doce representa apenas 2,5%. As águas doces têm sua maior parte situada nas calotas polares e geleiras, cerca de 2,0% são inacessíveis aos homens pelos meios tecnológicos atuais. Do 0,5% restante, mais de 95% são constituídos pelas águas subterrâneas.

Considera-se água subterrânea toda aquela água que ocupa todos os espaços vazios de uma formação geológica, os chamados aquíferos. Nem toda água que está embaixo da terra é considerada água subterrânea, por haver uma distinção daquela que ocupa o lençol freático, que é chamada de água de solo.

Normalmente, as águas subterrâneas são armazenadas em rochas sedimentares porosas e permeáveis, ou em rochas não porosas, mas fraturadas. Há também, mais raramente, o armazenamento nas rochas calcárias, nas quais a água da chuva é capaz de abrir canais subterrâneos, por onde flui a água subterrânea.

A utilização das águas subterrâneas data dos tempos mais remotos da civilização humana, e a evolução desse uso tem acompanhado a evolução da humanidade. Melhoramentos nas técnicas de exploração, possibilitando a retirada de água em volumes e profundidades maiores, permitiram o acompanhamento das crescentes demandas para fins potáveis, de irrigação e industriais, como mostram as Tabelas 1.11 e 1.12.

Atualmente, praticamente todos os países do mundo se valem das águas subterrâneas para suprir suas necessidades. Rússia, México, Itália, Áustria, Bélgica, Alemanha, França, Holanda, Marrocos e Hungria utilizam águas subterrâneas para atender, em média, 80% de suas demandas de abastecimento público. Outros,

Tabela 1.11 Água subterrânea retirada do subsolo para fins potáveis, em regiões selecionadas.

Regiões	(%)
Europa	75
EUA	51
Ásia e Pacífico	32
América Latina	25

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

como Dinamarca, Arábia Saudita e Malta as usam no atendimento total de suas necessidades. A cidade do México, que tem uma população de mais de 20 milhões de habitantes, atende cerca de 80% de sua demanda com águas subterrâneas. A Tabela 1.13 resume os valores consumidos, por habitante, de água subterrânea em países selecionados.

A China, o Norte da África, os Estados Unidos, a Índia e a Arábia Saudita retiram muito mais água subterrânea do que a capacidade de renovação dos seus aquíferos. A expansão das terras agrícolas também tem colaborado para o esgotamento dos aquíferos subterrâneos.

Outras consequências danosas do uso irracional das águas subterrâneas vêm ocorrendo em todo o mundo, como ilustra a Tabela 1.14.

O Aquífero Guarani, que tem presença no nordeste da Argentina, centro-sudoeste do Brasil, noroeste do Uruguai e sudeste do Paraguai, é considerado uma das maiores reservas de águas subterrâneas do mundo.

1.5.4 Processos de autodepuração e eutrofização

AUTODEPURAÇÃO: Um corpo de água, que recebe lançamentos de matéria orgânica biodegradável, pode passar por um processo natural de recuperação denominado autodepuração, que se realiza por intermédio de processos físicos, químicos e biológicos. Nessas condições, a matéria orgânica biodegradável pode ser decomposta. Deve-se salientar que compostos orgânicos biorresistentes e os compostos inorgânicos não são atingidos pelo processo de autodepuração.

A autodepuração pode ser dividida em duas etapas: decomposição e recuperação do oxigênio dissolvido; conhecida também por reaeração. Decompositores aeróbios consomem a matéria orgânica biodegradável e a transformam em compostos orgânicos de cadeias mais complexas (proteínas e gorduras), em compostos mais simples (como a amônia), em aminoácidos e em dióxido de carbono. Nessa fase (decomposição), há um decréscimo de oxigênio dissolvido na água, em decorrência da respiração dos decompositores. A fase seguinte é a da

Tabela 1.12 Água subterrânea consumida para irrigação, em países selecionados.

País	(%)
Bangladesh	69
Índia	53
Irã	50
Paquistão	34

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

Tabela 1.13 *Volumes de água subterrânea consumida, em países selecionados (m³/hab/ano, em 1998 ou dados mais recentes).*

País	900-501	500-251	250-101	100 ou menos
EUA (*), México		XXX		
Canadá				XXX
Brasil				XXX
Argentina, Peru			XXX	
Áustria, Turquia, Espanha, França e Itália			XXX	
Portugal e Bulgária		XXX		
Hungria, Bélgica, Alemanha, Inglaterra, Polônia, Suécia, Noruega				XXX
Líbia (*), Israel (*), Arábia Saudita (*)	XXX			
Egito (*), África do Sul, Sudão, Níger, Senegal e Somália.				XXX
China (*), Rússia, Tailândia e Filipinas				XXX
Índia (*), Mongólia e Cazaquistão			XXX	
Austrália			XXX	

Nota: (*) Volume consumido é maior que a recarga anual.

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

Tabela 1.14 *Consequências desastrosas selecionadas da exploração exagerada dos aquíferos subterrâneos.*

Local	Consequências
EUA – Vale de São Joaquim, na Califórnia	Afundamento de 10 metros no terreno.
EUA – Phoenix no Arizona	Afundamento de mais 1 metro no terreno.
EUA – Houston-Galveston no Texas	Afundamento de 1 metro no terreno.
EUA – Milwaukee	O lençol freático afundou 114 metros.
EUA – Chicago	O lençol freático afundou 274 metros, mas foi parcialmente recuperado a partir da redução da extração.
EUA – Aquífero Ogallala	O lençol freático afundou 30 metros e alguns poços secaram em Oklahoma, Kansas e Texas
México – Cidade do México	O centro da cidade afundou 7,5 metros.
China – Planície do Norte	O lençol freático está afundando 3 metros por ano.
Paquistão – Baluquistão	O lençol freático está afundando 3,5 metros por ano.
Índia e Paquistão – Punjab	O lençol freático está afundando 1 metro por ano.
Iêmen	O lençol freático está afundando 2 metros por ano.

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

reposição do oxigênio consumido da água. A velocidade de recuperação vai depender da capacidade do corpo de água de receber oxigênio da atmosfera.

No processo de autodepuração destacam-se, no corpo de água, cinco regiões características:

- Zona anterior ao lançamento da matéria orgânica biodegradável; região de águas com elevada concentração de oxigênio e vida aquática superior, caso não exista poluição anterior.
- Zona de degradação; logo a jusante do lançamento. Queda na concentração de oxigênio. Presença só de organismos mais resistentes.
- Zona de decomposição ativa; zona em torno da qual a concentração de oxigênio atinge valores mínimos, podendo até zerar. Redução ou eliminação de organismos aeróbicos e presença de anaeróbicos.
- Zona de recuperação; consumida a matéria orgânica, começa a reaeração (aumento da concentração de oxigênio dissolvido na água) e a presença de organismos mais resistentes.
- Zona de águas limpas; região na qual a água volta a apresentar condições satisfatórias de oxigênio e volta da vida aquática superior.



Figura 1.6 *Corpo de água altamente eutrofizado.*

Fonte: arquivo pessoal do autor.

EUTROFIZAÇÃO: Consiste no enriquecimento das águas, de um corpo de água (comumente um lago ou reservatório), com nutrientes. Tais nutrientes são necessários ao crescimento da vida vegetal aquática. É um processo natural de maturação de um ecossistema lacustre. Manifesta-se por meio do aumento da produtividade biológica do corpo de água, como apresenta a Figura 1.6.

Trata-se de um processo que vem se acelerando, em decorrência da crescente intervenção humana em lagos cujas bacias sofrem de atividades agrícolas, industriais ou zonas urbanas. A eutrofização acelerada causa inúmeros efeitos negativos, impedindo que as alterações morfológicas mantenham o seu ritmo natural.

A eutrofização acelerada é causada, principalmente, pelo aporte de fósforo, que provém de esgotos domésticos, esgotos industriais e fertilizantes agrícolas.

O processo da eutrofização tem a seguinte sequência:

- Excesso de nutrientes;
- Aumento da biomassa vegetal;
- Diminuição de aeração superficial;
- Morte de organismos sensíveis à redução da concentração de oxigênio;
- Aumento da DBO (demanda bioquímica de oxigênio);
- Condições anaeróbicas;
- Predomínio de bactérias anaeróbicas e facultativas no fundo do lago;
- Ocorrência de camada superficial de algas macrófitas.

O desequilíbrio ecológico nos lagos eutrofizados gera impactos sobre a utilização dos recursos hídricos, sobre os ecossistemas, e sobre a qualidade da água.

Os principais impactos sobre a utilização dos recursos hídricos são:

- O excesso de algas obstrui os filtros e as estações de tratamento, dificulta o controle do pH, da floculação, do odor e do sabor da água.
- O uso recreacional da água fica prejudicado, impedindo atividades como natação e outras; em casos extremos, dificulta o acesso de barcos.
- Torna-se necessária a instalação de filtros especiais para a remoção do ferro e do manganês.
- Há correlação direta entre a presença de algas azuis com epidemias de distúrbios gastrintestinais.
- O uso da água para irrigação fica prejudicado em decorrência da obstrução causada nas estações de bombeamento e dos emissores dos equipamentos.

Os mais significativos impactos sobre os ecossistemas e sobre a qualidade da água são:

- Diminuição da diversidade biológica, pois poucas espécies sobrevivem nessas condições adversas;
- Os baixos teores de oxigênio dissolvido na água alteram, inclusive, a composição de espécies de peixe;
- A decomposição anaeróbica no fundo do lago libera metano, gás sulfídrico e outros compostos, alterando as condições químicas.

1.5.5 Tratamento, reúso e dessalinização

TRATAMENTO: Nem sempre ou, mesmo, raramente, a água que servirá para o abastecimento de água potável, ou para outro uso, é encontrada com padrões de qualidade exigidos para a respectiva utilização. Nesses casos, há necessidade de tratamento da água do manancial. No caso de água potável, há indicadores físicos, químicos e biológicos regulamentados por entidades locais, regionais ou do país. No caso do Brasil, o dispositivo legal que estabelece as normas é o Padrão de Potabilidade da água destinada ao consumo humano é a Portaria n.º 36 GM, de 19 de janeiro de 1990, do Ministério da Saúde.

De acordo com Braga *et al.* (2002), o tratamento para obtenção de água potável é feito para atender às finalidades higiênicas ou de saúde, estéticas e econômicas.

No caso das higiênicas, deverá haver a remoção de bactérias, protozoários, vírus e outros microrganismos, de substâncias tóxicas ou nocivas, redução do excesso de impurezas e de teores elevados de compostos orgânicos.

Para atender às condições estéticas, deverão ser corrigidos a turbidez, a cor, o odor e o sabor. A redução da corrosividade, da dureza, da cor, da turbidez, do ferro e do manganês, entre outras, para atender às condições econômicas.

Os tratamentos de água envolvem uma série de processos que, quase nunca, são utilizados isoladamente, sendo muito frequente a associação de vários processos, relacionados a seguir:

- Sedimentação ou decantação – visa à remoção da matéria em suspensão, dependendo do tamanho e da densidade das partículas;
- Coagulação e floculação – produtos químicos coagulantes são aplicados para agregar partículas dificilmente sedimentáveis em aglomerados que podem, então, ser removidos mais facilmente;
- Filtração – a filtração da água pelo uso de areia, antracito, dolomita e outros materiais de granulometria fina é capaz de remover impurezas muito leves ou finamente divididas, que não foram retidas na sedimentação;
- Desinfecção – busca eliminar os organismos patogênicos, por meio da aplicação de cloro ou seus compostos;
- Remoção da dureza – visa à remoção de elementos que conferem dureza à água, principalmente o cálcio;
- Aeração – pode ser utilizada para vários propósitos;
- Remoção de ferro e manganês – uso de processos específicos para essa finalidade;
- Remoção do sabor e do odor – visa reduzir os problemas de odor e sabor da água;

- Controle de corrosão – é utilizado para remoção do excesso de dióxido de carbono;
- Fluoretação – busca aumentar a concentração de fluoretos na água fornecida à população, proporcionando maior resistência à carie dentária.

REÚSO: A água é um recurso renovável naturalmente por meio do ciclo hidrológico. Quando é poluída pela atividade antrópica, e deteriorada a níveis superiores à capacidade de recuperação natural, precisará ser recuperada para ser reusada para diversos fins.

O reúso pode ser entendido como uma forma de reaproveitar efluentes, para determinados fins, após algum tipo de tratamento que pode ser simples ou complexo. A finalidade de quem pretende reusar a água é que vai determinar a qualidade desejada para a água de reúso e, dessa forma, irá definir o tratamento necessário para que atinja a qualidade procurada.

A técnica do reúso pode ser utilizada, internamente, por uma empresa ou por uma concessionária de serviços de água, para venda de água de qualidade inferior, evidentemente a preços menores. O reúso pode ser destinado a fins potáveis ou não potáveis. A utilização da água de reúso para fins potáveis não é recomendável, a não ser em condições e exigências especiais. Normalmente, faz-se o reúso para usos não potáveis.

De acordo com Telles e Costa (2007), há inúmeras aplicações de água de reúso, destacando-se:

- Usos industriais: refrigeração, alimentação de caldeiras, transporte de material e água de processo.
- Usos urbanos não potáveis: descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, ruas e veículos, combate ao fogo, sistemas de ar condicionado, irrigação paisagística.
- Recarga de aquíferos: recarga de aquíferos potáveis, controle de cunha salina, controle de recalques urbanos.
- Irrigação: para culturas que não serão consumidas cruas, culturas que serão consumidas industrializadas, grãos, plantas fibrosas, árvores frutíferas, viveiros de plantas ornamentais, irrigação paisagística, campos de golfe.
- Finalidades ambientais: reforço nas vazões de cursos de água, indústria da pesca.
- Usos diversos: aquicultura, paisagismo, construção civil, controle de poeira.

A utilização da água de reúso libera água de qualidade superior para fins mais nobres. É sempre necessário efetuar, antecipadamente, estudos de viabilidade econô-

mica e verificar, cuidadosamente, os possíveis impactos negativos dessa prática, como, por exemplo, a produção e destinação final do lodo resultante do processo.

DESSALINIZAÇÃO: É o processo de transformação de água salgada em água doce. Trata-se de um procedimento que consome muita energia, entre 250 e 200 kWh de eletricidade para dessalinizar 1.000 litros de água. Atualmente cerca de 1% do consumo mundial de água é realizado após dessalinização.

Nos países ricos, mas carentes em água doce, é uma opção viável, como, por exemplo, no Kuwait e Barein. Os Estados Unidos da América e a Arábia Saudita são países com maior capacidade de transformação de água salgada em água doce, com mais de 1 milhão de metros cúbicos por dia. México, Rússia, Cazaquistão, Índia, Irã, Egito, Itália, Líbia, Portugal e Argélia têm capacidade de dessalinizar mais de 100.000 de metros cúbicos diariamente.

1.5.6 O acesso à água e sua relação com a saúde

O Relatório de Desenvolvimento Humano de 2006, do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) da ONU, registra:

- Cerca de 1,1 bilhão de pessoas não têm acesso à água tratada no mundo, os mais prejudicados estão em regiões pobres e, entre eles, as mulheres e as crianças. A Tabela 1.15 ilustra essa situação.
- Mulheres passam horas, diariamente, indo buscar algum tipo de água disponível.
- Por volta de 2,6 bilhões de pessoas, no planeta Terra, não possuem instalações de saneamento básico, a grande maioria vivendo na África e na Ásia.
- Aproximadamente, 50% dos leitos hospitalares são ocupados por doenças causadas pelo uso de água imprópria.
- A diarreia tira a vida de 4.900 crianças, menores de 5 anos, por dia, no mundo.
- O número de mortes por diarreia, em 2004, foi 6 vezes maior que a média anual de vítimas fatais de conflitos armados.
- Há perda de 443 milhões de dias escolares, por ano, em decorrência das doenças relacionadas com a água.

Os países de regiões áridas e semiáridas, como os do Oriente Médio, já enfrentam a crise da água, há muitos anos, mas só agora a percepção de uma crise mundial está alcançando a consciência internacional. A principal

Tabela 1.15 Porcentual da população por tipo de acesso à água – ano 2000.

Região	Água tratada (%)		Água não tratada (%)
	Ligações domésticas	Outro tipo de acesso	
África	24	40	36
Ásia	49	32	19
América Latina e Caribe	66	21	13

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

diferença entre a crise do petróleo e a crise da água é que a crise da água deverá afetar mais seriamente os países em desenvolvimento, onde centenas de milhares de pessoas já estão morrendo e continuarão a morrer em decorrência da falta de água limpa e das secas.

Nos países mais pobres, a água poluída é a principal causa de muitas doenças, como a diarreia, que mata mais de 3 milhões de pessoas (principalmente crianças), por ano, no mundo. Aliás, 80% de todas as doenças e mais de 33% das mortes nos países em desenvolvimento estão associadas à falta de água em quantidades adequadas. O PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) estima que, aproximadamente, 25.000 pessoas morram, por dia, nos países em desenvolvimento, ou pela falta de água ou pela ingestão de água de má qualidade.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, no ano 2000, em torno de 2,3 bilhões de pessoas sofriam de doenças disseminadas pelas águas. Como se sabe, a água “suja” poluída ou contaminada mata, e isso acontece em grande escala no planeta Terra.

A utilização doméstica de água contaminada ou o contato com a água poluída são responsáveis por 1,7 milhões de mortes a cada ano, no mundo, das quais 90% são de crianças. A Tabela 1.16 espelha essa triste realidade.

De acordo com relatórios da Organização Mundial da Saúde, as principais doenças disseminadas pelas águas são: cólera, tifo, diarreia, malária, dengue, filária, poliomielite, tracoma e o vírus do Nilo. Este último, só nos Estados Unidos, em 2003, causou 218 mortes entre os 8.977 casos diagnosticados.

1.5.7 Enchentes, inundações, secas e desertificação

ENCHENTES e INUNDAÇÕES: Enchentes são grandes vazões dos cursos de água, cujos volumes provocam o extravasamento das águas que vão ocupar os seus leitos maiores. Elas podem ser consideradas normais, quando

Tabela 1.16 Total de mortes causadas por água “suja”, por regiões – 2003.

REGIÃO	Número de mortes
Sudeste asiático	699.000
África	608.000
Mediterrâneo oriental	270.000
Pacífico ocidental	77.000
Américas	55.000
Europa	15.000

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

atingem valores de ocorrência anual ou algumas vezes no ano. Não são normais aquelas que alcançam valores maiores e que só acontecem esporadicamente.

Quando as águas das enchentes invadem áreas ocupadas pelo homem ou por suas atividades, causando mortes, e danos materiais, são consideradas inundações (Figura 1.7).

As inundações afetam milhões de pessoas e causam danos materiais todos os anos, nas diversas partes do globo. Consideradas acidentes naturais, são agravadas pela urbanização, pelo desmatamento, pela drenagem, pelo aproveitamento de áreas alagáveis e por intervenções, de diversas naturezas, nos cursos de água.

Mesmo com os atuais sistemas de telemedição, modelos de simulação, de ajuda à decisão, de prevenção e de alerta, milhões de pessoas ainda morrem, regiões são devastadas e os custos para reparações aumentam, consideravelmente, em função desses eventos. A Tabela 1.17 apresenta um resumo das perdas de vidas humanas e dos prejuízos financeiros causados pelas enchentes.

SECAS e DESERTIFICAÇÃO: São considerados períodos de seca, os intervalos de tempo nos quais as demandas são superiores às disponibilidades hídricas de uma determinada região. Quanto mais frequentes, abrangentes e duradouras, as secas causam maiores problemas, acarretando mortes e agravando as situações de miséria. As secas ocorrem, normalmente, em inúmeros locais do planeta, principalmente em zonas áridas e semiáridas.

Em determinadas regiões, uma seca se consolida com apenas algumas semanas sem chuva, e outras, demoram meses ou até anos. Mesmo em regiões com abundantes recursos hídricos, as crescentes demandas agrícolas, urbanas e industriais de água podem exaurir suas disponibilidades hídricas, dando início a uma seca provocada.

Nas regiões áridas e semiáridas, as secas se instalam com maior frequência, afetando milhões de pessoas,

**Figura 1.7** Enchente com inundações em região urbana.

Fonte: arquivo pessoal do autor.

causando mortes e trazendo ou agravando a miséria, que é comum entre os habitantes pobres de terras secas. A Tabela 1.18 apresenta, para localidades selecionadas, o número de pessoas afetadas pelas secas.

As alterações climáticas, provocadas por ações antrópicas, vêm agravando as condições de secas e, em determinadas situações, causando a desertificação.

A perda da capacidade de renovação biológica de determinada região, que acontece principalmente em zonas áridas, semiáridas e subúmidas, e que atinge, atualmente, mais de uma centena de países, é a desertificação. A desertificação é uma das formas mais alarmantes de degradação do ambiente, ameaçando a saúde e os meios de subsistência das pessoas. As desertificações não acontecem repentinamente; podem levar muitos anos para se consolidar.

Estima-se que, atualmente, 40% das terras do planeta Terra são áridas ou desérticas. As secas e as desertificações abalam profundamente a vida e a sobrevivência de um sexto da população mundial, ou seja, de

Tabela 1.17. Número de mortes e prejuízos financeiros causados pelas enchentes – período 1992-2001.

Continentes	Número de mortes	Prejuízos financeiros (US\$)
Américas	35.848	31 bilhões
Europa	1.362	32 bilhões
África	9.243	892 milhões
Ásia	50.034	105 bilhões
Oceania	20	792 milhões

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água*. (2005).

Tabela 1.18 Número de pessoas afetadas pelas secas em regiões/países selecionados.

Região/País	Número de pessoas afetadas	Período/Ano
África do Sul, Zimbábue e Malauí	14,4 milhões	2002-2003
América Central	9 milhões	2000-2002
Camboja	2 milhões	1999-2002
Paquistão	1,9 milhão	1999-2002
Quênia	1,8 milhão	2000
Tadjiquistão	1 milhão	2000-2001
Sri Lanka	800 mil	2000-2001
Uzbequistão	600 mil	2000-2001
Etiópia	600 mil	2002-2003
Eritreia	524 mil	2002-2003
Mauritânia	60 mil	2002
Paraguai	15 mil	1999-2000

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

um bilhão de pessoas, e causam uma perda da produção agrícola da ordem de 42 bilhões de dólares.

Em seu pronunciamento de abertura do Dia Mundial de Combate à Desertificação, em 17 de junho de 2006, na cidade de Bruxelas, o Secretário Geral da ONU, Kofi Annan, declarou: “Se não agirmos e as atuais tendências se mantiverem, em 2020, cerca de 60 milhões de pessoas terão partido das zonas da África subsaariana para o norte da África e Europa, e em nível mundial, 135 milhões de indivíduos correrão o risco de desenraizamento”.

No lançamento da Década de Luta Contra a Desertificação (2010 a 2020), programada sob os auspícios das Nações Unidas, no dia 16 de agosto de 2010, em Fortaleza, o Secretário Executivo da Convenção da ONU, Luc Gnacadja, assim se pronunciou: “O objetivo, com esta Década, é reverter a desertificação para mitigar seus efeitos sobre a pobreza e a sustentabilidade climática”. Na Década, devem-se discutir soluções para recuperar as terras em processo de desertificação e para melhor aproveitar a água em regiões de escassez. Durante a cerimônia, divulgou-se ainda que 1 bilhão de pessoas, em todo o mundo, têm sua sobrevivência ameaçada pela desertificação. As terras áridas e os desertos abrigam um terço dos habitantes do planeta, a maior parte em países em desenvolvimento, e que concentram metade das criações de gado do mundo. Ainda segundo a ONU,

12 milhões de hectares de terras aptas à agricultura se perdem todos os anos por causa da aridez e da erosão dos solos.

1.6 A água no Brasil

O Brasil, segundo Rebouças *et al.* (2006), possui uma ampla diversificação climática, predominando o tipo tropical e o subtropical úmido. O clima semiárido ocupa menos de 10% do território. Mais de 90% do território nacional recebe abundantes chuvas, entre 1.000 e 3.000 milímetros anuais.

Como resultado das boas chuvas, somados às condições geológicas favoráveis, há excedentes hídricos que alimentam os nossos cursos de água.

1.6.1 Disponibilidades

As descargas dos rios brasileiros atingem, em média, 182.633 m³/s, sem considerar a contribuição adicional da Amazônia Internacional. A Tabela 1.19 mostra as disponibilidades hídricas brasileiras, por regiões hidrográficas.

O Brasil detém, aproximadamente, 12% da produção mundial de água doce mundial (1.488.000 m³/s) e 53% da sul-americana, que é de 334.000 m³/s.

Em termos internos e relativos às respectivas populações, a região hidrográfica do Amazonas dispõe de 73% dos recursos hídricos para apenas 4% da população do país, uma abundância predominante. Por outro lado, a região hidrográfica do Paraná, com 32% da população, dispõe de apenas 6%, e a região Costeira do Nordeste Oriental, com 20% da população conta com apenas 2% da água, como mostra a Tabela 1.20.

Os valores relativos muito altos, em relação às disponibilidades mundiais, levaram os brasileiros à cultura da abundância e do desperdício da água. Assim, a água tem sido considerada um bem livre de uso comum e inesgotável.

Não foram efetivados planejamentos adequados, nem a devida aplicação de recursos necessários à sua proteção e ao seu uso sustentável. Problemas localizados, referentes à carência quantitativa ou qualitativa, se acumularam principalmente junto aos grandes centros urbanos.

1.6.2 Demandas

Entende-se por demanda o valor da vazão retirada, ou seja, a água captada destinada a atender os diversos usos consuntivos. Entende-se por uso consuntivo aquele em que a vazão de retorno ao manancial é menor que a captada. Vazão de consumo é, portanto, a diferença entre a vazão de retirada e a vazão de retorno.

Tabela 1.19 Disponibilidades de água nas regiões hidrográficas brasileiras.

Regiões hidrográficas do Brasil(*)	Disponibilidade (vazão média dos rios m ³ /s)
Amazonas	134.119
Costeira do Norte	3.253
Costeira do Nordeste Ocidental	1.695
Parnaíba	1.272
Costeira do Nordeste Oriental	2.937
Tocantins	11.306
São Francisco	2.850
Paraguai	1.340
Paraná	11.000
Costeira do Sudeste	3.868
Costeira do Sul	4.842
Uruguai	4.151
BRASIL	182.633

Nota: (*) Divisão, do Brasil, em regiões hidrográficas adotada por Clarke e King (Figura 1.8).

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

**Figura 1.8** Regiões hidrográficas do Brasil, segundo Clarke e King.

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

Tabela 1.20 Regiões hidrográficas do Brasil, percentuais de área, população e vazão média – 2002.

	Área	População	Vazão média
Brasil	8.574.761 km ²	169.590.693 hab.	182.633 m ³ /s
Região Hidrográfica (*)	% sobre área total	% sobre população total	% sobre vazão média total
Amazonas	47	4	73
Costeira do Norte	1	< 1	2
Costeira do Nordeste Ocidental	3	3	1
Parnaíba	4	2	1
Costeira do Nordeste Oriental	8	20	2
Tocantins	9	5	6
São Francisco	8	8	2
Paraguai	4	1	1
Paraná	10	32	6
Costeira do Sudeste	2	15	2
Costeira do Sul	2	7	3
Uruguai	2	2	2

Nota: (*) Divisão, do Brasil, em regiões hidrográficas adotada por Clarke e King (2005).

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

Tabela 1.21 Estimativas de demandas e consumos e porcentagens de participação, por uso consuntivo no Brasil – 2006.

Uso	Demandas		Consumos	
	(m ³ /s)	(%)	(m ³ /s)	(%)
Animal	144,0	8	118,0	12
Industrial	321,6	17	69,0	7
Rural	35,7	2	20,0	2
Urbano	479,0	26	99,0	10
Irrigação	861,2	47	680	69
Total	1.841,5	100,0	986,0	100,0

Fonte: adaptado do livro *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil* (2010).

A Agência Nacional de Águas (ANA) calculou, usando metodologia própria, os valores das retiradas e dos consumos dos usos consuntivos que estão na Tabela 1.21, tendo como ano de referência o ano de 2006. Nesse trabalho, a ANA utilizou dados de: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB – IBGE 2000), Censo Demográfico Brasileiro IBGE (2000), Sistema Nacional de Informações em Saneamento PMSS (2004, 2005 e 2006), Atlas do Saneamento IBGE (2004), Censo Agropecuário IBGE (resultados preliminares 2007) e Contagem Populacional do IBGE (2007).

1.6.3 Disponibilidades x demandas

Em termos regionais, é tranquila a relação entre as demandas e as disponibilidades hídricas, como mostra a Tabela 1.22. Para o Brasil, como um todo, a relação é de apenas 1%. As regiões hidrográficas com maiores solicitações são as do Uruguai (9,9%), do Atlântico Nordeste Oriental (7,7%) e do São Francisco (6,3%), seguidas pelas regiões hidrográficas do Atlântico Sul com 5,7%, do Atlântico Sudeste (5,0%) e do Paraná com 5,0%. Na Amazônica, essa relação é de insignificantes 0,05%.

Essas relações favoráveis, entretanto, não se mantêm e caem significativamente, nas principais regiões metropolitanas brasileiras, chegando, em alguns casos, a superar os 100%. Cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo, entre outras, dependem de recursos hídricos de bacias hidrográficas vizinhas para o atendimento de suas necessidades hídricas. As regiões do nordeste brasileiro vivem, continuamente, na expectativa de receber água de outras regiões, por intermédio de projetos de transposição de bacias.

1.6.4 Setores usuários de água

Considera-se uso do recurso hídrico qualquer atividade humana que, de algum modo, altere as condições naturais das águas superficiais ou subterrâneas.

Os usos podem ser consuntivos (captações urbanas, industriais, irrigação, rurais, minerações e garimpos) ou não consuntivos (geração de energia elétrica, navegação, pesca, piscicultura, proteção da vida aquática, turismo e recreação). A diferenciação entre uso consuntivo e não consuntivo está ligada à possibilidade de usar toda a água, simultaneamente ou, em seguida, para outros fins, considerando tanto a quantidade como a qualidade da água. A Tabela 1.23 apresenta os valores de vazões de retirada de usos consuntivos por tipo de uso e por regiões hidrográficas no Brasil no ano de 2006. A Figura 1.10 apresenta polos selecionados de demandas para usos preponderantes.

Por outro lado, TELLES (2011) mostra valores percentuais do consumo total no Brasil: Irrigação 56%, Urbano 21%, Industrial 12%, Rural 6% e Dessedentação de Animais 5% no ano de 2002. Estes valores mostram redução na participação da Irrigação e do segmento Rural, evolução nos segmentos Urbano, Industrial e de Dessedentação, que podem ser atribuídos às crescentes urbanização e industrialização e ao êxodo rural verificado no período de 2002 a 2006.

1.6.5 Águas subterrâneas no Brasil

De acordo com Ana (2010), em nosso país, a utilização de águas subterrâneas tem crescido, de forma acelerada, nas últimas décadas, e há evidências de que essa tendência deverá continuar. Este fato justifica o crescimento do número de empresas privadas e de órgãos públicos com atuação na pesquisa e captação de recursos hídricos subterrâneos.

No Brasil, a potencialidade de água subterrânea não é uniforme, ocorrendo regiões de escassez e de abundância. Exemplos de alta disponibilidade são o Aquífero Guarani e aquíferos sedimentares em geral, enquanto as ocorrências das rochas cristalinas no nosso semiárido significam baixa capacidade de produção.

De acordo com o mesmo trabalho da ANA, as disponibilidades de águas subterrâneas nos principais sistemas aquíferos brasileiros representam um volume total renovável de 20.473,2 m³/s e, admitindo que 20% dessas reservas são exploráveis, as disponibilidades de águas subterrâneas exploráveis totalizam 4.094,6 m³/s. A Tabela 1.24 resume para os principais sistemas aquíferos: tipo, região hidrográfica dominante, espessura média e reservas renovável e explorável.

No Brasil, o uso da água subterrânea é complementar à superficial. Mesmo assim, a água subterrânea é utilizada para diversos fins, destacando-se a irrigação, o

Tabela 1.22. Disponibilidades e demandas de água nas regiões hidrográficas do Brasil.

Regiões hidrográficas (**)	Disponibilidades vazão dos rios (m ³ /s)	Demandas (m ³ /s)	% da vazão dos rios
Amazônica	134.119	66,8	0,05
Atlântico Leste	3.253	91,9	2,8
Atlântico Nordeste Ocidental	1.695	19,5	1,2
Parnaíba	1.272	40,0	3,1
Atlântico Nordeste Oriental	2.937	226,5	7,7
Tocantins–Araguaia	11.306	78,3	0,7
São Francisco	2.850	180,8	6,3
Paraguai	1.340	29,5	2,2
Paraná	11.000	492,7	4,5
Atlântico Sudeste	3.868	191,8	5,0
Atlântico Sul	4.842	275,3	5,7
Uruguai	4.151	148,3	9,9
BRASIL	182.633	1.841,5	1,0

Nota: (**) Divisão do Brasil em regiões hidrográficas adotada pela ANA (2010) (Figura 1.9).

Fonte: adaptado do livro *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação* (2006), e *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil* (2010).



Figura 1.9 Regiões hidrográficas do Brasil, segundo ANA (2010).

Fonte: adaptado do livro *Evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil* (2002).

abastecimento humano, a indústria e o lazer, como mostra a Tabela 1.25.

A produção dos aquíferos e de poços varia substancialmente, conforme suas características, como mostra a Tabela 1.25.



Figura 1.10 Polos selecionados de demandas para usos preponderantes.

Fonte: adaptado do livro *Evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil* (2002).

Tabela 1.23 Valores das demandas consuntivas por regiões hidrográficas – 2006.

Região Hidrográfica	Vazão de retirada (m ³ /s)					
	Animal	Industrial	Rural	Urbano	Irrigação	Total
Amazônica	23,9	9,1	3,1	19,3	11,4	66,8
Atlântico Leste	8,7	9,6	5,0	26,9	41,6	91,9
Atlântico Nordeste Ocidental	4,1	1,6	2,2	8,3	3,4	19,5
Atlântico Nordeste Oriental	5,1	26,3	4,5	46,1	144,6	226,5
Atlântico Sudeste	5,4	37,5	3,1	96,4	49,4	191,8
Atlântico Sul	6,2	46,7	2,2	33,4	186,8	275,3
Paraguai	11,5	2,3	0,4	6,4	8,9	29,5
Paraná	37,0	155,6	6,5	185,5	108,1	492,7
Parnaíba	2,4	1,4	1,2	6,3	28,7	40,0
São Francisco	9,1	17,4	3,7	27,3	123,3	180,8
Tocantins-Araguaia	23,0	5,3	2,4	15,0	32,7	78,3
Uruguai	7,7	8,8	1,4	8,1	122,4	148,3
TOTAL	144,0	321,6	35,7	479,0	861,2	1.841,5
Porcentagem do Total	8%	17%	2%	26%	47%	-

Fonte: adaptado do livro *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil* (2010).

Tabela 1.24 Principais aquíferos brasileiros, seus tipos, suas regiões dominantes, espessuras e reservas renovável e explorável.

Sistema aquífero	Tipo (1)	Região hidrográfica dominante	Espessura média (m)	Reserva (m ³ /s)	
				Renovável	Explorável
Solimões	P,L	Amazônica	-	4.481,5	896,3
Alter Chão	P,L	Amazônica	-	1.247,5	249,5
Parecis	P,L	Amazônica	150	2.324,0	464,8
Itapecuru	P,L	Tocantins, Araguaia, Parnaíba	100	1.074,0	214,8
Poti-Piauí	P,L,C	Tocantins, Araguaia, Parnaíba	400	650,0	130,0
Barreiras	P,L,C	Atlântico Leste, Sudeste, NE Oriental e Ocidental, Tocantins, Araguaia	60	1.085,0	217,0
Urucuia-Areado	P,L	São Francisco, Tocantins, Araguaia, Parnaíba	300	1.182,0	236,4
Bambuí	CF	São Francisco, Tocantins, Araguaia, Parnaíba	-	201,5	40,3
Bauru-Caiuá	P,L	Paraná	200	2.939,5	587,9
Serra Geral	F	Paraná, Atlântico Sul, Uruguai, Paraguai	150	3.731,5	746,3
Guarani	P,L,C	Paraná, Atlântico Sul, Uruguai, Paraguai	250	805,7	161,1

Nota: (1) P = poroso; L = livre; C = confinado; F = fraturado; CF = Cristalino fraturado.

Fonte: adaptado do livro *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil* (2010).

1.6.6 Qualidade das águas superficiais

Por suas dimensões continentais, o Brasil é um país em que é difícil o controle da qualidade das águas superficiais. Há uma heterogeneidade de redes de monitoramento que, em boa parte, é operada pelos estados, que adotam diferentes abordagens, parâmetros e frequência de coleta.

De acordo com ANA (2010), 17 das 27 unidades da Federação possuem redes de monitoramento da qualidade da água, totalizando 2.259 pontos, com um número variável de parâmetros analisados e frequência de cole-

ta. Apenas quatro parâmetros (pH, oxigênio dissolvido, condutividade e temperatura) são monitorados na rede de 1.340 pontos acompanhados pela ANA.

O índice de qualidade da água (IQA) vem sendo adotado por décadas e é o principal indicador da qualidade da água no País. O IQA é composto por nove parâmetros (oxigênio dissolvido, coliformes fecais, potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total). O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água, visando ao abastecimento público, e não deve, portanto, ser adotado para usos como recreação e

Tabela 1.25 *Uso das águas subterrâneas de alguns aquíferos brasileiros.*

Aquífero	Usos principais	Principais locais
Solimões	Doméstico	Rio Branco, AC.
Alter do Chão	Diversos	Manaus, Belém, Santarém e Ilha de Marajó.
Boa Vista	Doméstico	Boa Vista, RR.
Parecis	Doméstico	Vilhena, RO.
Jandaíra	Irrigação	Chapada do Apodi (CE e RN)
Açu	Irrigação, doméstico e industrial	Mossoró, RN.
Itapecuru	Doméstico, rural e pecuária	São Luis e interior do Maranhão.
Corda	Doméstico	Centro-sul do Maranhão.
Motuca	Doméstico	Leste e Sul do Pará.
Poti-Piauí	Doméstico	Sul do Pará e Nordeste de Tocantins.
Cabeças	Doméstico e irrigação	Piauí, Vale do Gurgueia, Tocantins e Bahia.
Serra Grande	Doméstico e irrigação	Limite do Piauí e Ceará e Sul do Piauí.
Barreiras	Diversos	São Luís, Belém, Fortaleza, Natal, Recife e Maceió.
Beberipe	Doméstico, industrial e recreativo	Recife, PE.
São Sebastião	Doméstico e industrial	Salvador e Camaçari, BA.
Inajá	Doméstico e irrigação	Estado de Pernambuco.
Tacaratu	Doméstico e irrigação	Centro de PE e Sudeste do Ceará.
Exu	Doméstico e irrigação	Área do topo da Chapada do Araripe.
Missão Velha	Doméstico	Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, CE.
Urucuia-Areado	Irrigação	Estado da Bahia.
Bauru-Caiuá	Doméstico e industrial	Oeste do Estado de São Paulo.
Serra Geral	Doméstico	Chapecó, Concórdia, São Miguel d'Oeste, SC.
Guarani	Diversos	Bauru e Ribeirão Preto e diversos.
Ponta Grossa	Doméstico	Estados MT, MS, GO e PR.
Furnas	Doméstico e industrial	Estados MT, MS, GO, PR e SP.

Fonte: adaptado do livro *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil* (2010).

preservação da vida aquática. A Tabela 1.26 apresenta a classificação por faixas do IQA e sua distribuição em 1.173 pontos de monitoramento no Brasil.

Os cursos de água que, em 2006, apresentaram valores do IQA, nas categorias péssima e ruim, estão na Tabela 1.27.

1.6.7 Problemas e desafios para a gestão dos recursos hídricos

De acordo com Clarke e King (2005), o Brasil tem de enfrentar problemas e desafios específicos com relação à gestão de seus recursos hídricos. Os principais são:

- Promover o uso racional da água na agricultura.
- Ampliar e melhorar consideravelmente a coleta e o tratamento de esgotos sanitários.
- Melhorar a qualidade da água na zona rural.
- Preservar, para aproveitamento estratégico, a biodiversidade de suas águas interiores.

Regionalmente estas questões estão sintetizadas na Tabela 1.29.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, relativa ao ano de 2008, divulgada em agosto de 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mostra as seguintes cifras alarmantes:

- Uma parcela de 18% da população brasileira, equivalente a 34,9 milhões de pessoas, não dispõe de infraestrutura sanitária.

Tabela 1.27 Classes do IQA, condição de qualidade e porcentagem de distribuição no Brasil – 2006.

Classes	Condição	% de pontos no Brasil
80-100	Ótima	9
52-79	Boa	70
37-51	Regular	14
20-36	Ruim	5
0-19	Péssima	2

Fonte: adaptado do livro *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil* (2010).

- Uma parcela de 56% da população não tem acesso a rede de esgoto. As regiões Norte e Nordeste são as mais deficientes.
- Apenas 28% dos municípios que coletam esgotos os tratam.
- Um total de 32,2 milhões de domicílios não tem acesso às redes coletoras de esgotos. Apenas o Distrito Federal (86,3%) e os estados de São Paulo (82,1%) e de Minas Gerais (68,9%) têm mais de metade de suas casas beneficiadas por rede de esgoto.

Tabela 1.26 Produtividade de poços por aquífero (valores médios entre poços levantados).

Aquífero	Profundidade média (m)		Vazão média (m ³ / hora)	
	Livre	Confinado	Livre	Confinado
Corda	97	213	14,5	14,8
Poti-Piauí	140	226	18	40
Cabeças	109	284	12	50,2
Serra Grande	158	172	6,3	14,7
Barreiras	77	160	23,4	103,4
Beberipe	182	246	34,1	77,7
Marizal	129	141	21,3	15,1
São Sebastião	127	170	23,7	40,4
Inajá	116	212	3,5	20,1
Guarani	111	263	13,8	54,2
Furnas	124	195	17,4	46,4

Fonte: adaptado do livro *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil* (2010).

Tabela 1.28 *Cursos de água com condição péssima ou ruim – 2006.*

Região hidrográfica	Bacias ou corpos de água
Paraná	Rios Piracicaba, Preto, Moji-Mirim, Santo Anastácio, Capivari, Jaguari e bacia do Alto Tietê (SP), rio São Francisco e bacia do Alto Iguaçu (PR)
São Francisco	Rios das Velhas, Pará, Paraopeba e Verde Grande (MG)
Atlântico Norte Oriental	Bacias dos rios Jaguaribe, Cuiá, Cabocó, Mussure (PB), Pirapama (PE) e Cururipe (AL)
Atlântico Sul	Bacias dos rios dos Sinos (SC) e Gravataí (RS)
Atlântico Sudeste	Rios Jucu, Itanguá e Marinho (ES), rio Paraíba (MG) e rio Piaçaguera (SP)

Fonte: adaptado do livro *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil* (2010).

1.7 Conflitos pelo uso da água

Conflitos e competições entre vizinhos, a montante e a jusante de um determinado ponto de um manancial, a respeito do uso e da qualidade da água, acontecem em, virtualmente, todas as regiões do globo. São atritos reais ou potenciais, principalmente relacionados com a redução do fluxo fluvial, o assoreamento de represas, a derivação da água para fins de irrigação, a poluição industrial, orgânica ou agroquímica; a salinização dos fluxos de água, em decorrência de práticas impróprias de irrigação; inundações agravadas pelo desflorestamento; e a erosão do solo.

1.7.1 Conflitos internacionais

De acordo com Rebouças *et al.* (2006), o controle do rio Eufrates se deu à base do poder da 1ª Dinastia da Babilônia, possibilitando ao Rei Hamurabi (1792 a 1750 a.C.) unificar a Mesopotâmia e elevar sua região norte a uma posição hegemônica. Dessa forma, o poder que reinava no sul, desde o terceiro milênio a.C., foi deslocado para a região norte, onde permaneceu por mais mil anos. Para alguns, a politização e centralização do poder sobre a água teriam tido suas origens nessa ocasião. Surgiu, então, o Código de Hamurabi, que, de acordo com os historiadores, é o primeiro tratado sobre a regulamentação do uso da água.

A guerra pela água é um conflito milenar que tende a se expandir para além das suas áreas tradicionais – Oriente Médio e Norte da África –, pois muito pouco vem sendo feito para evitá-la.

Modernamente, o conflito mais grave pela água é o existente entre palestinos e israelenses, cujos mananciais disponíveis dependem de acordos entre Jordânia, Síria, Líbano, Egito, Arábia Saudita e Israel. Os conflitos pelo uso da água têm provocado inúmeros eventos destrutivos, contra fontes de água potável, como mostra a Tabela 1.30.

1.7.2 Conflitos nacionais

No Brasil, a agricultura irrigada, a geração hidráulica de energia elétrica e, em certa extensão, o abastecimento urbano são as grandes competidoras pelo uso da água em nossos sistemas hídricos. Conflitos pelo uso da água estão relacionados a situações de não atendimento a exigências e/ou demandas da sociedade ou de grupos de usuários inerentes ao aproveitamento e/ou controle dos recursos hídricos.

Tabela 1.29 *Problemas e desafios regionais para a gestão dos recursos hídricos no Brasil.*

Região	Problemas e desafios
Norte	Há problemas de saneamento básico, no controle das atividades de pesca e na manutenção da biodiversidade aquática e terrestre.
Nordeste	Há escassez de água. Há salinização de águas superficiais e de aquíferos. Há doenças de veiculação hídrica. Falta de água na zona rural e em pequenos municípios.
Sudeste	Há necessidade da recuperação de rios, lagos e represas. Redução dos custos de tratamentos. Proteção dos mananciais e aquíferos. Incentivo ao reúso da água.
Sul	É necessário que haja a proteção de mananciais e à biodiversidade em alagados, em virtude da intensa urbanização e do uso agrícola. Deve haver o incentivo ao reúso da água.
Centro-oeste	Deve haver proteção do Pantanal, envolvendo a conservação da biodiversidade e o controle da pesca. Necessita-se da manutenção da sustentabilidade do sistema.

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

Tabela 1.30 Cronologia de eventos destrutivos contra fontes de água potável – período de 1980-2003.

Ano	Cidade/País	Evento
1980-88	Iraque	O Irã desvia água para inundar as defesas iraquianas.
1981	Iraque	O Irã bombardeia represa do Curdistão.
1982	Líbano	Israel corta suprimento de água de Beirute.
1984	Oregon, EUA	Membros de seita Rajneeshee contaminam com salmonelas a água de The Dalles.
1988	Angola – Namíbia	Tropas cubanas e angolanas atacam a represa de Calueque, em Angola ameaçando o suprimento de água.
1990	Síria	A Turquia ameaça cortar o suprimento para a Síria.
1990	África do Sul	O governo local corta água para o município de Wesselton.
1991	Iraque	A coalizão aliada visa ao suprimento de água de Bagdá.
1991	Kuwait	O Iraque destrói as usinas de dessalinização do Kuwait.
1992	Bósnia – Herzegovina	Os sérvios bósnios cortam o suprimento de água de Sarajevo.
1993	Croácia	A represa de Peruca é atacada pelos sérvios.
1993	Iraque	Saddam Hussein envenena e drena o suprimento dos árabes dos pântanos.
1997	Cingapura	A Malásia ameaça os suprimentos de Cingapura.
1998	Arizona, EUA	Um hacker de 12 anos assume o controle das comportas da represa Roosevelt.
1998	Rep. Congo	A represa de Inga é atacada por rebeldes.
1999	Timor Leste	Opositores ao governo jogam cadáveres em poços.
1999	Angola	Cadáveres são encontrados em poços.
1999	Iugoslávia	Os planos da OTAN visam a hidrelétricas; corte no fornecimento de água.
1999	Zâmbia	Bomba terrorista corta suprimento para Lusaka.
2000	China	Oficiais da província de Guangdong explodem um canal de água para evitar que município vizinho o desvie.
2001	Afganistão	Os Estados Unidos bombardeiam hidrelétrica.
2001	Israel – Palestina	Palestinos e israelenses atacam mutuamente os suprimentos de água.
2002	Colômbia	Os rebeldes danificam a represa de Chigaza.
2002	Colorado, EUA	A Frente de Libertação da Terra ameaça o suprimento de água do parque Winter.
2002	Itália	Plano terrorista para cortar água de Roma é frustrado.
2003	Iraque	As principais tubulações de água para Bagdá são sabotadas por tropas leais a Saddam.

Fonte: adaptado do livro *O atlas da água* (2005).

Importantes conflitos brasileiros são relativos às derivações (reversões ou transposições de bacias) de cursos de água para abastecimento urbano com prejuízos para os usuários de jusante. Assim é, por exemplo, o Projeto Cantareira, que retira 33 m³/s da bacia do rio Piracicaba para abastecer a Região Metropolitana de

São Paulo (RMSP), em prejuízo dos usuários da bacia do Piracicaba que, além disso, por estar a jusante, recebe o esgoto da RMSP, sem o devido tratamento. Fato similar acontece em outras regiões do País, como a reversão das águas da bacia do Paraíba do Sul para a região da capital do Estado do Rio de Janeiro.

Em nosso país, segundo Telles e Domingues (2006), verificam-se conflitos pelo uso da água desde a região Sul até a região Norte, fatos cuja intensidade, logicamente, está associada às condições locais e à existência de órgãos de gestão de recursos hídricos que atuem em sua mitigação, situações essas que são ilustradas a seguir.

CONFLITOS PELO USO DA ÁGUA NA REGIÃO SUL. Nos estados do Rio Grande do Sul, de Santa Catarina e do Paraná, inúmeros são os conflitos, tanto com referência à quantidade como à qualidade da água. Enquanto os conflitos que envolvem a irrigação são mais comuns nos dois primeiros, os conflitos advindos da deterioração da qualidade da água pelos despejos da pecuária são observados em todos os três.

Na região central do Rio Grande do Sul e em todo o litoral gaúcho e catarinense, existe grande demanda de água para irrigação, sendo a demanda unitária relativamente alta, por causa do cultivo do arroz por inundação.

Existem conflitos pontuais entre o abastecimento humano e irrigação de arroz, principalmente, no trecho médio das unidades hidrográficas Guaíba, Patos, Mirim, Litoral Norte do Rio Grande e Litoral Sul Catarinense. Na região do Quaraí, existem conflitos com produtores uruguaios de arroz.

CONFLITOS PELO USO DA ÁGUA NA REGIÃO SUDESTE. Na região Sudeste, a ocorrência de conflitos pelo uso da água tem se tornado menor, por causa da atuação de órgãos de gestão ambiental e de recursos hídricos.

Em São Paulo, por exemplo, foram observados conflitos entre irrigantes da região de Guaira, que se utilizavam principalmente de grandes sistemas de irrigação para irrigar suas lavouras – os pivôs centrais. Já na região de Barretos, justaposta à anterior, o avanço da citricultura irrigada tem sido uma grande preocupação, pois seu consumo de água é cinco vezes maior que o da indústria e das áreas residenciais, juntas, ainda que, na região, 65% das áreas irrigadas adotem sistemas de microaspersão ou gotejamento, considerados mais eficientes no consumo de água.

Além dos casos anteriores, o Departamento de Águas e Energia Elétrica (Daee) foi chamado a intervir nos municípios de Casa Branca e Araçatuba, entre outros.

O uso das águas do rio Riachão, no norte de Minas, chegou a ser suspenso para a agricultura intensiva na região das cidades de Montes Claros, Coração de Jesus, Mirabela e Brasília de Minas, para que fosse garantido o atendimento para consumo humano e agricultura familiar.

Conflitos pelo uso da água, na irrigação, nos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, têm sido verificados

mais na bacia do rio Paraíba do Sul e no norte capixaba, respectivamente.

CONFLITOS PELO USO DA ÁGUA NA REGIÃO CENTRO-OESTE. Essa região é a segunda maior detentora de água do País (15,7%) e a menos populosa (6,5% do efetivo populacional total). Nela verificam-se conflitos mais recentes entre os setores usuários dos recursos hídricos, mas que tendem a se agravar, rapidamente, se não houver a intercessão dos órgãos de gestão ambiental e de recursos hídricos.

A produção de grãos e de carne para o mercado interno e a exportação, que utiliza água em larga escala para irrigação, dessedentação e ambiência de instalações animais, está causando impactos no solo e nos recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos.

No Distrito Federal, o rio Preto (sub-bacia do rio Paracatu, afluente do São Francisco), que constitui o limite leste do Distrito Federal, é de exploração predominantemente agrícola, com recurso intensivo à irrigação. Já ocorreram várias situações de conflito de uso da água envolvendo irrigantes entre si e entre irrigantes e outros usuários da água.

Em Goiás, em um conflito irrigação *versus* abastecimento urbano, o Ministério Público teve de atuar, lacrando pivôs centrais para que não se comprometesse o abastecimento de cidades inteiras, como foi o caso de Bom Jesus de Goiás.

CONFLITOS PELO USO DA ÁGUA NA REGIÃO NORDESTE. Nessa região, ocorrem vários conflitos envolvendo principalmente a irrigação.

A bacia do São Francisco, principalmente em seu rio principal, é privilegiada em termos de solos e água para irrigação. Assim, existem poucos problemas de salinização. Entretanto, onde o problema ocorre, os prejuízos são grandes.

A redução de conflitos já é observada, por exemplo, na bacia do rio Verde Grande, pela ação conjunta dos órgãos de gestão de recursos hídricos de Minas Gerais e da Bahia.

Na região do Submédio São Francisco, que abrange também terras de Pernambuco, os problemas estão ligados ao uso da água das lagoas marginais do reservatório de Sobradinho. Os conflitos de usos são recorrentes e afetam mais o abastecimento humano e a dessedentação de animais, sendo resultantes principalmente do cultivo da cebola, que tradicionalmente utiliza agrotóxicos de forma inadequada.

Os reservatórios a partir de Sobradinho são, no rio São Francisco, cenário de um ou outro conflito importante: geração de energia elétrica *versus* irrigação.

Em Pernambuco, os projetos públicos de irrigação são atendidos basicamente pelo rio São Francisco, e os conflitos entre irrigantes acabam ocorrendo mais em rios perenes, com menor capacidade de suporte ou onde a agricultura irrigada é feita à beira ou a jusante de açudes de perenização.

Regiões de maior tensão correspondem às bacias dos rios Moxotó; Pontal, na área de influência das barragens de regularização; Garças, do açude Saco II até o exutório da bacia; Pajeú, da área de influência dos açudes Barra do Juá, Serrinha e Jazigo; Brígida, da área de influência dos açudes Entremontes até sua foz.

Alagoas apresenta problemas, por exemplo, na bacia do rio Piauí, mais especificamente no rio Piauitinga. São conflitos entre empresas de abastecimento público e principalmente irrigantes.

Na Paraíba, em 1999/2000, a seca baixou o nível da água do Açude do Boqueirão e a continuidade da irrigação acelerou a queda do estoque, o que provocou um racionamento preventivo. Diante da situação, a população de Campina Grande foi obrigada a comprar água de carro-pipa.

No Rio Grande do Norte, o rio Piranhas-Açu é o cenário de maior disputa pela água, fato que levou os órgãos de gestão de recursos hídricos do estado e da Paraíba a pedirem a mediação da ANA para estabelecimento de um “marco regulatório”.

CONFLITOS PELO USO DA ÁGUA NA REGIÃO NORTE. Enquanto os conflitos entre usuários dos recursos hídricos, em quase todas as regiões do Brasil, estão relacionados com deficiências quantitativas desse recurso, na região Norte, esses conflitos estão relacionados, fundamentalmente, com a poluição das águas.

No entanto, em Roraima e, potencialmente, em outros estados da região Norte, há conflitos não somente referentes ao uso da água, pois algumas das principais lavouras de arroz dos estados estão dentro da área que poderá ser demarcada para reserva indígena.

Referências bibliográficas

ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil.** Brasília: ANA, 2010.

_____. **Evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil.** Brasília: ANA, 2002.

BRAGA, A. B. *et al.* **Introdução à engenharia ambiental.** São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CLARKE, R.; KING, J. **O atlas da água: o mapeamento completo do recurso mais precioso do planeta.** São Paulo: Publifolha, 2005.

FOGLIATTI, M. C. *et al.* **Avaliação de impactos ambientais: aplicação dos sistemas de transporte.** Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

REBOUÇAS, A. C. *et al.* **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3. ed. rev. ampl. São Paulo: Escrituras, 2006.

TELLES, D. A. The use of water in irrigation in Brazil: demand, conflicts, management and sustainability. In: BILIBIO, C.; HENSEL, O.; SELBACH, J. (org.). **Sustainable water management in the tropics and subtropics: and case studies in Brasil.** v. 1. Jaguarão: Fundação Universidade Federal do Pampa, UNIKASSEL, PGCult-UFMA, 2011.

TELLES, D. A.; COSTA, R. H. P. G. (org.). **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas.** São Paulo: Blucher, 2007.

TELLES, D. A.; DOMINGUES, A. F. A água na agricultura e pecuária. In: REBOUÇAS, A. C. *et al.* **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: Escrituras, 2006.

VON SPERLING, M. **A introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.