



REÚSO DA ÁGUA

conceitos, teorias e práticas

2ª edição revista, atualizada e ampliada

DIRCEU D'ALKMIN TELLES
REGINA PACCA COSTA
coordenadores

Blucher

FAT FUNDAÇÃO
DE APOIO À
TECNOLOGIA

Reúso da Água:

Conceitos, Teorias e Práticas



Blucher

Reúso da Água:

Conceitos, Teorias e Práticas

2ª Edição revista, atualizada e ampliada

Coordenadores

Dirceu D'Alkmin Telles
Regina Helena Pacca Guimarães Costa

Autores

Ariovaldo Nuvolari
Elisabeth Pelosi Teixeira
Flávio de Miranda Ribeiro
José Edmário do Nascimento
Karen Stange
Lineu José Bassoi
Marcos Olivetti Souza
Pedro Norberto de Paula
Regina Helena Pacca Guimarães Costa
Ruben Bresaola Jr.
Silvia Marta Castelo de Moura Carrara

Reúso da água: conceitos, teorias e práticas
© 2010 Dirceu D'Alkmin Telles
Regina Helena Pacca Guimarães Costa
2ª edição - 2010
Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-012 - São Paulo - SP - Brasil
Tel 55 11 3078-5366
editora@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

Reúso da água: conceitos, teorias e práticas / coordenação
Dirceu D' Alkmin Telles, Regina Helena Pacca Guimarães
Costa - 2ª edição - São Paulo: Blucher, 2010.

Vários autores

Bibliografia.

ISBN 978-85-212-0536-4

1. Água - Reúso I. Telles, Dirceu D'Alkmin.
II. Costa, Regina Helena Pacca Guimarães.

10-04193

CDD-363.7284

Índices para catálogo sistemático:

1. Água: Reúso: Saúde ambiental: Bem-estar social
363.7284
2. Reúso da água: Saúde ambiental: Bem-estar social
363.7284
3. Água: Uso racional 363.7284

Agradecimentos

Regina Helena Pacca Guimarães Costa
Coordenadora

A Deus... que me deu a oportunidade de viver e aprender...
À vida... que sempre me deu motivos para crescer...
À saúde... que sempre me favorece com o equilíbrio e o bem-estar...
À felicidade... que me dá infinitos motivos para existir...
Ao amor... que alimenta minha alma...
Aos amigos... que dividem comigo este cenário...
e À minha família...
que colore o meu destino e faz com que eu exista em paz!

Coordenadores e Autores

ARIOVALDO NUVOLARI

Tecnólogo (Fatec/SP), Doutor em Saneamento pela FEC/Unicamp, Professor Pleno da Graduação e da Pós-Graduação (Fatec/SP). Atuação em engenharia e consultoria em empresas privadas: Themag Engenharia Paulo Abib, Semasa e Petrobras.

DIRCEU D'ALKMIN TELLES

Doutor na área de engenharia hidráulica (Poli/USP), Engenheiro Civil (Poli/USP), Professor Pleno da Graduação e da Pós-Graduação (Fatec/SP), Professor Convidado da Pós-Graduação (Poli/USP). Ex-Presidente da Abid, Diretor da Fatec Zona Sul. Membro da ABNT. Atuação em recursos hídricos no DAEE/SP e em consultorias para diversas empresas.

ELISABETH PELOSI TEIXEIRA

Doutora em Ciências Biológicas – Microbiologia pelo ICB/USP, Mestre em Ciências Biológicas – Imunologia pelo IB/Unicamp, Graduada em Ciências Farmacêuticas pela Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Araraquara – Unesp. Professora do Programa de Pós-Graduação – Mestrado Profissional do Ceeteps desde 2001, Professora de cinco disciplinas do Curso Superior de Tecnologia da Saúde da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba (Fatec/SO) desde 1993 e Professora do curso de Engenharia Ambiental da Unesp – Campus Sorocaba desde 2005. Farmacêutica Bioquímica de Bancos de Sangue e de Laboratórios Clínicos e de Análises Clínicas em Sorocaba e Araçatuba-SP (1982-1985) e Técnica de Apoio Superior do Hospital das Clínicas da Unicamp – Campinas-SP (1986-1993).

FLÁVIO DE MIRANDA RIBEIRO

Engenheiro Mecânico (Poli/USP), Técnico em Gestão e Tratamento de Resíduos e Pós-Graduado em Análise Pluridisciplinar do Estado do Mundo pela Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona/Espanha. Especialista em Gestão e Tecnologias Ambientais (Pece – Poli/USP), Mestre em Energia (Programa Interunidades Pós-Graduação em Energia/USP PIPGE). Desde 2004, ocupa a gerência do Setor de Tecnologias de Produção mais Limpa da Cetesb. Professor do MBA em Gestão e Tecnologias Ambientais do Pece/USP.

JOSÉ EDMÁRIO DO NASCIMENTO

Técnico em Química, Plásticos e Borracha, engenheirando em Produção. Coordenador Técnico de Operações da Chevron Oronite do Brasil Ltda. (uma empresa do grupo ChevronTexaco), 11 anos de experiência em plantas petroquímicas e situações diversas em estações de tratamento de efluentes.

KAREN STANGE

Tecnóloga em Saúde pela Faculdade de Tecnologia de Sorocaba. Curso de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde pela Fatec/Sorocaba. Tem artigo técnico publicado no Boletim Técnico da Fatec/SP. Coautora de trabalho científico apresentado no 5º Simpósio de Iniciação Científica da Faculdade de Tecnologia de São Paulo. Desde 2004, é Responsável Técnica na área de Saúde da Ortomed Pró-Hospitalar.

LINEU JOSÉ BASSOI

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de Bauru (atual Unesp). Pós-Graduação *Lato Sensu* em Engenharia Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP. Diversos cursos de aperfeiçoamento. Funcionário da Cetesb há 31 anos, tendo ocupado diversos cargos de gerenciamento nas áreas de apoio ao controle de poluição, gestão de recursos hídricos e saneamento ambiental. Diretor de Engenharia, Tecnologia e Qualidade Ambiental da Cetesb. Professor convidado de diversos cursos de especialização na área ambiental na Faculdade de Saúde Pública da USP, Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da USP, Fundação Armando Alvarez Penteado – Faap, Fatec/SP – Faculdade de Tecnologia de São Paulo) e em cursos da Cetesb. Professor convidado da OPS/OMS em curso sobre caracterização e tratamento de efluentes industriais.

MARCOS OLIVETTI SOUZA

Técnico em Mecânica pela Escola Técnica São Francisco de Bórgia (São Paulo-SP) e Tecnólogo em Hidráulica e Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (Fatec – São Paulo). Vinte anos de experiência em manutenção industrial de máquinas, equipamentos e instrumentos nas indústrias do segmento de alimentos, farmacêutica e cuidados e higiene pessoal. Atua como Projetista de instalações hidráulicas prediais e industriais nos segmentos: comerciais, residenciais, prediais, aeroportuárias, segurança pública, hospitais, transporte urbano, conjuntos habitacionais, petróleo, entre outros. Atuou junto à várias empresas, tais como: RR Consultoria Ltda., Aliança Metalúrgica Ltda., Sanko do Brasil S.A. (Dupont Coated-DPC), Clorox do Brasil Ltda., Novartis Biociências S.A., Progen – Projetos, Gerenciamento e Engenharia Ltda., Elevadores Otis Ltda., Procter & Gamble do Brasil & Cia. E realizou treinamentos corporativos no exterior: Itália, Suíça e Alemanha.

PEDRO NORBERTO DE PAULA FILHO

Tecnólogo em Construção Civil, com Especialização em Tecnologias Ambientais, pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (Fatec/SP). Professor do Centro Paula Souza, com atuação nas escolas Técnicas ETE Benedito Storani e Vasco Antonio Venchiarutti (Jundiaí), Instrutor da Escola Senai Conde Alexandre Siciliano (Jundiaí).

REGINA HELENA PACCA GUIMARÃES COSTA

Tecnóloga (Fatec/SP). Especialista em Tecnologias Ambientais (Fatec/SP). Treinamentos em gestão ambiental. Professora Associada do curso de graduação da Fatec/SP desde 1981. Responsável pelas cadeiras de Ciência do Ambiente, Introdução à Hidráulica e ao Saneamento Ambiental, Poluentes Atmosféricos e Reúso da Água. Atuou junto à Suplência de chefia do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Câmara de Ensino e da Congregação da Fatec/SP. Professora convidada no curso de Pós-Graduação (Fatec/SP). Vivência em engenharia: Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projetos; Sothis Delactôquímica Ind. Com. de Produtos para Construção Civil e Hidráulica Ltda.

RUBEN BRESAOLA JÚNIOR

Engenheiro Civil. Professor Doutor do Departamento de Saneamento e Ambiente da FEC/Unicamp. Membro do Conselho Estadual de Recursos Hídricos 1994 a 1998. Representante da Unicamp no Conselho Estadual de Saneamento. Diretor de Projeto e Pesquisa do ICTR-SP. Diretor de Educação do CREA-SP 1997 a 1998. Chefe DSA/FEC/Unicamp 2000 a 2004. Membro da Comissão de Reúso de águas de chuva ABNT.

SILVIA MARTA CASTELO DE MOURA CARRARA

Engenheira Civil formada pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP. Mestre em Saneamento pela Universidade Estadual de Campinas. Doutora em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2003). Docente do Centro Tecnológico Oswaldo Cruz e das Faculdades Oswaldo Cruz (2003 a 2005). Pesquisadora do Instituto Geológico do Governo do Estado de São Paulo (2005 a 2005).

Prefácio da 2ª Edição

Dirceu D'Alkmin Telles

Coordenador

A 1ª edição de “Reúso da água: conceitos, teorias e práticas” esgotou-se rapidamente, refletindo sua ampla aceitação em estudos, projetos, cursos de graduação e de pós-graduação, quer no LATO, como no *stricto sensu*.

Agregando sugestões recebidas, tendo em vista a evolução da tecnologia e o enriquecimento teórico e prático do livro, a coordenação promove esta 2ª edição com revisões, atualizações e ampliações.

Foram acrescentadas ilustrações, exemplos de aplicação e inserido o capítulo: “Dessalinização da Água”, de autoria de um novo colaborador.

Os capítulos 5 – “Esgoto” e 6 – “Tratamento de Efluentes” mereceram atenção especial. Processos avançados de tratamentos de água e de efluentes estão mais detalhados, destacando-se os processos de remoção de sólidos dissolvidos, de sólidos suspensos e de compostos orgânicos, processos de desinfecção e de destilação.

Uma das preocupações constantes das Fatecs – Faculdades de Tecnologia e do Ceeteps – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza é a produção de livros técnicos, especializados, destinados a trabalhos profissionais e aos seus cursos de graduação e de pós-graduação que atendam também estudantes, profissionais e a pesquisadores externos.

A elaboração de “Reúso da água: conceitos, teorias e práticas” é produto do intercâmbio que as Fatecs mantêm com docentes e profissionais externos. Foi construído graças à participação de seus especialistas, da FEC/Unicamp, da Poli/USP, de instituições particulares de ensino e de profissionais de destaque que atuam em empresas oficiais e privadas, mantendo-se as peculiaridades de cada autor.

As Fatecs vêm há quatro décadas formando profissionais competentes através de seus Cursos Superiores de Tecnologia, concebidos e desenvolvidos para atender aos segmentos atuais e emergentes da atividade industrial e do setor de serviços, em consonância com a evolução tecnológica.

Esta 2ª edição de “Reúso da água: conceitos, teorias e práticas” continua não pretendendo esgotar o tema e permanece aberto a sugestões e correções, visando a atualizações e novas edições.

Os coordenadores e autores agradecem às colaborações da FAT – Fundação de Apoio à Tecnologia e do Ceeteps – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza que tornaram possível a reedição deste livro.

Prefácio da 1ª edição

Dirceu D'Alkmin Telles

Coordenador

As Faculdades de Tecnologia, unidades do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, vêm há mais de trinta e cinco anos formando profissionais competentes por meio de seus cursos Superiores de Tecnologia, concebidos e desenvolvidos para atender aos segmentos atuais e emergentes da atividade industrial e do setor de serviços em consonância com a evolução tecnológica.

O ensino é comprometido com o sistema produtivo, seus currículos são flexíveis, compostos por disciplinas básicas, humanísticas, de apoio tecnológico e de formação específica em cada área de atuação do tecnólogo. A aprendizagem se faz por meio de projetos práticos, estudos de casos e em laboratórios específicos que reproduzem as condições do ambiente profissional, fornecendo condições ao futuro tecnólogo de participar, de forma inovadora, dos trabalhos de sua área. Esta proposta exige um corpo docente formado por especialistas em suas áreas de conhecimento e por professores dedicados ao desenvolvimento do ensino e da investigação científica e tecnológica.

Uma das preocupações constantes das Faculdades de Tecnologia do Ceeteps é a produção de livros técnicos e especializados, destinados aos seus cursos de graduação e de pós-graduação que atendam também a profissionais, estudiosos e pesquisadores de outras instituições.

A elaboração de “Reúso da água: conceitos, teorias e práticas” é produto do intercâmbio que as Fatecs e o Ceeteps mantêm com docentes e profissionais externos em cursos de pós-graduação. Esta obra foi escrita graças a colaborações de professores das Fatecs São Paulo, Sorocaba e Zona Sul, da FEC/Unicamp, da Poli/USP, de instituições particulares de ensino e de profissionais de destaque que atuam em empresas públicas e privadas, mantendo-se as peculiaridades de cada autor.

O livro “Reúso da água: conceitos, teorias e práticas” não pretende esgotar o tema e está aberto a sugestões e colaborações para atualizações e novas edições.

Os organizadores e autores agradecem as colaborações da Fundação de Apoio à Tecnologia (FAT) e do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (Ceeteps), que tornaram possível a edição desta publicação.

Apresentação

César Silva

Presidente da FAT

A Fundação de Apoio à Tecnologia (FAT) foi fundada em 18 de dezembro de 1987, por um grupo de professores da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (Fatec-SP), a partir da necessidade de interagir e obter sinergia com os sistemas produtivos, por meio do desenvolvimento e da gestão de projetos e cursos, tendo em vista a difusão da tecnologia aplicada.

Sendo assim, os objetivos da FAT são: a colaboração com instituições que atuem nas áreas de educação técnica e tecnológica; a oferta de serviços especializados e o apoio a atividades relevantes, desenvolvidas no Centro Paula Souza ou por outros centros e institutos de referência.

Uma das áreas de atuação da FAT é o apoio a eventos e a publicações, como forma de gerar difusão e transferência de tecnologia, a partir de experiências desenvolvidas por docentes, especialistas, mestres e doutores do Centro Paula Souza e de outras instituições de renome.

É com imensa satisfação que a FAT apresenta a obra: “Reúso da água: conceitos, teorias e práticas”, resultado do intercâmbio e da colaboração entre os docentes e especialistas da Fatec São Paulo, Fatec Sorocaba, Fatec Zona Sul, FEC/Unicamp e Poli/USP.

Parabenizamos a todos pela iniciativa e pelo resultado deste trabalho, que sem dúvida traz uma contribuição significativa para toda a comunidade acadêmica e nos encoraja a continuar apoiando a publicação de obras que estejam na vanguarda do conhecimento técnico e tecnológico.

Conteúdo

- 1 *Água: matéria-prima primordial à vida* 1
 - 1.1 Água no mundo
 - 1.2 Água no Brasil
- 2 *Consumo de água* 13
 - 2.1 Consumo doméstico
 - 2.2 Consumo industrial
 - 2.3 Consumo na agricultura
- 3 *Qualidade da água* 25
 - 3.1 Impurezas presentes nas águas
 - 3.2 Qualidade da água de abastecimento urbano
 - 3.3 Qualidade da água na indústria
 - 3.4 Qualidade da água na agricultura
- 4 *Poluição da água* 35
 - 4.1 Impurezas
 - 4.2 Tipos de impureza
- 5 *Esgoto* 41
 - 5.1 Definição de esgoto sanitário
 - 5.2 Parâmetros no tratamento do esgoto sanitário
 - 5.3 Vazões médias
 - 5.4 Indicadores ambientais
- 6 *Tratamento de efluentes* 51
 - 6.1 Tratamento prévio ou preliminar
 - 6.2 Tratamento primário
 - 6.3 Tratamento secundário/biológico
 - 6.4 Tratamento terciário/avançado
 - 6.5 Disposição final do efluente líquido
 - 6.6 Tratamento e disposição da fase sólida
 - 6.7 Disposição final dos resíduos
 - 6.8 Escolha do tipo de tratamento
- 7 *Reúso* 153
 - 7.1 Uma tecnologia sustentável
 - 7.2 O reúso como opção inteligente
 - 7.3 Necessidade de reúso
 - 7.4 Aplicações do reúso
 - 7.5 Reúso urbano para fins potáveis
 - 7.6 Reúso agrícola
 - 7.7 Reúso industrial
 - 7.8 Recarga de aquíferos
 - 7.9 Outros tipos de reúso
- 8 *Água: um bem público de valor econômico* 209
 - 8.1 Uma preocupação mundial
 - 8.2 Resumo da Lei das Águas (Lei Federal n. 9.433/97)

- 8.3 Leis, decretos e normas
- 8.4 Reúso na agricultura
- 8.5 Aproveitamento de água de chuva
- 8.6 Resolução Conama n. 357, de 17 de março de 2005
- 8.7 Decreto Federal n. 5.440, de 4 de maio de 2005: controle de qualidade de água para consumo

9 *Reúso e uso racional de água na indústria: considerações e exemplos no Estado de São Paulo* 249

- 9.1 Introdução
- 9.2 Usos de água na indústria e seus requisitos
- 9.3 Uso racional e reúso de água
- 9.4 Uso racional de água em alguns setores produtivos no Estado de São Paulo
- 9.5 Exemplos de reúso industrial no Estado de São Paulo
- 9.6 Conclusão

10 *Estudos de viabilidade do reúso de águas residuárias provenientes de um processo de galvanoplastia por tratamento físico-químico* 281

- 10.1 Introdução
- 10.2 Objetivos
- 10.3 Revisão bibliográfica
- 10.4 Materiais e métodos
- 10.5 Resultados e discussão
- 10.6 Conclusões

11 *Reúso da água de tratamento de efluentes: Chevron Oronite do Brasil* 299

- 11.1 Histórico
- 11.2 Unidade de tratamento de efluentes
- 11.3 Situações críticas e ações necessárias para correções na ETE
- 11.4 Quantidade de amostragens
- 11.5 Pontos de amostragem do sistema
- 11.6 Conclusão

12 *Tratamento de esgotos urbanos para reúso – ETE Jesus Netto* 315

- 12.1 ETE Jesus Netto
- 12.2 ETA de Reúso – Jesus Netto
- 12.3 Unidades adaptadas para produção da água de reúso
- 12.4 Disponibilidade de área para ampliação
- 12.5 Característica da água de reúso fornecida
- 12.6 Objetivo principal da ETE Jesus Netto
- 12.7 Ampliação do mercado consumidor
- 12.8 Conclusão
- 12.9 Recomendações

13 *Reaproveitamento da água pré-tratada não utilizada para hemodiálise* 329

- 13.1 Resumo
- 13.2 Introdução
- 13.3 Metodologia
- 13.4 Resultados
- 13.5 Discussão e conclusões

14 *Dessalinização da água do mar para consumo humano* 333

- 14.1 Histórico do consumo de água dessalinizada
- 14.2 Comparação entre a água doce e a dessalinizada
- 14.3 Processos de dessalinização

Glossário 353

Referências bibliográficas 397

Capítulo

1

ÁGUA

MATÉRIA-PRIMA PRIMORDIAL À VIDA

Regina Helena Pacca G. Costa

A água é uma substância vital presente na natureza, e constitui parte importante de todas as matérias do ambiente natural ou antrópico.

A caracterização dos diversos ambientes decorre das variações climáticas, geográficas e pluviométricas que determinarão a presença de água em maior ou menor quantidade durante um ciclo. Formando ou regenerando oceanos, rios, desertos e florestas, a água está diretamente ligada à identidade dos ambientes e paisagens.

A disponibilidade da água define a estrutura e funções de um ambiente responsável pela sobrevivência de plantas e animais assim como todas as substâncias em circulação no meio celular que constituem o ser vivo. Se encontram em solução aquosa: desde os elementos minerais que, procedentes do solo, percorrem as raízes e caule em direção às folhas, para a elaboração dos alimentos orgânicos, até a passagem dos alimentos elaborados, das mais variadas composições químicas, de uma para outra célula, de um para outro tecido, vegetal ou animal, no abastecimento de matéria e

energia indispensáveis às funções vitais de nutrição, reprodução e proteção do organismo (Branco, 1999).

Podem-se observar diferentes tipos de seres vivos que se caracterizam pela disponibilidade hídrica, fornecendo a diversidade dos ecossistemas.

A água é a substância predominante nos seres vivos, atuando como veículo de assimilação e eliminação de muitas substâncias pelos organismos, além de manter estável sua temperatura corporal.

Normalmente, os seres vivos obtêm água por meio de ingestão direta, retirando-a de alimentos, ou através de reações metabólicas, como a degradação de gorduras. Por outro lado, perdem água, de forma limitada e controlada, por meio da transpiração, respiração, sistema excretor e urinário.

Conclui-se, portanto, que a água é imprescindível como recurso natural renovável, sendo de suma importância para o desenvolvimento dos ecossistemas, e por consequência, considerada um fator vital para toda a população terrestre. Dessa

forma, ela possui um valor econômico que reflete diretamente nas condições socioeconômicas das diversas populações mundiais.

Por ser um fluido vital para todos os seres vivos, é essencial para consumo humano e para o desenvolvimento de atividades industriais e agropecuárias, caracterizando-se, dessa forma, como bem de importância global, responsável por aspectos ambientais, financeiros, econômicos, sociais e de mercado.

1.1 ÁGUA NO MUNDO

Não é à toa que nosso Planeta é chamado de “Planeta Água”, pois em sua maior extensão ele é constituído por este fluido.

Apresentando-se em vários estados físicos, possibilita movimentos constantes de manifestação e renovação, caracterizando a forma mais inteligente de reposição contínua: o *Ciclo Hidrológico*, mantido pela energia solar e pela atração gravítica (Figura 1.1).

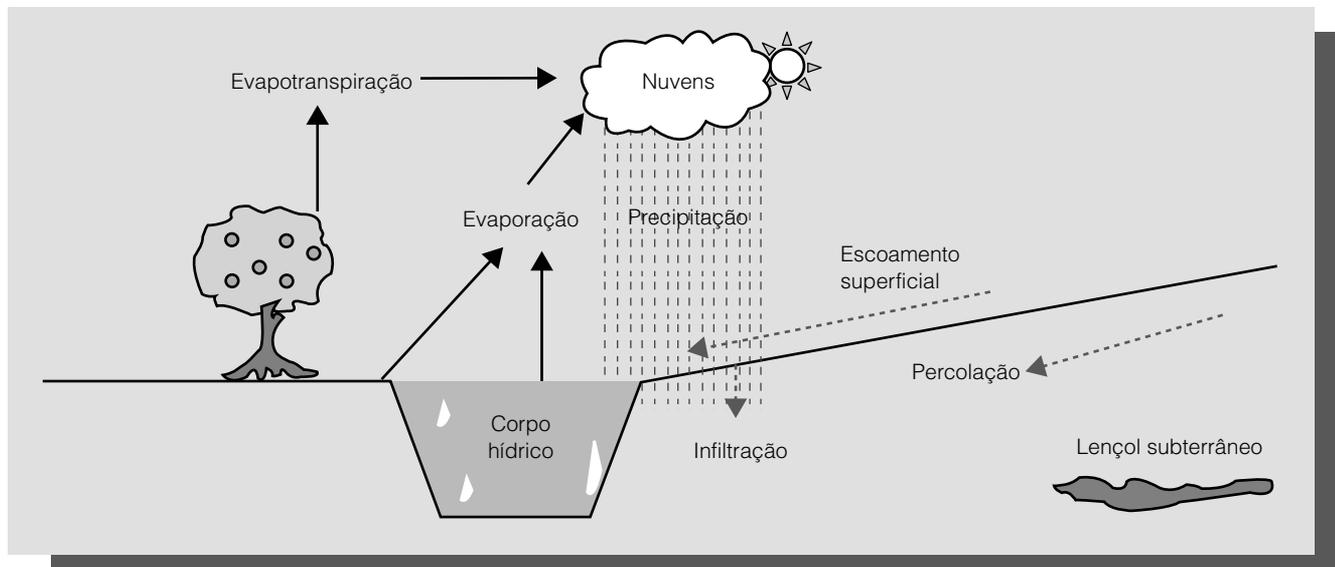


Figura 1.1 Ciclo hidrológico

É através da transformação de seus estados físicos que a água se recicla na natureza sob forma líquida ou sólida. Pelas condições climáticas, geográficas e meteorológicas apresenta-se em vapor, neblina, chuva ou neve, atingindo as superfícies dos oceanos, mares, continentes ou ilhas, justificando-se, dessa forma, como um recurso renovável e móvel, de caráter aleatório, de forma a manter constante o seu volume no planeta.

Todo esse processo ecológico favorece o perfeito equilíbrio do ciclo hidrológico, alternando-se no espaço e no tempo.

A evaporação terrestre somada à transpiração dos organismos vivos sobe à atmosfera; atuam junto às condições climáticas na formação de nevoeiros e nuvens que, sob a ação da gravidade, precipitam-se na terra na fase líquida (chuva, chuveiro ou neblina), na fase sólida (neve, granizo e saraiva), por condensação de vapor de água (orvalho) ou por congelamento de vapor (geada).

A superfície terrestre, ao receber a precipitação pluvial, interage com o solo através da infiltração, do escoamento superficial e da percolação. Estes contribuem para as recargas hídricas, tanto em forma de alimentação dos fluxos de água subterrâneos como em descargas nos reservatórios superficiais, além da umidade dos solos e da atmosfera. Considera-se, atualmente, que a quantidade total de água na Terra seja de 1.386 milhões de km^3 , em que 97,5% do volume total formam os oceanos e os mares, e somente 2,5% constituem-se de água doce. Este volume tem permanecido aproximadamente constante durante os últimos 500 milhões de anos. Vale ressaltar, todavia, que as quantidades estocadas nos diferentes reservatórios individuais da Terra variam substancialmente ao longo desse período (Rebouças, 1999, ver Tabela 1.1).

Verifica-se, portanto, que embora a Terra tenha sua área predominantemente ocupada por água, a maior parcela desse volume é de água salgada

Precipitação nos oceanos	458.000
Precipitação nos continentes	119.000
Descarga total dos rios	43.000
Volume vapor atmosférico	13.000
Evaporação dos oceanos	503.000
Evaporação dos continentes	74.200
Contribuição dos fluxos subterrâneos às descargas dos rios	43.000

Fonte: Adaptada de Rebouças, 1999

e uma mínima parte de água doce. A grande dificuldade para o aproveitamento desta água é sua distribuição geográfica, uma vez que a quantidade relativa à água doce, em sua maior proporção, se encontra nas calotas polares e geleiras, conforme demonstra a Figura 1.2.

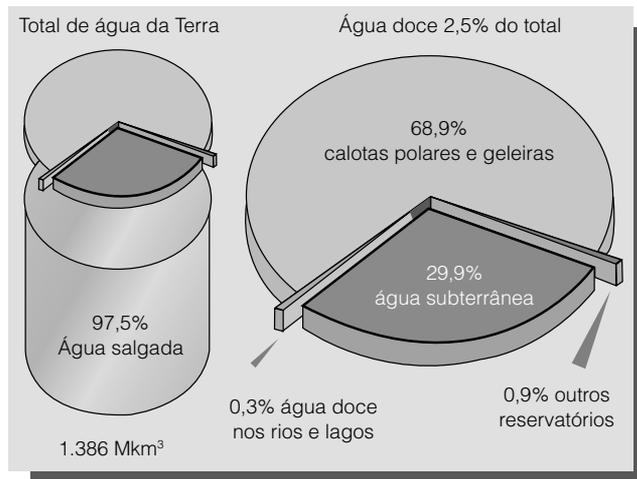


Figura 1.2 Distribuição das águas na Terra num dado instante. Fonte: Rebouças, 1999

Os fluxos de água são caracterizados de acordo com o clima e condições geológicas de evapotranspiração e escoamento. Variam sensivelmente no espaço e no tempo, e são medidos por índices pluviométricos. Na Tabela 1.2, observa-se que o maior volume de precipitação se encontra nas zonas intertropicais.

Os mananciais mais acessíveis utilizados para as atividades sociais e econômicas da humanidade são os volumes de água estocados nos rios e lagos de água doce, que somam apenas cerca de 200 mil km³, como se pode verificar na Tabela 1.3.

Isto vem chamando a atenção dos especialistas e estudiosos para a “crise da água”, principalmente porque estatisticamente é possível que esse volume se esgote em 30 ou 40 anos, considerando o seu uso por uma população mundial de 5 a 6 bilhões de habitantes, conforme mostra a comparação feita na Tabela 1.4 (Rebouças, 1999).

Os maiores rios do mundo estão, total ou parcialmente, inseridos em regiões úmidas, conforme mostra a Tabela 1.5.

Deve-se considerar que a ausência de condições geológicas para a formação de reservas hídricas é responsável pela dificuldade ou impedimento de acesso à água nos períodos de estiagem, como ocorre nas zonas semiáridas do nordeste do Brasil, que apresentam um quadro de rios temporários, intermitentes e sazonais.

A grande problemática da escassez da água mundial está relacionada com a má distribuição de recursos naturais no espaço em relação à concentração populacional, ou seja, o volume *per capita*, como se pode observar na Figura 1.3.

Sabe-se que os reservatórios hídricos variam de acordo com a condição geográfica, climática e topográfica de cada lugar. O Quadro 1.1 mostra o volume de água doce disponível em rios por continente. Estes dados, juntamente com as concentrações populacionais, personalizam a condição hídrica de cada região.

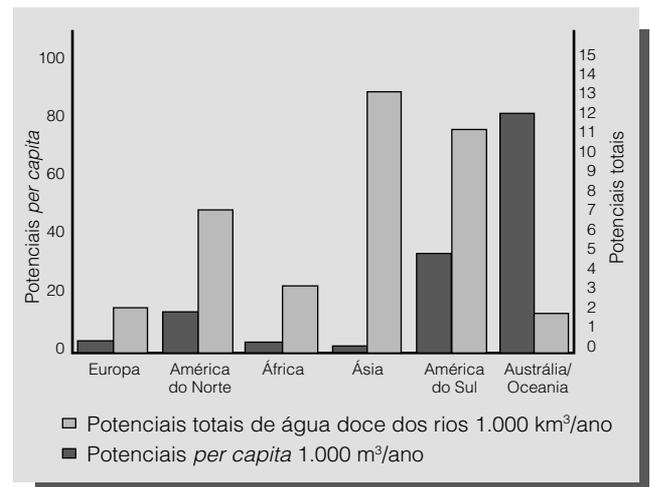


Figura 1.3 Potenciais de água doce dos continentes e influência da população. Fonte: Rebouças, 1999

Tabela 1.2 Fluxo de água por regiões climáticas km³/ano

Zonas climáticas	Precipitação	Evapotranspiração	Escoamento total dos rios	Escoamento de base
Temperadas	49.000	27.800	21.200 (48%)	6.500
Áridas e semiáridas	7.000	6.200	800 (2%)	200
Intertropicais	60.000	38.000	22.000 (50%)	6.300
Total (mundo)	116.000	72.000	44.000 (10%)	13.000

Obs. Escoamento-base: é fundamentalmente alimentado pelos fluxos subterrâneos onde deságua na rede hidrográfica da área em apreço. *Fonte:* Margat, 1998

Tabela 1.3 Áreas, volumes totais e relativos de água dos principais reservatórios da Terra

Reservatório	Área (10 ³ km ²)	Volume (10 ⁶ km ³)	% do volume total	% do volume de água doce
Oceanos	361.300	1.338	96,5	–
Subsolo	134.800	23,4	1,7	–
Água doce	–	10,53	0,76	29,9
Umidade de solo	–	0,016	0,001	0,05
Calotas polares	16.227	24,1	1,74	68,9
Antártica	13.980	21,6	1,56	61,7
Groenlândia	1.802	2,3	0,17	6,68
Ártico	226	0,084	0,006	0,24
Geleiras	224	0,041	0,003	0,12
Solos gelados	21.000	0,300	0,022	0,86
Lagos	2.059	0,176	0,013	0,26
Água doce	1.236	0,091	0,007	–
Água salgada	822	0,085	0,006	–
Pântanos	2.683	0,011	0,0008	0,03
Calha dos rios	14.880	0,002	0,0002	0,006
Biomassa	–	0,001	0,0001	0,003
Vapor atmosfera	–	0,013	0,001	0,04
Totais	510.000	1.386	100	–
Água doce	–	35,0	2,53	100

Fonte: Shiklomanov, 1998

Tabela 1.4 Disponibilidade de água por habitante/região (1.000 m³)

Região	1950	1960	1970	1980	2000
África	20,6	16,5	12,7	9,4	5,1
Ásia	9,6	7,9	6,1	5,1	3,3
América Latina	105,0	80,2	61,7	48,8	28,3
Europa	5,9	5,4	4,9	4,4	4,1
América do Norte	37,2	30,2	25,2	21,3	17,5
Total	178,3	140,2	110,6	89	58,3

Fonte: Universidade das Águas – Águas no Planeta, 2001

Tabela 1.5 Os maiores rios do mundo

Rios	Precipitação (mm/ano)	Evapotranspiração (mm/ano)	Lâmina escoada (mm/ano)	Descarga média (m³/s)
Amazonas	2.150	1.062	1.088	212.000
La Plata	1.240	808	432	42.400
Congo	1.551	1.224	337	38.800
Orinoco	1.990	1.107	883	28.000
Mekong	1.570	1.047	523	13.500
Irrawaddy	1.970	992	978	13.400

Fonte: IHP/Unesco, 1991

Quadro 1.1 Volume de água doce dos rios em cada um dos continentes

Continentes	Volume de água doce dos rios (km³)
Europa	76
Ásia	533
África	184
América do Norte	236
América do Sul	916
Oceania	24

Fonte: Embrapa, 1994

O Quadro 1.2 mostra a disponibilidade de água nos continentes em relação ao percentual populacional. Pode-se reparar a insuficiência no continente asiático que possui mais da metade da população mundial, com somente 36% dos recursos hídricos mundiais (Unesco, 2003).

Quadro 1.2 Relação entre a disponibilidade de água e a população em porcentagem

Continentes	Água (%)	População (%)
América do Norte e Central	15	8
América do Sul	26	6
Europa	8	13
África	11	13
Ásia	36	60
Austrália e Oceania	5	1

Fonte: Unesco, 2004

As Tabelas 1.6 e 1.7 revelam que as reservas hídricas mundiais já se encontram à beira do colapso, em algumas regiões.

Tabela 1.6 A situação da água no mundo

Regiões onde há deficiência de água	
África	Saara (9.000.000 km²) Kalahari (260.000 km²)
Ásia	Arábia (225.500 km²) Gobi (1.295.000 km²)
Chile	Atacama (78.268 km²)

Fonte: Uniágua, 2006

Tabela 1.7 Países pobres em água – Os onze países mais pobres de água

País	Disponibilidade – m³/hab x ano
Kuwait	Praticamente nula
Malta	40
Quatar	54
Gaza	59
Bahamas	75
Arábia Saudita	105
Líbia	111
Bahrain	185
Jordânia	185
Cingapura	211
União dos Emirados Árabes	279

Fonte: Margat, 1998

Onze países da África e nove do Oriente Médio já não têm água. A situação também é crítica no México, Hungria, Índia, China, Tailândia e Estados Unidos. Os países mais pobres em água possuem sua maior concentração populacional próxima aos rios, estando estes localizados em zonas áridas ou insulares da terra. Considera-se que menos de 1.000 m³ *per capita*/ano já representam

uma condição de “estresse da água”, e que menos de 500 m³/hab.ano já significa “escassez de água” (Falkenmark, 1986).

A Tabela 1.8 mostra como o consumo de água também está diretamente ligado à condição econômica da população, onde se observam níveis de variação ligados ao desperdício por falta de conscientização como consequência da falta de instrução (classe baixa) ou por descaso provocado pelo seu baixo valor monetário (classe alta).

Grupo de renda	Utilização anual – m ³ / hab.
Baixa	386
Média	453
Alta	1.167

Fonte: Uniágua, 2006

A situação crítica deverá atingir 30 países no ano 2025 (Tabela 1.9), o que sugere a “guerra iminente da água”. Os problemas políticos e sociais agravar-se-ão ainda mais pela falta de empenho dos governos na busca do uso mais racional da água. A deficiência poderia ser minimizada mediante o gerenciamento inteligente dos recursos internos, incluindo-se a utilização dos lençóis subterrâneos, o *Reúso* e a adequação nas atividades agrícolas, principalmente (Rebouças, 1999).

Ano	Habitantes	Uso da água m ³ /hab. x ano
1940	2,3 x 10 ⁹	400
1990	5,3 x 10 ⁹	800

Fonte: Uniágua, 2006

Gleick (1993) mostra na Tabela 1.10 os países com “estresse de água” ou “escassez de água”.

Numa projeção mais atual, Macedo (2004) compara disponibilidade hídrica e concentração da população. O Quadro 1.3 apresenta os países com escassez de água em 1992, com projeção para 2010, sua população e o tempo previsto para sua duplicação.

O Quadro 1.4 relaciona países com maiores e menores recursos hídricos.

A Uniágua (2005) alerta: “Mais de um sexto da população mundial, 18%, o que corresponde a 1,1 bilhões de pessoas, não tem abastecimento de água”. A situação piora quando se fala em saneamento básico, que não faz parte da realidade de 39% da humanidade, ou 2,4 bilhões de pessoas. Até 2050, quando 9,3 bilhões de pessoas devem habitar a Terra, 2 a 7 bilhões destas não terão acesso à água de qualidade, seja em casa ou na comunidade. A confirmação ou não desses números extremados depende das medidas adotadas pelos governos. Estes dados fazem parte de relatório da Unesco (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura), órgão responsável pelo Programa Mundial de Avaliação Hídrica, como preparação para o 3º Fórum Mundial da Água, que aconteceu em Kyoto, Japão, em março de 2003.

Os mananciais do planeta estão secando rapidamente, problema esse que vai se somar ao crescimento populacional, à poluição e ao aquecimento global, com tendência a reduzir em um terço, nos próximos 20 anos, a quantidade de água disponível para cada pessoa no mundo. O volume de água vem caindo desde 1970. “As reservas de água estão diminuindo, enquanto a demanda cresce de forma dramática, em um ritmo insustentável”, afirmou o diretor-geral da Unesco, Koichiro Matsuura.

Doenças relacionadas à água estão entre as causas mais comuns de morte no mundo e afetam especialmente países em desenvolvimento. Mais de 2,2 milhões de pessoas morrem anualmente devido ao consumo de água contaminada e à falta de saneamento, sendo mais afetadas as crianças com até cinco anos.

A Unesco montou um ranking de 122 países comparando a qualidade de seus mananciais. A Bélgica ficou em último lugar, atrás de países subdesenvolvidos como a Índia e Ruanda. Isto porque a Bélgica possui escassos lençóis freáticos, intensa poluição industrial e um precário sistema de tratamento de resíduos. No topo da lista estão Finlândia, Canadá, Nova Zelândia, Reino Unido e Japão.

O estudo também constatou disparidade quanto à disponibilidade de água nos diversos países. Cada kuwaitiano, por exemplo, tem à disposição

Tabela 1.10 Países com “estresse de água” ou “escassez de água”

País	<i>Per capita</i> m ³ /hab. x ano 1990	<i>Per capita</i> m ³ /hab. x ano 2025		<i>Per capita</i> m ³ /hab. x ano 1990	<i>Per capita</i> m ³ /hab. x ano 2025
África			América do Norte		
Argélia	750	380	Barbados	170	170
Burundi	660	280	Haiti	1.690	960
Cabo Verde	500	220	América do Sul		
Camarões	2.040	790	Peru	1.790	980
Djibuti	750	270	Ásia/Oriente Médio		
Egito	1.070	620	Chipre	1.290	1,00
Etiópia	2.360	980	Irã	2.080	960
Quênia	590	190	Israel	470	310
Lisoto	2.220	930	Jordânia	260	80
Líbia	160	60	Kuwait	<10	<10
Marrocos	1.200	680	Líbano	1.600	960
Nigéria	2.660	1.000	Oman	1.330	470
Ruanda	880	350	Arábia Saudita	160	50
Somália	1.510	610	Cingapura	220	190
África do Sul	1.420	790	Iêmen	240	80
Tanzânia	2.780	900	Europa		
Tunísia	530	330	Malta	80	80

Fonte: Gleick, 1993

Quadro 1.3 Países com escassez de água em 1992 – projeção para 2010 – população e tempo previsto de duplicação

Região/País	Suprimentos de águas renováveis <i>per capita</i> (m ³ /pessoa) – 1992	Suprimentos de águas renováveis <i>per capita</i> (m ³ /pessoa) – 2010	Alteração (%)	População (milhões)	Tempo de duplicação da população
África					
Argélia	730	500	32	26,0	27
Botsuana	710	420	-41	1,4	23
Burundi	620	360	-42	5,8	21
Cabo Verde	500	290	-42	0,4	21
Djibuti	750	430	-43	0,4	24
Egito	30	20	-33	55,7	28
Quênia	560	330	-41	26,2	19
Líbia	160	100	-38	4,5	23
Mauritânia	190	110	-42	2,1	25
Ruanda	820	440	-46	7,7	20
Tunísia	450	330	-27	8,4	33
Oriente Médio					
Barein	0	0	0	0,5	29
Israel	330	250	-24	5,2	45
Jordânia	190	110	-42	3,6	20
Kuwait	0	0	0	1,4	23
Quatar	40	30	-25	0,5	28
Arábia Saudita	140	70	-50	16,1	20
Síria	550	300	-45	13,7	18
Emirados Árabes	120	60	-50	2,5	25
Iêmen	240	130	-46	10,4	20

(Continua)

(Continuação)

Quadro 1.3 Países com escassez de água em 1992 – projeção para 2010 – população e tempo previsto de duplicação					
Região/País	Suprimentos de águas renováveis <i>per capita</i> (m ³ /pessoa) – 1992	Suprimentos de águas renováveis <i>per capita</i> (m ³ /pessoa) – 2010	Alteração (%)	População (milhões)	Tempo de duplicação da população
Outros					
Barbados	170	170	0	0,3	102
Bélgica	840	870	+4	10,0	347
Hungria	580	570	-2	10,3	-
Malta	80	80	0	0,4	92
Holanda	660	600	-9	15,2	147
Cingapura	210	190	-10	2,8	51
População Total				231,5	
Países com suprimentos de águas renováveis menor que 1.000 m ³ por ano (não se inclui água proveniente de países do entorno).					

Fonte: Macedo, 2004

apenas 10 metros cúbicos de água anualmente; já na Guiana Francesa, são 812.121 metros cúbicos *per capita*.

Quadro 1.4 Comparação de disponibilidades hídricas por países	
Países com maior disponibilidade de água	Quantidade (m ³ /habitante/ano)
1º Guiana Francesa	812.121
2º Islândia	609.319
3º Suriname	292.566
4º Congo	275.679
25º Brasil	48.314
Países com menor disponibilidade de água	Quantidade (m ³ /habitante)
1º Kuwait	10
2º Faixa de Gaza (território Palestino)	52
3º Emirados Árabes Unidos	58
4º Ilhas Bahamas	66

Fonte: Macedo, 2004

Ainda de acordo com o relatório, os rios asiáticos são os mais poluídos do mundo, e metade da população nos países pobres está exposta à água contaminada por esgoto ou resíduos industriais.

1.2 ÁGUA NO BRASIL

O território brasileiro é considerado o quinto no mundo em extensão territorial, possui uma área de 8.547.403 km², ocupando 20,8% do território das Américas e 47,7% da América do Sul (IBGE, 1996).

De acordo com dados de 2006, da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referente ao Censo Demográfico 2000, a população brasileira totaliza 169.590.693 habitantes, sendo previsto para o ano de 2006 o número de 186.770.562 habitantes. Possui uma densidade demográfica média de 19,92 habitantes por km². A população urbana corresponde a 81,23% do total e a rural perfaz 18,77%. O crescimento demográfico no ano de 2005/2006 foi de 1,40%. Em 2010, a população nacional é estimada em 192.648.283, e no mundo, em 6.823.290.138, segundo IBGE (2010). A Figura 1.4 mostra o crescimento da população dos anos de 1980 a 2010 (IBGE, 2006, 2010).

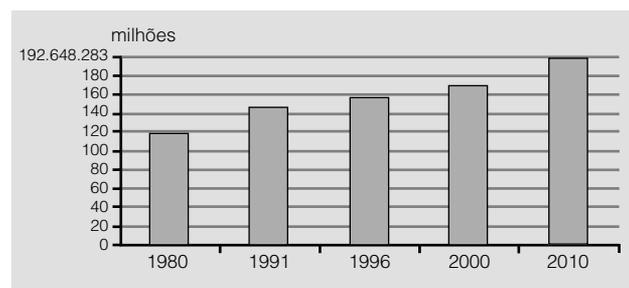


Figura 1.4 População Total – 1980–2010. Fonte: IBGE, Censo Demográfico 1980, 1991 e 2000 e Contagem da População 1996 e 2010.

Obs. População total – (1980 = 119.002.706; 1990 = 146.825.475; 1996 = 157.070.163; 2000 = 169.799.170; 2010 = 192.648.283.)

A região coberta por água doce no interior do Brasil ocupa 55.457 km², o que equivale a 1,66% da superfície do planeta. O clima úmido do país

propicia uma rede hidrográfica numerosa formada por rios de grande volume de água, todos desaguardo no mar. Com exceção das nascentes do rio Amazonas, que recebem fluxos provenientes do derretimento das neves e de geleiras, a origem da água dos rios brasileiros encontra-se nas chuvas. A maioria dos rios é perene, ou seja, não se extingue no período de seca e apenas no sertão nordestino, região semiárida, existem rios temporários (www.mre.gov.br, 2001).

O Brasil se destaca no cenário mundial pela grande descarga de água doce dos seus rios, cuja produção hídrica é de 177.900 m³/s. Quando somada aos 73.100 m³/s da Amazônia internacional, representa 53% da produção de água doce do continente Sul-Americano (334.000 m³/s) e 12% do total mundial (1.488.000 m³/s).

São quatro as principais bacias hidrográficas brasileiras: Amazônica, Prata ou Platina, São Francisco e Tocantins (Tabela 1.11).

Bacias hidrográficas	Área (km ²)	Principais afluentes	Potencial hídrico
Bacia Amazônica	3.889.489,6 (extensão = 6.515 km)	> 7000	23 mil km navegáveis e grande potencial hidrelétrico
Bacia do Prata	1.393.115,6	Formada pelos rios Paraná, Paraguai e Uruguai	<ul style="list-style-type: none"> ↳ Rio Paraná = o maior potencial hidrelétrico do país ↳ Rio Uruguai = potencial hidrelétrico ↳ Rio Paraguai = navegação
Bacia do São Francisco	645.876,6	São Francisco	<ul style="list-style-type: none"> ↳ Única Fonte de água da região semiárida do Nordeste brasileiro ↳ Potencial hidrelétrico razoável ↳ 2 mil km navegáveis
Bacia do Tocantins	808.150,1	Tocantins	Potencial hidrelétrico

Fonte: Adaptada do www.mre.gov.br, 2001

Região hidrográfica	Área de drenagem (km ²)	Vazão média (m ³ /s)	Vazão específica (L/s/km ²)	Porcentagem total do Brasil
Amazonas Brasil	3.900.000	128.900	33,0	72
Tocantins	757.000	11.300	14,9	6
Parnaíba – Atlântico Norte	242.000	6.000	24,8	3
Atlântico Nordeste	787.000	3.130	4,0	1,7
São Francisco	634.000	3.040	4,8	1,7
Atlântico Leste (BA/MG)	242.000	670	2,8	0,3
Paraíba do Sul	303.000	3.170	12,2	1,8
Paraná até Foz (Paraná – Brasil)	901.000	11.500	12,8	6,5
(Paraná – Brasil)	877.000	11.200	12,8	6,3
Paraguai – Foz do Apá (Paraguai – Brasil)	485.000	1.770	3,6	1,0
(Paraguai – Brasil)	386.000	1.340	3,6	0,7
Uruguai – Foz Quaraí (Uruguai – Brasil)	189.000	4.300	22,7	2,4
(Uruguai – Brasil)	178.000	4.040	22,7	2,2
Atlântico Sudoeste	224.000	4.570	20,4	2,5
Brasil	8.547.403	177.900	20,9	100
Brasil – Amazonas total	10.724.000	251.000	23,4	140

Fonte: Dados DNAEE, 1985

Mesmo possuindo grandes bacias hidrográficas, que totalizam cerca de 80% de nossa produção hídrica, cobrindo 72% do território brasileiro, como mostra a Tabela 1.12, o Brasil sofre com escassez da água, devido à má distribuição da densidade populacional dominante, que cresce exageradamente e concentra-se em áreas de pouca

disponibilidade hídrica, conforme mostra a Tabela 1.13. Como exemplo, pode-se citar a Região Metropolitana de São Paulo, onde atualmente se verificam sérios problemas de quantidade de água a ser distribuída, devido à sua alta concentração populacional, destacando-se também a grande degradação da qualidade dessas águas.

Tabela 1.13 Densidade de população dominante

Região	Habitantes por km ²	Descarga dos rios (% do total)
Amazonas	< de 2,00 a 5,00	72,0
Tocantins	2,00 a 5,00	6,0
Atlântico Norte-Nordeste	5,01 a 25,00 e 25,01 a 100,00	2,3
São Francisco	< de 2,00 a 5,00 e 5,01 a 25,00	1,7
Atlântico Leste	5,01 a 25,00 e 25,01 a 100,00	1,0
Paraná	25,01 a 100,00 e > de 100,00	6,5
Uruguai	5,01 a 25,00 e 25,01 a 100,00	2,2
Atlântico Sudeste	25,01 a 100,00 e > de 100,00	2,5

Fonte: Adaptado – IBGE, 1996

As formas desordenadas de uso e ocupação de territórios, em geral, agravam os efeitos das secas ou enchentes, atingindo a população e comprometendo suas atividades econômicas.

A ineficiente coleta e tratamento da água residual com o consequente lançamento de esgotos não tratados nos corpos de água, a inapropriada destinação dos resíduos sólidos, o desperdício, o falho sistema de drenagem, a grande poluição atmosférica, a falta de conscientização ambiental da população, empresários e governantes, enfim, os grandes impactos ambientais causados pela imprudência da sociedade refletem-se na degradação dos recursos hídricos.

Repara-se que os dados da Tabela 1.12 (de 1985) comparados com a Figura 1.5 (2001) são conflitantes, provavelmente devido às diferentes metodologias das pesquisas.

Nos grandes centros urbanos, soma-se ao problema da falta de água o padrão cultural da população. É necessário um programa eficiente de combate ao desperdício e à degradação da qualidade, objetivando a conscientização definitiva de que a água é um bem finito, vital e de grande valor econômico competitivo no mercado global.

A necessidade de gerenciamento se faz presente à medida que a demanda cresce, e isso inclui controle efetivo e educação ambiental extensivos a toda

a população, inibição do crescimento desordenado da demanda, assim como o controle do autoabastecimento das indústrias e do uso agrícola.

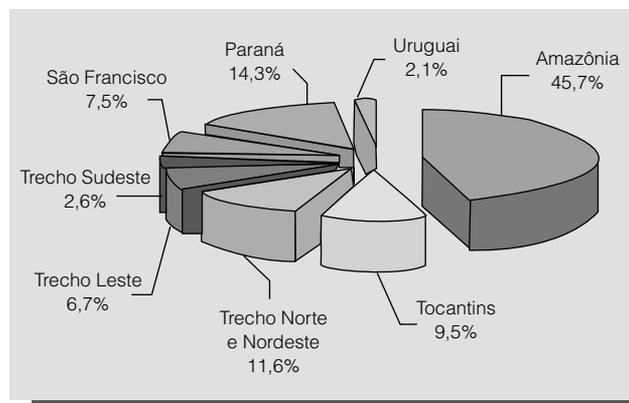


Figura 1.5 Área das Bacias Hidrográficas no Brasil (em % do total). Fonte: Uniágua, 2006

Também é necessário, e imprescindível, um melhor desempenho político, de forma que os poderes públicos, federal e estaduais promovam uma administração eficaz no controle e fiscalização das condições de uso e proteção da água e do solo.

Constata-se que, no Brasil, as dificuldades hídricas evidenciadas decorrem dos problemas ambientais e socioculturais refletidos diretamente nas condições inadequadas de uso e conservação dos recursos naturais, tanto na captação de água quanto na ocupação do solo.

A Tabela 1.14 mostra a distribuição hídrica nas regiões brasileiras, onde se verifica que nas regiões mais populosas é que se encontram menos recursos hídricos.

Tabela 1.14 Distribuição dos recursos hídricos, da área superficial e da população (em % do total do país)

Região	Recursos hídricos	Superfície	População
Norte	68,50	45,30	6,98
Centro-Oeste	15,70	18,80	6,41
Sul	6,50	6,80	15,05
Sudeste	6,00	10,80	42,65
Nordeste	3,30	18,30	28,91
SOMA	100,00	100,00	100,00

Fonte: Uniágua, 2006

