

The background of the cover is a vibrant blue with a close-up photograph of a glass of water. The glass is partially filled, and the water's surface is covered in fine, shimmering ripples. The lighting is bright, creating a sense of freshness and clarity. The overall aesthetic is clean and modern, emphasizing the theme of water.

Afranio Almir Righes
Galileo Adeli Buriol
Noemi Boer
Organizadores

ÁGUA E Educação

Princípios e estratégias
de uso e conservação



ÁGUA E Educação

Princípios e estratégias
de uso e conservação

ÁGUA E EDUCAÇÃO:
Princípios e Estratégias de Uso e Conservação

Afranio Almir Righes
Galileo Adeli Buriol
Noemi Boer

Organizadores

Centro Universitário Franciscano
Santa Maria
2009

Produção gráfica e arte final

Fabricio Spanevello Pergher

Capa

Rodolfo Dalla Costa

Revisão

Cristiane Fuzer

Nilsa Terezinha Reichert Barin

A282

Água e Educação : princípios e estratégias de uso e conservação / organizadores Afranio Almir Righes, Galileo Adeli Buriol, Noemi Boer. – Santa Maria : Centro Universitário Franciscano, 2009.

272 p. ; 14 x 21 cm

ISBN 978-85-7909-008-0

1. Água - conservação I. Righes, Afranio Almir II. Buriol, Galileo Adeli III. Boer, Noemi.

CDU 504.4

Sumário

APRESENTAÇÃO	9
INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO I - Água no planeta: características, disponibilidade e ciclo hidrológico	
Afranio Almir Righes	19
CAPÍTULO II - Qualidade da água	
Sergio Roberto Mortari e Rodrigo Ferreira da Silva	51
CAPÍTULO III - Bacia hidrográfica: aspectos conceituais e práticos	
Rafael Cabral Cruz e Ildomar Schneider Tavares	79
CAPÍTULO IV - Balanço hídrico	
Galileo Adeli Buriol	111
CAPÍTULO V - Escoamento superficial, erosão e contaminação do solo	
Afranio Almir Righes e Rodrigo Ferreira da Silva	139
CAPÍTULO VI - Técnicas de infiltração e conservação de água no solo	
Rodrigo Ferreira da Silva e Afranio Almir Righes	171
CAPÍTULO VII - Técnicas de armazenamento de água da chuva em áreas urbanas	
Maria Isabel P. Lopes e Sérgio Renato de Medeiros ..	199
CAPÍTULO VIII - Água e saúde: doenças veiculadas pela água	
Marlene da Silva Mello Dockhorn	221
CAPÍTULO IX - A água nos conteúdos escolares: saberes e possibilidades de ensino	
Noemi Boer	241

Apresentação

Ao longo dos anos, a educação superior vem incorporando, em suas funções de produção, transmissão e conservação do conhecimento, novas e importantes atividades sociais. Embora ciente de que as instituições universitárias não usufruam de um papel exclusivo nem mesmo prioritário no contexto da informação atual, levando-se em conta a importância da mídia no papel da informação e da formação de opinião, considera-se que as instituições são ainda essenciais em se tratando da investigação e da produção do conhecimento e da mediação teoria-prática; ciência-tecnologia.

Entretanto, é muito amplo o distanciamento entre as instituições de ensino superior e o âmbito decisório nacional para a discussão de políticas que decidam estratégias para o desenvolvimento sustentável. Dessa forma, faz-se necessário um amplo debate por uma teorização da educação ambiental crítica, a partir das realidades locais, mas com visão global, que repercuta em posicionamento ativo em favor da vida, sem dicotomia entre educação e sociedade. Necessita-se de uma proposta voltada a aprofundar o estudo e, sobretudo, a concepção de que o mundo natural é uma coordenação de organismos em interconexão e, no ponto de destruição a que chegamos, é imprescindível uma guinada do pensamento, uma revolução cultural capaz de possibilitar ações inovadoras evocadas para o pensamento ambiental.

Ao considerar a educação ambiental como resultado de investigação e de interação com a sociedade, tema desta obra, pode-se afirmar que se trata de um assunto

altamente compatível com a responsabilidade educativa e social desta Instituição que, expressamente, por seus princípios, preocupa-se com os problemas da vida humana e da natureza, na compreensão de que a formação para a cidadania, isto é, a formação de pessoas críticas, participativas e solidárias, imbuídas de uma cultura de paz, essencial para qualificar a vida nos dias atuais e preservar o futuro desenvolvimento sustentável dos povos, somente poderá ocorrer em sintonia com a discussão e a busca de soluções para os desafios da realidade.

É, pois, no sentido de responder de maneira efetiva e adequada às necessidades do ambiente, mediante o processo educativo, que ocorreu o desenvolvimento deste projeto, experienciado por uma equipe de professores e estudantes.

O caso de estudo que ora se publica, sinaliza a importância de uma epistemologia da ciência da natureza e do ambiente para gerar reflexões com base em argumentações científicas e éticas, capazes de relativizar o próprio conhecimento, desconstruir certezas de concepção sobre o mundo, a realidade, a cultura e partir, corajosamente, para novas formas de pensar, conceber, entender e de se relacionar à natureza; uma epistemologia capaz de pensar a natureza humana e não humana; uma epistemologia que propõe a prática educativa experienciada em ambiente de educação escolar e não escolar, tendo em vista sua repercussão para qualificar a vida em sociedade.

A crise ambiental que se vive atualmente resulta de uma crise da razão, de uma cultura exploradora e utilitarista do ambiente, de uma postura de insensibilidade humana, de uma tradição civilizatória essencialmente descomprometida com o cuidado à natureza, com visão lucrativa fortemente econômica e comercial.

A relevância do estudo de ações efetivas na educação ambiental é atribuição das instituições de educação superior na sociedade, incluindo a democratização de acesso ao conhecimento pela conexão com a realidade do trabalho na busca por soluções para os problemas urgentes que a humanidade enfrenta, tais como os do ambiente, tendo em vista o uso racional dos recursos e sua preservação para as futuras gerações.

Água, gênese da vida e a educação, força transformadora do pensamento humano, sejam ideias fonte desta contribuição para educadores e para todos os que se propõem e se decidem ao compromisso de pensar e fazer educação ambiental para a sustentabilidade da natureza humana e não humana do planeta Terra. Deseja-se que a leitura desperte e sensibilize a percepção e a vontade para a ação intencional e compartilhada da educação ambiental e da proteção à vida no presente e para o futuro.

Iraní Rupolo
Reitora do Centro Universitário Franciscano

Introdução

O Rio Grande do Sul, como outros estados do País, situados geograficamente entre as latitudes de 40º norte e 40º sul do Equador, é altamente susceptível à degradação ambiental quando a cobertura vegetal é removida. As ações antrópicas desordenadas na ocupação do espaço urbano e o uso inadequado do solo em áreas rurais causaram a degradação do ambiente com redução drástica na taxa de infiltração de água no solo. Como consequência, têm-se presenciado cada vez mais períodos de secas e enchentes que geram impactos negativos na produtividade de cultivos, alagamentos e disseminação de doenças veiculadas pela água. Esses problemas não estão somente vinculados ao volume e à intensidade das precipitações pluviométricas, mas principalmente à degradação da estrutura do solo que interfere na infiltração da água.

A partir desse contexto, professores do Centro Universitário Franciscano (UNIFRA), preocupados com a sustentabilidade da água, desenvolveram o projeto TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE DA ÁGUA EM ZONAS RURAIS E URBANAS EM SANTA MARIA – RS, do qual fizeram parte a Prefeitura Municipal de Santa Maria, a Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER-RS) e o Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí Mirim.

O projeto foi financiado pelo CT-AGRO/CT-HIDRO/MCT/CNPq e desenvolvido na Escola de Ensino Fundamental Tenente João Pedro Menna Barreto, localizada na zona

urbana de Santa Maria, RS, e na Escola de Santa Flora, localizada na zona rural do mesmo município. Apresentou-se, no projeto, uma proposta educativa e técnica, fundamentada em princípios e ações da educação ambiental e em metodologias demonstrativas da difusão de conhecimentos técnico-científicos que têm como meta aumentar a infiltração de água no solo.

Entre as ações educativas viabilizadas pelo projeto, destaca-se o Curso Capacitação de Professores da Educação Básica para Uso, Manejo e Conservação da Água, realizado em março de 2007. O curso teve por escopo capacitar 30 professores das escolas envolvidas no projeto para desenvolverem o tema água na transversalidade aos processos escolares, destacando o uso, o manejo e a conservação em áreas rurais e urbanas, bem como, o importante papel da água pura na proteção e manutenção da saúde das populações.

A primeira parte do curso, realizada no mês de março de 2007, nas dependências da UNIFRA, foi ministrada, pela equipe técnica do projeto, com 32 horas de aulas teóricas e práticas. A segunda parte do curso foi desenvolvida nas escolas após a instalação das Unidades Demonstrativas. Essas Unidades se constituíram em estratégias que proporcionaram além da visualização das técnicas e dos processos conservacionistas da água, a interatividade entre professores, alunos e comunidade. Para essa finalidade, os professores das escolas receberam assessoramento técnico e pedagógico com carga horária de 13 horas, perfazendo no total 45 horas de curso.

Considera-se que a proposta do referido curso se insere nas orientações das políticas públicas de Educação Ambiental, especialmente dos Parâmetros Curriculares

Nacionais (PCN), nos quais o meio ambiente é apresentado como um dos temas transversais. A água, como conteúdo da educação ambiental, deve ser trabalhada pela escola de forma contínua, sistemática e transversal ao currículo. Esse processo é fundamental para sensibilizar os estudantes e a comunidade sobre a sustentabilidade dos recursos hídricos. A fundamentação teórica envolveu também conhecimentos científicos relacionados às técnicas de uso, manejo e conservação da água.

Diante do cenário ambiental da atualidade, em que se observam a amplitude e agravamento dos problemas relativos ao uso incorreto e inconsequente dos recursos hídricos, a relevância do Projeto desenvolvido se justifica pela importância que a educação escolarizada tem na formação de crianças, adolescentes e jovens esclarecidos e, se possível, comprometidos com a sustentabilidade dos recursos naturais, necessários à manutenção da vida no planeta.

Estudos mostram que nas áreas rurais do Rio Grande do Sul, pela rotina de trabalho do setor agropecuário, tem-se apresentado uma evolução expressiva quanto às estratégias e tecnologias de uso, manejo e conservação do solo e da água, resultado da compreensão e do esforço de técnicos identificados com a área. O ponto de partida foi a construção de terraços na agricultura convencional, seguindo-se o preparo reduzido do solo, cobertura com plantas protetoras e recuperadoras e o sistema plantio direto com planejamento rural em microbacias hidrográficas.

Nas zonas urbanas, o problema de inundações, os desmoronamentos e os surtos de doenças veiculadas pela água são diariamente noticiados nos meios de comunicação. Evidencia-se, dessa forma, a importância do tema, não somente nas agendas dos distritos do Município de Santa

Maria, mas em muitas outras regiões do Brasil. Avaliando esse processo no tempo, nota-se que o volume de água oriundo de precipitação pluviométrica praticamente é o mesmo; entretanto, as inundações são maiores a cada ano. O problema fundamental é a impermeabilização da superfície do solo pela ocupação das edificações, dos estacionamentos, dentre outros, reduzindo a infiltração de água no solo.

A obra, **Água e educação: princípios e estratégias de uso e conservação** reúne textos elaborados pelos professores da UNIFRA que participaram do projeto TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE DA ÁGUA EM ZONAS RURAIS E URBANAS EM SANTA MARIA – RS. São engenheiros agrônomos, engenheiros civis, médicos, biólogos, oceanólogo e pedagogo, todos preocupados com as questões ambientais e, em particular, com a sustentabilidade da água no planeta. O interesse comum em torno dessas questões não apenas agrega o grupo como também o identifica.

O primeiro capítulo, **Água no planeta: características, disponibilidade e ciclo hidrológico**, trata das características físicas da água, da sua distribuição no mundo e no Brasil, do fracionamento, dos usos e efeitos das ações antrópicas na infiltração de água no solo em áreas rurais e o ciclo hidrológico.

No capítulo dois, **Qualidade da água** apresentam-se os tipos e a classificação das águas, discutem-se as qualidades físicas químicas e microbiológicas, descreve-se a dinâmica de lagos e reservatórios, incluindo o processo de formação e controle da eutrofização.

A Bacia hidrográfica: aspectos conceituais e práticos compõem o terceiro capítulo, no qual há a apresentação do conceito de bacia hidrográfica, como espaço fí-

sico e como unidade de gestão, da noção de disponibilidade hídrica, tanto em termos quantitativos como qualitativos, bem como noções de planejamento e manejo adaptativo.

No capítulo quatro, **Balanço hídrico**, descrevem-se a medida e a variação temporal dos principais elementos componentes do balanço hídrico: chuva, evaporação e evapotranspiração potencial. Tendo em vista que o armazenamento de água no solo condiciona a variação da temperatura, descrevem-se também a medida e a variação da temperatura do solo e do ar.

O escoamento superficial, erosão e contaminação do solo, que constitui o capítulo cinco, contém a descrição do escoamento superficial da água, fatores que interferem na sua infiltração no solo e tipos de cobertura do solo. São apresentados os principais métodos para determinar a taxa de infiltração de água no solo, determinação da capacidade de campo e ponto de murcha permanente e o armazenamento de água no solo. Discute-se a erosão hídrica, com suas fases, formas e fatores condicionantes, concluindo com a contaminação do solo.

O capítulo seis trata das **Técnicas de infiltração e conservação de água no solo**, iniciando com a interceptação da água da chuva, área de detenção, terraço, subsolagem, manejo de plantas, cobertura morta e sistema plantio direto com *vertical mulching*. No final do capítulo, há um glossário com conceitos de algumas práticas conservacionistas.

O capítulo sete, **Técnicas de armazenamento de água da chuva em áreas urbanas**, trata do potencial de aproveitamento da água de chuva visando a retenção nos lotes urbanos e nas áreas públicas. Esse procedimento, contribui para reduzir o uso de água potável de forma

inadequada, além de reduzir o seu escoamento superficial minimizando o impacto de inundações.

No oitavo capítulo, **Água é saúde: doenças veiculadas pela água**, aborda-se a importância da água pura para a homeostase do organismo e descrevem-se doenças relacionadas à água poluída, seja por agentes biológicos seja por químicos e formas para preveni-las.

O capítulo nove, **A água nos conteúdos escolares: saberes e possibilidades de ensino**, inicia com uma breve descrição sobre saber científico e saber escolar, destacando a construção do conhecimento científico na visão bachelardiana. Prossegue com a apresentação do tema água no ensino de Ciências Naturais e na Educação Ambiental. Na sequência, discutem-se as implicações teóricas decorrentes da inserção da Educação Ambiental no ensino de Ciências Naturais. Na parte final, é apresentada a Abordagem Relacional como alternativa pedagógica para desenvolver conteúdos escolares.

Os textos aqui reunidos objetivam propiciar ao leitor elementos teórico-práticos que possam estimular a reflexão a respeito de questões socioambientais relativas à sustentabilidade da água. Tem-se presente que o ambiente é complexo e está interligado por identidades múltiplas. Por isso, a água como elemento mediador das diferentes manifestações de vida é priorizada nesta obra.

Santa Maria, RS, março de 2009
Os Organizadores

Capítulo I

ÁGUA NO PLANETA: CARACTERÍSTICAS, DISPONIBILIDADE E CICLO HIDROLÓGICO

Afranio Almir Righes

righes@unifra.br

1.1 INTRODUÇÃO

A água, recurso tão comum quanto o ar que respiramos, cada vez mais vem sendo anunciada como fonte de problemas futuros. Segundo relatório ambiental da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2000, o consumo de água quase quadruplicou desde 1940. Assim, a escassez de água poderá constituir uma emergência mundial, já que o ciclo hidrológico parece incapaz de acompanhar as demandas das próximas décadas.

A água que utilizamos hoje é a mesma que saciou a sede de muitas pessoas que viveram na Terra desde os primórdios das civilizações. Não se produz água e ela não vem de outros planetas. O volume total de água na terra é e será sempre o mesmo, poderá mudar o volume das frações líquida, sólida ou gasosa, mas o total será constante. O relatório da ONU faz um alerta mundial: em 28 anos, a carência de água atingirá dois terços da população.

O Brasil é um país rico em água; 81% está na Bacia Amazônica, onde se concentram 5% da população, e os 19% no restante do País, onde se concentram 95% da população

brasileira. A distribuição do consumo mundial de água é de 69% na agricultura, 23% na indústria e 8% no uso doméstico (WWF, 1998). Entretanto o aumento populacional levou o homem a devastar as florestas nativas, para expandir agricultura para a produção de alimentos, deixando o solo desprotegido. A intensa mobilização do solo reduziu a macroporosidade, aumentou a compactação, ocorreu então a formação do “pé-de-arado”, que reduz a taxa de infiltração de água, a qual atinge valores menores do que 10 mm h^{-1} na região do Planalto do RS.

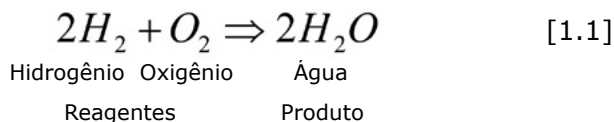
Na década de 70, o sistema plantio direto reduziu consideravelmente as perdas de solo, induzindo os agricultores à retirada dos terraços. Hoje, a perda de água por escoamento superficial, em algumas regiões, é até maior do que no sistema de cultivo convencional. Nas zonas urbanas, a redução das áreas verdes e o aumento da taxa de ocupação dos lotes com edificações associadas à impermeabilização das áreas de estacionamento, ruas e avenidas praticamente eliminaram a infiltração de água. Obviamente os efeitos estão nos jornais diariamente: enchentes, deslizamentos, secas, catástrofes ambientais provocadas pelas ações antrópicas que a natureza não perdoa, porque ela tenta se adaptar a um novo equilíbrio dinâmico que nem sempre é o que o homem deseja.

Uma alternativa para minimizar os efeitos das enchentes e das secas é aumentar a taxa de infiltração de água no solo onde ela cai, em áreas rurais e urbanas. Esse processo não é tarefa fácil. Inúmeras práticas mecânicas podem ser utilizadas para esse fim, temas que serão discutidos oportunamente neste livro. Neste capítulo, são discutidas características físicas da água, tipos de água, reservas de água no mundo, fracionamento, usos,

impacto das ações antrópicas na infiltração, disponibilidades e ciclo hidrológico.

1.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA

Todo estudante aprende que água é “líquido composto por hidrogênio e oxigênio, sem cor, cheiro ou sabor, transparente em seu estado de pureza; quimicamente é formada de dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio” (MICHAELIS, 2000). A reação química para a formação da água é representada pela seguinte equação:



A água pura é incolor, inodora e insípida. Sob pressão normal (1 atmosfera), apresenta ponto de congelamento 0,0°C, ponto de ebulição 100°C e densidade 1g cm⁻³ (a 4°C). Muitas águas apresentam sabor ou leves cheiros característicos, atribuídos pelas substâncias dissolvidas nelas. Para comprovar-se, basta ferver, deixar esfriar e prová-la que não terá nenhum cheiro. Para entender por que a água tem propriedades físicas tão especiais, é necessário estudá-la em nível molecular. A seguir são discutidas as principais características físicas da água

1.2.1 Solvente Universal

Na análise da estrutura da molécula, constata-se que a ligação dos átomos de hidrogênios com o oxigênio forma um ângulo de 105°, criando um dipolo, que atribui à água a característica de ser um solvente universal, podendo ligar-se

a partículas positivas e negativas (KOHNE, 1968). Essas propriedades fazem com que a água carregue compostos dissolvidos, alguns bastante tóxicos, e ainda, organismos como vírus e bactérias. Se a partícula for negativa, liga-se pelos hidrogênios; se for positiva, pelo oxigênio (Figura 1.1).

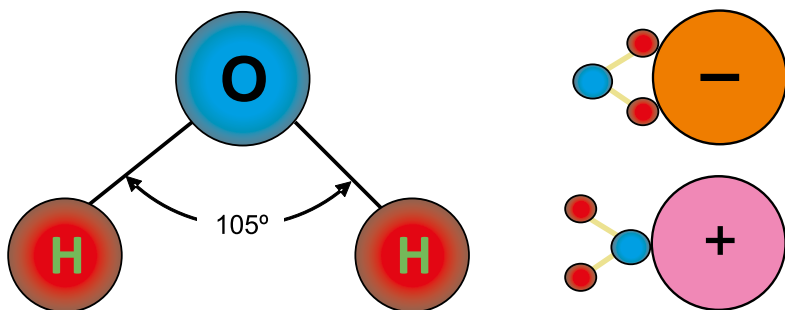


Figura 1.1 - Estrutura e formas de ligações da molécula de água com partículas sólidas.

Quimicamente, nada se compara à água. É um composto de grande estabilidade, um solvente universal e uma fonte poderosa de energia química. As suas propriedades vêm de sua polaridade, de sua não usual constante dielétrica e das ligações de hidrogênio que faz consigo mesma. A água é capaz de absorver e liberar mais calor que todas as demais substâncias comuns. A Terra está a uma distância do sol que permite a existência dos três estados da água: sólido, líquido e gasoso.

1.2.2 Comportamento anômalo da água

Em geral, toda a matéria aumenta de volume quando aquecida. Quando a temperatura da água passa de 0°C para 4°C, sua densidade aumenta (quando deveria diminuir). Quando aquecida acima dos 4°C, observa-se a real dilatação. Para explicar esse comportamento anômalo da água, é

preciso que estudar a sua estrutura atômica. As moléculas de água interagem entre si de uma forma ordenada, ou seja, cada uma delas pode atrair somente **quatro** outras moléculas vizinhas cujos centros, como resultado dessa união, formam um tetraedro. Como consequência disso, forma-se uma estrutura granulosa e organizada, quase cristalina (pseudocristalina) da água. A água é um composto molecular. Em 1 litro de água existem mais de 300×10^{23} moléculas. Cada molécula é formada por um átomo de oxigênio e dois átomos de hidrogênio, unidos por ligações covalentes. Com o incremento da temperatura, as ligações entre as moléculas dessa estrutura tetraédrica rompem-se paulatinamente, aumentando o número de moléculas livres que passam a ocupar os espaços vazios dessa estrutura (QMCWEB, 2008).

O primeiro efeito (efeito das oscilações) deve conduzir a uma redução da densidade da água. Esse é o efeito corrente da dilatação térmica dos sólidos. O segundo efeito (efeito do rompimento da estrutura), pelo contrário, deve conduzir a um aumento da densidade da água, à medida que é aquecida. Aquecendo-se a água até os 4°C , prevalece o segundo efeito (empacotamento) e, por essa razão, sua densidade aumenta. Acima dos 4°C , começa a prevalecer o efeito das oscilações (distanciamento) e, por isso, a densidade da água diminui.

A água no estado líquido apresenta uma estrutura complexa e dinâmica. As ligações fortes entre moléculas pelos hidrogênios apresentam certas propriedades e características especiais de suas características físicas como: calor específico, tensão superficial, viscosidade, temperatura de ebulição e de congelamento. A figura 1.2 apresenta o esquema da estrutura da água na forma cristalina (QMCWEB, 2008).

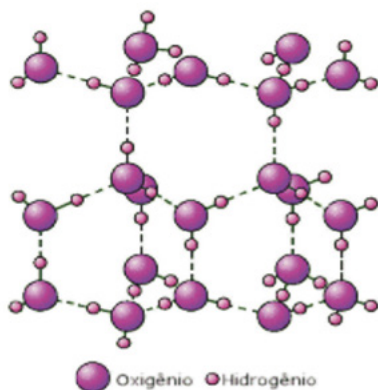


Figura 1.2 - Estrutura molecular do gelo (QMCWEB, 2008).

A estrutura do gelo é um tetraedro regular. Quando a temperatura sobe acima de 0°C , a agitação termal das moléculas é suficiente para esticar as ligações de hidrogênio, e ao rompê-las transforma a forma cristalina em água líquida. Um clássico esquema diagramático do gelo (forma cristalina) e da água na forma (não cristalina) foram publicados por Slatyer (1967) e são apresentados na figura 1.3.

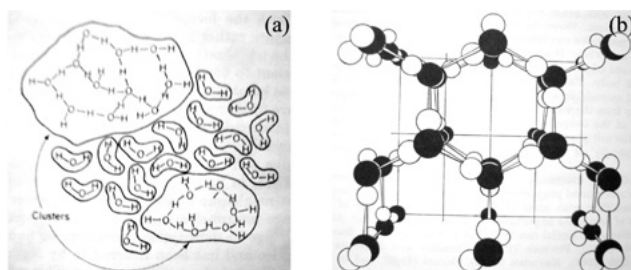


Figura 1.3 - Esquema diagramático da estrutura da água na forma (a) líquida, não cristalina e (b) do gelo, cristalina (SLATYER, 1967).

1.2.3 Densidade da água

A densidade de uma determinada matéria é calculada pela razão entre sua massa pelo volume. A densidade é uma propriedade física que pode ajudar a identificar uma substância. A unidade de massa que se emprega no sistema internacional (SI) é o grama (g). A unidade de volume é o mililitro (mL). A forma sólida da água possui uma densidade maior que na sua forma líquida, no entanto, o gelo é uma exceção importante (Figura 1.4).

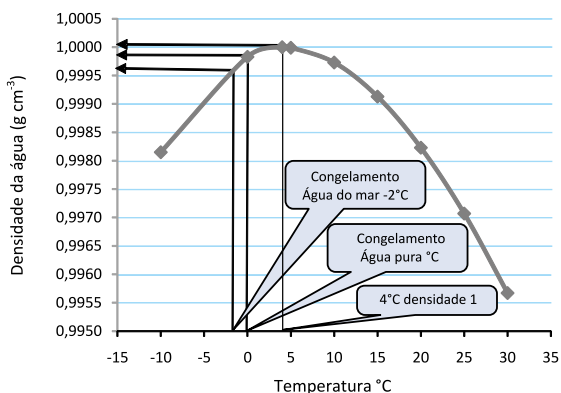


Figura 1.4 - Variação da densidade da água com a temperatura.

Uma experiência que permite visualizar o efeito da densidade da água e a flutuação de corpos pode ser visualizada no esquema da figura 1.5. Colocar o mesmo volume de água em três copos de vidro ou recipientes transparentes de mesmo tamanho. Colocar um ovo fresco, em cada recipiente. Observar com os alunos o que acontece. Manter o primeiro recipiente com água doce. No segundo, adicionar sal de cozinha (NaCl) cloreto de sódio, o suficiente para aumentar a densidade da água de forma que o ovo flutue. No terceiro recipiente, adicione mais sal até que o ovo atinja a superfície da água no copo.

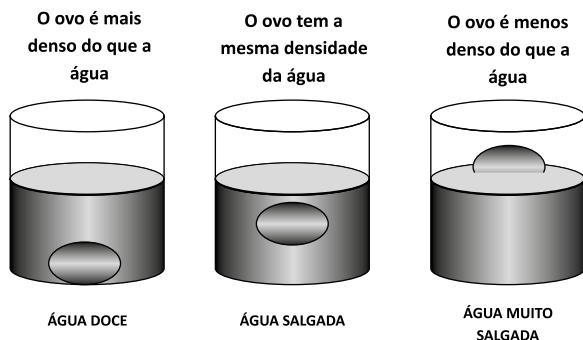


Figura 1.5 - Demonstração do efeito da densidade da água na flutuação de corpos.

A água salgada é mais densa que a água doce, o que permite a flutuação do ovo com menor porção imersa. Por isso é mais fácil boiar na água do mar do que numa piscina: a água salgada é mais densa do que a água doce.

Quando se congela, a água se expande, aumentando o seu volume. A densidade do gelo é $0,92 \text{ g mL}^{-1}$, um pouco menor que a da água líquida ($1,0 \text{ g mL}^{-1}$). Conseqüentemente, o gelo flutua, ficando na superfície da água, conforme se pode constatar com os icebergs (Figura 1.6).



Figura 1.6 - Icebergs flutuantes e a Península Antártica.

Na figura 1.6(a), pode-se visualizar um *icebergs* flutuante próximo a Península Antártica.

Como são formados os icebergs? De acordo com Bruneau (2008), uma enorme massa de gelo forma-se na terra pelo acúmulo de neve durante milhares de anos. Novas camadas de gelo comprimem as primeiras até atingir 60 a 70 metros de profundidade, formando-se as geleiras. Essas geleiras “escorregam” para fora como um fluido viscoso. Quando a beira dessa geleira avança para o oceano, os pedaços que se quebram são chamados de “icebergs” (em inglês, *ice* significa gelo). Icebergs são formados por água pura.

Se a água não apresentasse esse comportamento anômalo em relação à temperatura, o congelamento dos corpos de água começaria pelo fundo, o que inviabilizaria a vida aquática em águas congeladas. Porém, do modo como se comporta o gelo, ou seja, permanecendo na superfície, as águas podem comportar toda uma vida aquática por baixo da capa congelada. Essa propriedade da água também se deve, em boa parte, à erosão e à formação dos solos. A água da chuva penetra nas fissuras das rochas, congela-se e expande-se, aumentando ainda mais as fendas e podendo provocar a ruptura.

1.2.4 Misturas e dissoluções

Misturando-se um pouco de solo em um copo de água podem-se ver partículas muito pequenas e que deixam a água com um aspecto turvo. Nesse caso, as partículas que ficam em suspensão são partículas muito pequenas, geralmente silte e argilas. As argilas, nesse caso, pequenas partículas de substâncias que não são visíveis podem estar dissolvidas na água ou misturadas, temporariamente, com

ela. São chamadas de argila natural. Se duas ou mais substâncias se combinam e conservam suas propriedades individuais, o que aconteceu foi simplesmente uma **mistura**. Uma mistura de areia e água é heterogênea. Uma mistura de água e óleo apresenta duas fases e também se trata de uma heterogeneidade. Por outro lado, sal e água têm como resultado uma *dissolução*.

Uma **dissolução** também é uma mistura, porém, apresenta-se completamente uniforme, ou seja, com uma única fase, o que significa que tal mistura tem propriedades semelhantes em toda sua extensão. No caso da mistura água e sal, os cristais de sal se dissolvem, separando-se em partículas tão pequenas que não podem ser visualizados nem mesmo com uso de uma lente. Essas partículas se entrelaçam com as partículas de água, resultando em uma mistura **homogênea**, que é uniforme em sua totalidade.

No caso da mistura entre sal e água, há duas substâncias. Essas substâncias atuam uma com relação à outra. É necessário entender e utilizar dois termos de clara compreensão, quais sejam: *soluto* e *solvente*. **Soluto** é a substância que se encontra em menor quantidade na dissolução, pois está dissolvida em outra. No caso da mistura acima, o sal é o soluto. **Solvente** é a outra substância, ou seja, a que dissolve o soluto. É o agente dissolvente. No caso da mistura citada anteriormente, a água é o dissolvente.

1.2.5 Tensão superficial

As forças **coesivas** entre as moléculas de um líquido são responsáveis pelo fenômeno conhecido como tensão superficial, que é **um fenômeno típico de uma**

interface líquido gás. As forças intermoleculares nos líquidos são diretamente responsáveis por fenômenos de capilaridade, tais como a subida de líquido em tubos capilares. As moléculas na superfície não têm outras moléculas iguais por todos os lados e, conseqüentemente, elas sofrem uma coesão mais forte com aquelas diretamente associadas a elas na superfície (Figura 1.7a). Isso forma um “filme” superficial que torna mais difícil movimentar um objeto através da superfície do que o mover quando ele está completamente submerso. A tensão superficial é uma força requerida para romper um filme de comprimento de 1 cm tipicamente determinado em dinas cm^{-1} . Na figura 1.7b, tem-se uma demonstração de como se pode obter o valor da tensão superficial. No prato da balança, adiciona-se massa até que ocorra o desprendimento da agulha da superfície da água. O produto da massa pela aceleração da gravidade resulta na força “F”.

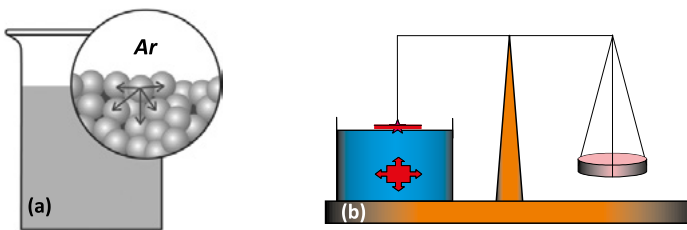


Figura 1.7 - Fenômeno típico da interface líquido-ar (a) e balança para demonstração prática da tensão superficial da água (b).

A determinação da tensão superficial de um líquido (δ) pode ser determinada, conhecendo-se a força (F) aplicada para deslocar da superfície do líquido uma agulha de comprimento (L) equação 1.2.

$$\delta = \frac{F}{L} \quad [1.2]$$

sendo:

δ = tensão superficial;

F/L = força por unidade de comprimento (dinas cm^{-1}).

Apenas como exemplo, pode-se constatar a tensão superficial da água, observando-se uma agulha que flutua sobre a superfície da água, muito embora sua densidade seja muito maior do que a da água ou o deslocamento de insetos sobre superfícies líquidas.

Podem-se adotar as unidades dinas por centímetro⁻¹ (d.cm^{-1} , CGS), Newton por metro (N.m^{-1} , SI), quilograma-força por metro (kgf. m^{-1} , técnico) e outras análogas. A equação dimensional é: $[T] = \text{M.T}^{-2}$.

A tensão superficial é também denominada coesão específica ou constante de capilaridade (Tabela 1.1).

Tabela 1.1 - Efeito da temperatura na viscosidade, tensão superficial e densidade da água.

<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Viscosidade</i> (centipoises)	<i>Tensão superficial</i> (dinas cm^{-1})	<i>Densidade</i> (g cm^{-3})
-10	----	----	0,99815
0	1,792	75,6	0,99987
4	1,567	75,0	1,00000
5	1,519	74,9	0,99999
10	1,308	74,2	0,99973
15	1,140	73,5	0,99913
20	1,005	72,7	0,99823
25	0,894	72,0	0,99707
30	0,801	71,2	0,99567

Fonte: Kohnke (1968).

Ela depende da natureza do líquido e, em geral, diminui à medida que a temperatura se eleva, anulando-se quando atinge a temperatura crítica.

1.2.6 Ângulo de contato

Ângulo de contato da água com um sólido é uma característica que envolve a interface líquido-sólido-gás. O ângulo de contato é também conhecido como ângulo de molhabilidade. O fenômeno ocorre entre uma gota de um líquido com uma determinada tensão superficial conhecida e uma superfície sólida (Figura 1.8). Depende da relação entre as forças adesivas, que fariam a gota se espalhar sobre a superfície e as forças coesivas do líquido, que contraem a gota a uma esfera com uma superfície mínima.

Se a gota repousa sobre uma superfície homogênea perfeitamente nivelada, forma-se um ângulo de contato de equilíbrio entre o líquido e a superfície sólida em qualquer ponto da linha de três fases, em que se encontram o sólido, o líquido e a fase de vapor. O ângulo de contato do líquido sobre o sólido se ajusta por si mesmo, de modo que a soma das forças é igual a zero.

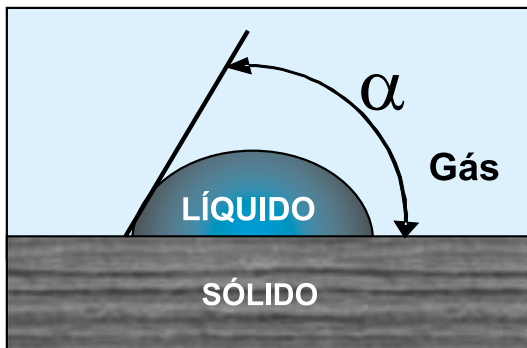


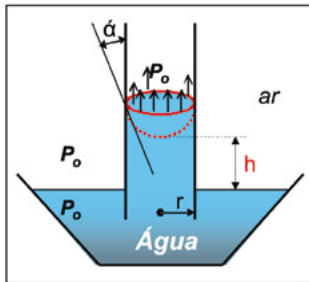
Figura 1.8 - Ângulo de contato de um líquido com um sólido.

Quando o ângulo de contato do líquido com o sólido, (alfa) for igual a zero, o espalhamento do líquido sobre o sólido é completo. Nesse caso o líquido molha totalmente o sólido. Pode-se citar como exemplo o álcool sobre um vidro. No caso do ângulo alfa ser igual a 180°, o líquido não molha o sólido e há uma rejeição total entre o sólido e o líquido. Como exemplo, tem-se o mercúrio sobre o vidro. De forma geral, se o ângulo de contato líquido-sólido for menor do que 90°, o líquido molha o sólido. Se esse ângulo for maior do que 90°, o líquido é repelido pelo sólido.

1.2.7 Capilaridade

Chama-se **capilaridade** à propriedade dos **fluidos** de subir ou descer em tubos muito finos (Figura 1.9). Essa capacidade de subir ou descer resulta da capacidade de o líquido molhar ou não a superfície do tubo (KOHNEKE, 1968).

Na condição de equilíbrio, a força ascendente é igual a força descendente



$$F \uparrow = F \downarrow$$

$$F \uparrow = 2\pi r \sigma \times \text{Cos} \alpha$$

$$F \downarrow = \pi r^2 h \rho g$$

$$h = \frac{2\sigma \text{Cos} \alpha}{\rho g r} \quad [1.3]$$

Figura 1.9 - Tensão superficial.

Sendo:

σ = tensão superficial ($g \text{ seg}^{-2}$);

α = ângulo de contato ($^{\circ}$);

ρ = densidade do líquido ($g \text{ cm}^{-3}$);

g = aceleração da gravidade ($980,6 \text{ cm seg}^{-2}$);

r = raio do capilar (cm).

Num tubo de 1 mm de diâmetro, a água sobe a 1,5 mm. Para um diâmetro de 0,01 mm, a altura de ascensão aumenta na mesma proporção em que diminui o diâmetro, quer dizer, a água sobe a 150 mm. Quando um líquido está em contato com um sólido, as moléculas da superfície livre do líquido ficam sujeitas a duas forças: a *coesão*, dirigida para o interior da massa líquida, e a *adesão*, proporcionada pela atração das moléculas do sólido. A tensão superficial da água é cerca de $0,075 \text{ N m}^{-1}$. A do álcool é $0,024 \text{ N m}^{-1}$. É mais difícil formar gotas de álcool que de água, nas mesmas condições.

Apliando-se a equação 1.3 pode-se calcular a altura de elevação da água em capilares. Para solos usar $\alpha = 0$. Assim, $\cos 0^\circ = 1$.

1.3 RESERVAS DE ÁGUA NO MUNDO, FRACIONAMENTO, USOS, DISPONIBILIDADE, FONTES DE ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA

A água tem se tornado um elemento de disputa entre nações. Um relatório do Banco Mundial, datado de 1995, alerta para o fato de que “as guerras do próximo século serão por causa de água, não por causa do petróleo ou política” (WWF, 1998). Hoje, cerca de 250 milhões de pessoas, distribuídas em 26 países, já enfrentam escassez crônica de água. Em 30 anos, o número de pessoas será de 3 bilhões em 52 países. Nesse período, a quantidade de água disponível por pessoa em países do Oriente Médio e do norte da África estará reduzida em 80 por cento. Dados relativos à projeção de aumento populacional evidenciam que oito bilhões de pessoas habitarão a Terra, na sua maioria concentradas nos países em desenvolvimento. Segundo o relatório, Previsões sobre a População Mundial 2006, do Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas, a população mundial

aumentará em 2,5 mil milhões de habitantes nos próximos 43 anos, passando dos atuais 6,7 mil milhões de pessoas para 9,2 mil milhões, um aumento de 37,3% (MALHEIRO, 2007). Com isso, será necessário produzir mais comida e mais energia, aumentando o consumo doméstico e industrial de água. Essas perspectivas fazem crescer o risco de guerras, porque a questão das águas torna-se internacional.

Aproximadamente 97% do volume total da água existente no planeta está nos mares e não pode ser usada diretamente para o consumo humano ou irrigação. Os 3% restantes estão na terra e nos mares salinos, situados nos continentes, praticamente indisponíveis para o uso, e 1% sob outras formas. A maior parte (77%) está localizada nas calotas polares, principalmente na Groenlândia e na Antártica, na forma de gelo e neve ou como água subterrânea. Apenas 1% de toda a água terrestre está diretamente disponível ao homem e aos outros organismos, sob a forma de lagos e rios; 22% é água subterrânea ou é umidade presente na atmosfera e componente dos mais diversos organismos. Desse 1%, os rios e lagos detêm 61%; a água atmosférica e o solo contam com 39%. Destaca-se que dos rios se retira grande parte da água necessária à irrigação (Figura 1.10).

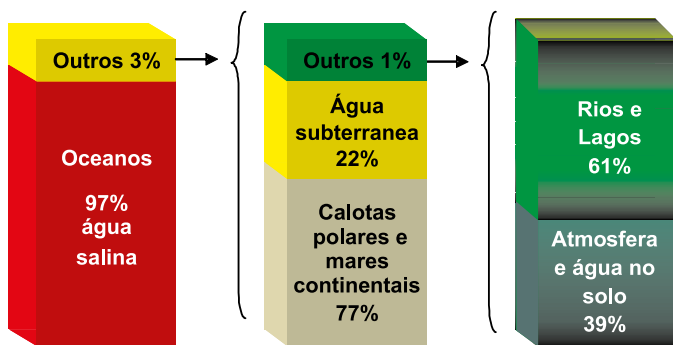


Figura 1.10 - Distribuição da água na Terra (NACE, 2008)

O Brasil detém 8% do potencial de toda a água do mundo. Entretanto, tem uma distribuição desigual. A figura 1.11 apresenta a distribuição da água no Brasil. Da água potável brasileira, 80% está na Bacia Amazônica, onde se concentram 5% da população, e os 20% no restante do País, onde se concentram 95% da população brasileira.



Figura 1.11 - Distribuição da água no Brasil (MAIA NETO, 1997).

O uso da água nos países em desenvolvimento é de 82% na agricultura, 10% na indústria e 8% no uso domiciliar, enquanto nos países desenvolvidos, é de 30% na agricultura, 55% na indústria e 11% nas residências. Em termos médios, são 69% na agricultura, 23% na indústria e 8% uso doméstico (Figura 1.12).

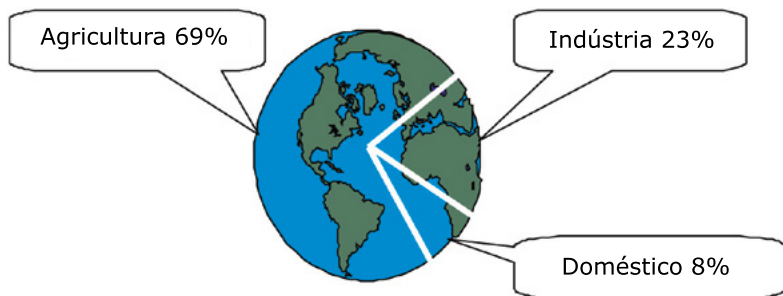


Figura 1.12 - Uso da água no mundo (WWF, 1998).

Analisando o ciclo da água nos diferentes sistemas, constata-se que 90% da água utilizada no abastecimento doméstico ou na indústria retornam ao meio ambiente, podendo ser reutilizada para outros propósitos. Entretanto, da água utilizada na irrigação apenas 50% é reutilizada para outros fins. O restante é consumido na evaporação para a atmosfera e/ou na transpiração pelas plantas.

1.4 IMPACTO DAS AÇÕES ANTRÓPICAS NA INFILTRAÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

Quando eu era jovem, tudo era muito diferente. Havia muitas árvores e florestas, as casas tinham bonitos e extensos gramados e jardins. Podia desfrutar de um banho, sem problemas, nas águas límpidas do riacho que passavam perto de casa. Hoje, as matas nativas foram derrubadas para dar lugar à agricultura extensiva. A intensa mobilização do solo pelo sistema convencional de cultivo degradou a estrutura do solo, reduziu a infiltração e o riacho não mais existe – apenas a depressão no terreno onde era seu leito, que serve como canal de drenagem para as águas da chuva. Na época, os pesquisadores já alertavam para o problema, dizendo: “cuidemos da água”. Mas ninguém lhes deu crédito. Todos pensavam que a água jamais faltaria. Hoje, grande parte de rios, barragens, represas, lagoas e até alguns aquíferos estão contaminados ou sem água. Num futuro não muito distante, a água se tornará um tesouro mais cobiçado que o ouro ou os diamantes.

Com base nas estimativas de aumento populacional, 8,3 bilhões de pessoas habitarão a Terra em 2025. Isso

significa que em torno de 5,5 bilhões de pessoas vão sofrer com a falta de água e deverão reduzir o consumo em 35%. Por outro lado, a quantidade total de água na terra é a mesma. A demanda de água no mundo dobra a cada 21 anos e aumentou 10 vezes desde 1900.

No Brasil, como ocorreu em praticamente todos os países situados nas regiões tropicais, a expansão da agricultura ocorreu pela derrubada das florestas, dando lugar às lavouras extensivas. No Rio Grande do Sul, na década de 40, a cobertura vegetal em florestas nativas atingia valores em torno de 46% e, segundo dados do inventário florestal realizado no Rio Grande do Sul (BRASIL, 1983), esse percentual caiu para aproximadamente 5,62%.

Em escala mundial, segundo Hudson (1977), os solos das regiões situadas entre 40° norte e 40° sul do Equador são altamente susceptíveis à degradação ambiental quando a cobertura vegetal é retirada, pois a superfície do solo fica desprotegida. (Figura 1.13).

Paradoxalmente, é nessa região do globo terrestre onde se localizam, em geral, os países mais pobres de nosso planeta. Exceção a esse comportamento, em escala mundial, ocorre nas regiões desérticas da África, na região central da Austrália e na região das florestas equatoriais da Ásia. A maior parte do território brasileiro situa-se entre o Equador e a latitude de 40° sul. O desmatamento é percebido como um problema ambiental, principalmente nas regiões mais quentes, por deixar o solo desprotegido. O resultado é o impacto direto das gotas de chuva nos agregados do solo, destruindo-os, com efeito indireto nos recursos hídricos.

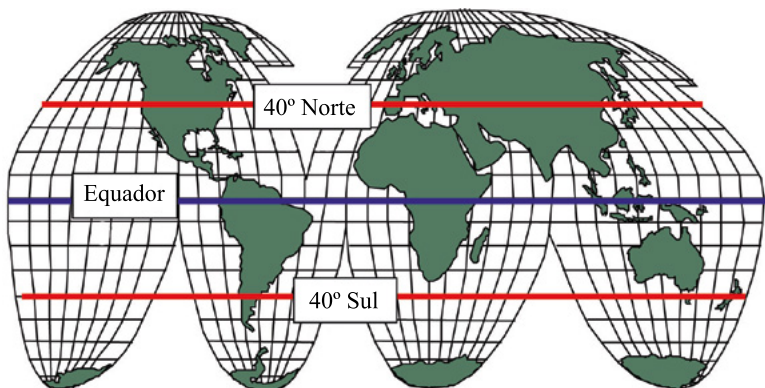


Figura 1.13 - Áreas situadas entre as latitudes de 40° Norte e 40° Sul do Equador particularmente susceptíveis à degradação ambiental quando a vegetação normal é removida (HUDSON, 1977).

Os agricultores importaram as máquinas de preparo do solo, como arados e grades, usando-os da mesma forma que eram utilizados nos países de clima frio com, aproximadamente, seis meses de neve, condições que não ocorrem nas regiões tropicais. A intensa e contínua mobilização do solo com máquinas agrícolas utilizadas no sistema de cultivo convencional, principalmente o arado e a grade, oxigenam o solo, aceleram o processo de mineralização da matéria orgânica e reduzem o tamanho dos agregados do solo. Esse procedimento reduziu o espaço poroso entre os agregados por onde ocorre o fluxo saturado de água que vai alimentar o lençol freático e as vertentes e, conseqüentemente, os rios e lagos (Figura 1.14).

A degradação da estrutura do solo e o novo rearranjo dos agregados cortados com arado e grade de discos (Figura 1.14 b e c) têm como resultado o incremento na

densidade (massa de solo por unidade de volume), provocada, principalmente, por dois processos: (i) compactação (aumento de massa por pressão mecânica) compressão do solo pelo trânsito do maquinário e (ii) adensamento (aumento de massa por translocação de partículas, como silte e argila, da camada mobilizada para o local denominado de “pé-de-arado”).

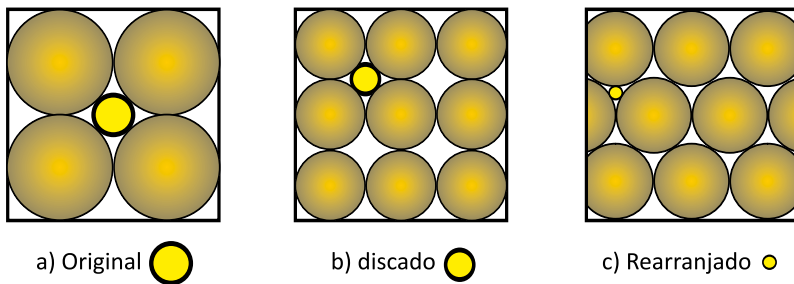


Figura 1.14 - Esquema visual da redução do tamanho dos agregados pela aração e gradagens e o impacto na macroporosidade do solo.

Essa pequena camada de impedimento, denominada de **pé-de-arado**, situada logo abaixo da camada arável, apresenta baixos valores de macroporosidade (poros grandes), espaço por onde ocorre o fluxo saturado de água no solo. Na região do Planalto do Rio Grande do Sul, em solo da unidade de mapeamento Passo Fundo, a macroporosidade do solo, nessa camada, atingiu valores em torno de 10% de volume (RIGHES et al., 2002a). Como consequência, ocorreu a redução na taxa de infiltração básica de água no solo, com aumento no volume de água por escoamento superficial (Tabela 1.2).

Tabela 1.2 - Densidade de partícula e do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo Passo Fundo, sob doze anos de cultivo, em sistema plantio direto. Valores médios de seis repetições. Passo Fundo – RS, 2002.

Propriedades do solo--	Camadas do solo (m)				
	0-0,025	0,025-0,15	0,15-0,30	0,30-0,40	0,40-1,00
Densidade de partícula (Mg m ⁻³)	2,697	2,706	2,708	2,707	2,704
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,288	1,327	1,242	1,217	1,145
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,522	0,509	0,541	0,550	0,576
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,411	0,406	0,424	0,427	0,435
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,111 b	0,103 b	0,117 ab	0,123 ab	0,141 a

* Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem, estatisticamente, entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Fonte: Righes et al. (2002a).

Na região da Campanha no Rio Grande do Sul, onde predomina a pecuária, os solos não foram intensamente mobilizados pelas máquinas agrícolas como ocorreu com os solos da região do Planalto. Entretanto, o pisoteio dos animais, desde os primórdios da exploração pecuária, contribuiu para a compactação da superfície do solo, reduzindo também a macroporosidade. Esse processo tem sido mais grave em solos com um determinado conteúdo de água que, ao receberem uma pressão da pata do animal, sofrem deformação permanente. Segundo Vizzotto et al. (1999), o pisoteio animal ocasiona, nos cinco primeiros centímetros de profundidade, redução da porosidade total e aumento da densidade do solo (Tabela 1.3).

Tabela 1.3 - Propriedades físicas das amostras de solo de várzea, coletadas com cilindro de Uhlund, na profundidade de 0-10 cm. Santa Maria, RS, 1999.

Tratamentos	Densidade do solo	Porosidade total	Micro-porosidade	Macro-porosidade
.....(g cm ⁻³).....				
Antes do início do pastejo	1,38 b*	45,34a	37,72a	7,62a
No término do pastejo	1,48a	42,50 b	36,65ab	6,14 b
Seis meses após o término do pastejo	1,45a	42,76 b	35,73 b	7,03ab
CV (%)	3,09	4,21	3,53	11,75

*Médias na coluna, seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Fonte: Vizzoto et al. (1999).

Na condição de solo compactado, o crescimento radicular concentra-se mais superficialmente (BEUTLER & CENTURION, 2004), principalmente, no caso de pisoteio animal, em que ocorre elevação da densidade do solo na camada superficial (CASSOL, 2003), bem como resistência à penetração (CONTE et al., 2005), mas em valores aquém dos citados como restritivos ao desenvolvimento de raízes. Os principais efeitos negativos da compactação do solo são: aumento da resistência mecânica ao crescimento radicular; redução da aeração e da disponibilidade de água e nutrientes e, consequentemente, o decréscimo na produtividade agrícola.

Na bibliografia, não existe consenso entre autores em relação ao nível crítico da densidade do solo (valor acima do qual o solo é considerado compactado). De acordo com Camargo e Alleoni (1997), considera-se crítico o valor de 1,55 kg dm⁻³ em solos franco-argilosos a argilosos. Por outro lado, Maria et al. (1999) constataram que valores de densi-

dade do solo acima de $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$, em latossolo roxo, quando o solo estiver em capacidade de campo, ocorre restrição ao desenvolvimento de raízes, o que caracteriza um estado de compactação do solo. Entretanto, a disponibilidade de água no solo ou aeração do solo são fatores preponderantes na penetração de raízes. Esse fator pode ser limitado pela redução dos macroporos que reduzem a taxa de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, a sua disponibilidade. Logo, a compactação tem efeito indireto na disponibilidade de água, nos mananciais para a irrigação, pela redução do fluxo saturado que alimenta vertentes, sangas, rios e lagos. Como consequência, vive-se um período de intensas erosões provocadas pelas enxurradas, perdas de milhares de toneladas de solo para os rios e redução da produtividade do solo.

O Estado do Rio Grande do Sul atingiu o limite de expansão de suas fronteiras agrícolas. Na década de 1970, a taxa de infiltração básica de água no solo na unidade de mapeamento Santo Ângelo, em condições de mata nativa, era de 180 mm h^{-1} e foi reduzida para 8 mm h^{-1} após 50 anos de cultivo trigo-soja no sistema de cultivo convencional. Essa redução é atribuída à degradação da estrutura do solo pelo manejo equivocado e, principalmente, pela excessiva mobilização do solo e pelo uso de equipamentos agrícolas inadequados para as regiões tropicais e subtropicais. O arado e a grade, equipamentos agrícolas desenvolvidos para as regiões frias (América do Norte e Europa), foram simplesmente importados e usados diretamente em regiões tropicais sem qualquer avaliação das relações máquina e solo. Logo, surge uma pergunta: por que nos Estados Unidos e na Europa a degradação da estrutura do solo não foi tão intensa como nas regiões tropicais? Obviamente, no Brasil,

não se tem seis meses com temperaturas abaixo de zero, como ocorre em muitas regiões dos EUA e Canadá, onde o solo fica congelado, sem nenhuma atividade biológica. A mineralização da matéria orgânica é praticamente paralisada. Além do mais, quando o solo está completamente saturado, ocorre o congelamento, aumentando o volume e, conseqüentemente, reduzindo os impactos da compactação. Nas regiões tropicais, têm ocorrido o incremento do escoamento superficial e a redução do fluxo de subsuperfície, conforme se pode visualizar na figura 1.15.

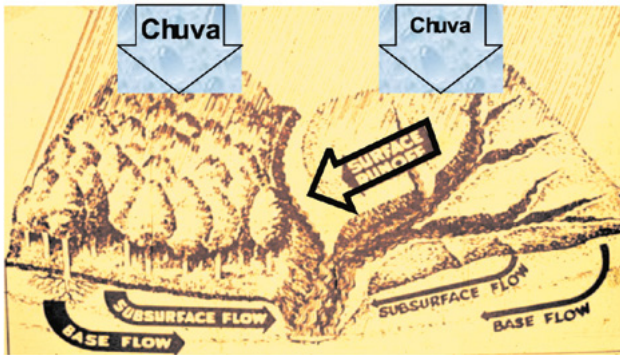


Figura 1.15 - Efeito da mata na intensidade do fluxo de água de superfície e de subsuperfície em comparação com o solo desnudo.

Com a degradação da estrutura do solo, ocorre a redução dos espaços entre os agregados do solo, tendo como consequência a redução da infiltração de água. Em solos profundos, como a unidade de mapeamento Santo Ângelo, com até 14 m de profundidade, mesmo em condições de chuvas intensas, a água não preenche todos os poros até atingir a rocha. Nessas condições, não existe água gravitacional para drenar naturalmente e alimentar as vertentes, os riachos e

os rios em períodos de estiagem. No Rio Grande do Sul, se toda a água da chuva infiltrasse nos locais onde ela cai (em média 1700 mm por ano), não ocorreriam tantos problemas de falta de água. A redução da taxa de infiltração de água no solo em áreas rurais e urbanas, é a principal causa das enchentes e dos desequilíbrios ambientais.

A água tem múltiplos propósitos de uso e é imprescindível à vida no planeta. Por ser um recurso multifuncional, serve ao abastecimento humano, às atividades agropecuárias, à geração de energia, ao transporte e à recreação. Esse insumo básico usado na grande maioria das atividades econômicas é extremamente vulnerável à degradação qualitativa e à disponibilidade de uso para o homem, além de ser fator indispensável na manutenção da biodiversidade, na produção vegetal e, conseqüentemente, na produção de alimentos. A inércia das lideranças e a falta de consciência da população para a escala do problema têm agravado a crise da água em todo o mundo. O resultado final é que, de todas as crises sociais e naturais que o ser humano enfrenta, a da água ocupa o centro da nossa sobrevivência e do planeta Terra.

1.5 CICLO HIDROLÓGICO

A quantidade total de água existente na Terra, nas suas três fases – sólida, líquida e gasosa – tem-se mantido constante desde o aparecimento do homem. A hidrosfera que constitui a água na Terra se distribui em três principais reservatórios: os oceanos, os continentes e a atmosfera, entre os quais existe uma circulação perpétua denominada ciclo da água ou ciclo hidrológico, que pode ser definido pela constante mudança de estado físico da água na natureza. É o movimento da água entre os continentes, oceanos e a atmos-

fera. O grande motor desse ciclo é o calor, energia irradiada pelo sol. Analisando hidrologicamente o fluxograma do ciclo da água na natureza (Figura 1.16), pode-se constatar que a parte mais importante para a sustentabilidade desse recurso para o uso do homem é a fase da infiltração de água no solo.

Toda a água evaporada do solo ou de superfícies líquidas (lagos rios e mares) e transpirada pelas plantas transforma-se em vapor que, pela circulação atmosférica, desloca-se em forma de nuvens, atingindo diferentes regiões da Terra. Dependendo das condições térmicas da atmosfera, o vapor de água das nuvens, pelo processo de condensação, transforma-se em chuva, neve ou granizo. A terra é o único planeta do sistema solar com extensas quantidades de água líquida, o que pode explicar porque a terra não é excessivamente quente ou fria. Os processos que permitem a circulação da água são: evaporação, transpiração, precipitação, escoamento superficial, infiltração e escoamento subterrâneo (Figura 1.16).



Fonte: <http://alexribeiro.awardspacc.com/ciclo.html>

Figura 1.16 - Ciclo hidrológico na natureza.

A disponibilidade de água para ser utilizada pelo homem em suas atividades econômicas depende, fundamentalmente, do processo de infiltração. Para evitar a escassez de água no solo, esse é o processo mais importante do ciclo hidrológico (Figura 1.17).

Nessa condição, a água no solo está livre, ou seja, a pressão atmosférica é essa água que alimenta o lençol freático e permite a recarga dos aquíferos subterrâneos e as vertentes. Se o processo de infiltração for limitado por camadas de impedimento, como, por exemplo, o **pé de arado** ou camadas compactadas, a taxa de infiltração será reduzida, aumentará o fluxo de água na superfície do solo, causando as enchentes. Esse escoamento superficial é o volume de água que deixou de se infiltrar no solo e, rapidamente, atinge os rios e, finalmente, o mar. É a água que vai faltar em períodos de estiagem. Como consequência, desaparecerão as vertentes, com redução das vazões dos riachos, que alimentam os rios, não disponibilizando, por isso, o volume de água necessário às atividades humanas.

As ações antrópicas têm alterado a estrutura do solo, reduzindo a percentagem de macroporos, o que, por sua vez, reduz a infiltração e aumenta o escoamento superficial, o fluxo indesejável, com todos os problemas decorrentes: erosão do solo, transporte de nutrientes, de poluentes, de pesticidas, enchentes e, além disso, contribuição para a difusão de doenças veiculadas pela água. É preciso lembrar: **“o que ocorrer com a terra recairá sobre os filhos da terra. O homem não tramou o tecido da vida: ele é simplesmente um de seus fios. Tudo o que fizer ao tecido fará a si mesmo”**¹.

¹ Parte do texto produzido pelo Chefe da tribo Seattle enviado ao Presidente dos EUA, no ano de 1854 – ONU.

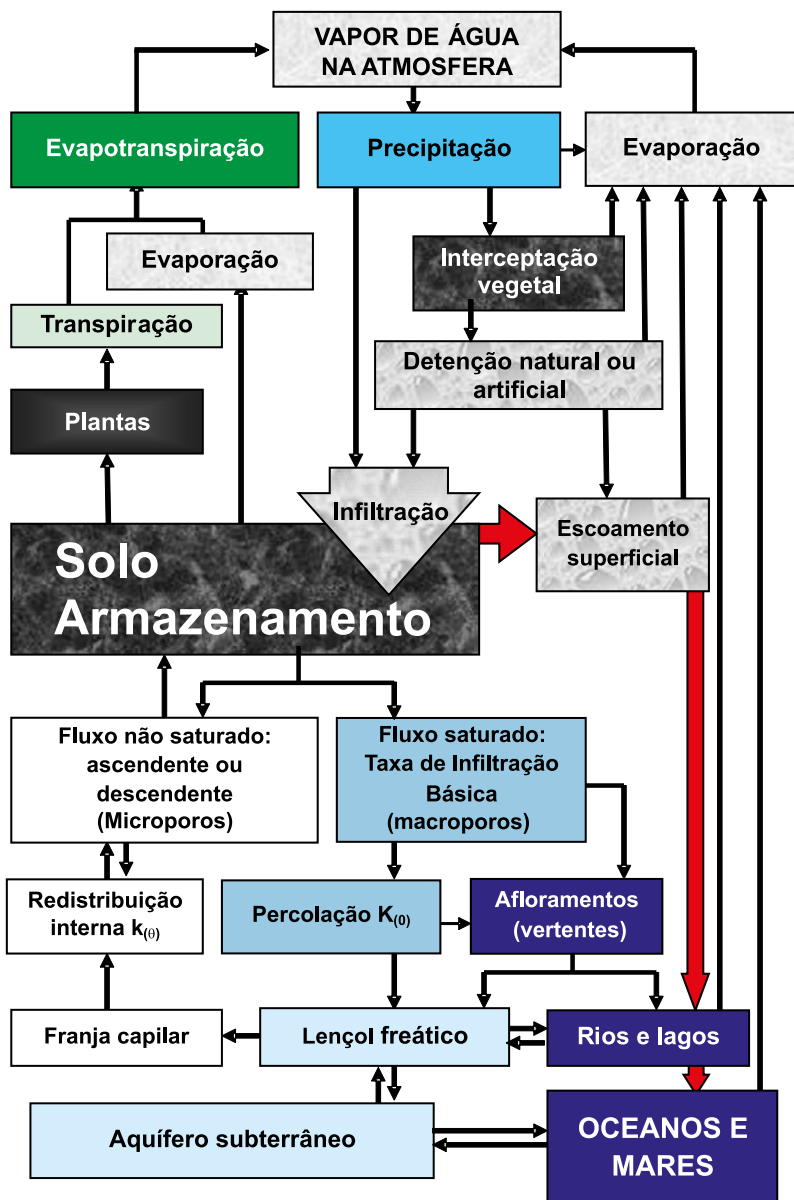


Figura 1.17 - Fluxograma do ciclo hidrológico (RIGHES, 2002b).

REFERÊNCIAS

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-588, 2004.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA – IBDF. **Inventário florestal nacional Florestas nativas RS**. Brasília, DF, 1983. 345 p.

BRUNEAU, S. E. **Os Icebergs de Newfoundland e de Labrador. Perguntas frequentes com respostas curtas e sugestões**, Canadá A1C 5H5. Disponível em: <http://www.bioqmed.ufrj.br/ciencia/Bruneau.htm>. Acesso em: 19 jan. 2008.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. **Circular técnica nº16** Piracicaba, 1997. 132p.

CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 143 f. Tese (Doutorado em Agronomia), PPG Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CONTE, O. et al. Força de tração específica em semeadura direta e resistência do solo a penetração na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30. 2005, Recife. **Anais...** [CD ROM]. Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

HUDSON, N. **Soil Conservation**. Ithaca, NY: Cornell Univ. Press, 1977. 304 p.

KONHNKE, H.. **Soil physics**. 2. ed. New York: MacGraw Hill, 1968. 224 p.

MAIA NETO, R. M. Água para o desenvolvimento sustentável. A água revista. **Revista Técnica e Informativa da CPRM**, Ano V, v. 9, p. 21-32, nov. 1997.

MALHEIRO, L. F. Pináculos: ONU prevê 9,2 mil milhões de habitantes no mundo em 2050. Disponível em: <http://pinaculos.blogspot.com/2007/03/onu-prev-92-mil-milhes-de-habitantes-no.html>. Acesso em 20 mai. 2007.

MARIA, I. C. de; et al. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.

MICHAELIS. **Moderno dicionário da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Reader's Digest; São Paulo: Melhoramentos, 2000. 2v.

NACE, U. S. **Geological Survey**. Disponível em: http://www.ga.usgs.gov/edu/water_distribution.html. Earth's water distribution.1967. Acesso em: 28 jan. 2008.

QMCWEB. **Água**: o líquido vital. Revista Eletrônica do Departamento de Química - UFSC Florianópolis. Ano 4., 2008. Disponível em: <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/agua.html>. Acesso em: 19 mar. 2008.

RIGHES, A. A. et al. Mulching vertical e enxurrada no plantio direto da soja **Anais...** XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água Cuiabá, MT, 2002a. CD.

RIGHES, A. A. Água: sustentabilidade, uso e disponibilidade para irrigação. **Ciência e Ambiente**. Santa Maria-RS. v. 21, n. 1,p. 90-102, 2002b.

ROCHA, A. A. **Ciências do ambiente, saneamento, saúde pública.** São Paulo: Departamento de Saúde Ambiental, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, 1995. 407 p.

SLATYER, R. O. **Plant-water relationships.** 6. ed. London: Academic Press, 1967. 366p.

VIZZOTTO, V. R. et al. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do Solo de várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 965-969, 1999.

WWF (Fundo Mundial para a Natureza). In: SARDI, M. **FE-NAE Agora.** Edição n. 8, ano 1, n. 8, p. 12-19, set. 1998.

Capítulo II

QUALIDADE DA ÁGUA

Sergio Roberto Mortari

mortari@unifra.br

Rodrigo Ferreira da Silva

rofesil@bol.com.br

2.1 INTRODUÇÃO

A água é um líquido incolor, inodoro, insípido e essencial à vida, já que 70% do peso de um ser humano é composto de água. Esse conceito consta do dicionário Aurélio da língua portuguesa e refere-se a uma água com qualidade, ou seja, livre de poluentes. Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA (BRASIL, 2007), os poluentes podem ter origem natural ou antropogênica. Em todos os processos biológicos, a água se faz presente como solvente, favorecendo as reações químicas e biológicas que dão sustentação à vida.

A poluição das águas é gerada por efluentes domésticos (poluentes orgânicos biodegradáveis, nutrientes e bactérias); efluentes industriais (poluentes orgânicos e inorgânicos, dependendo da atividade industrial); carga difusa urbana e agrícola (RIBEIRO et al., 2005) e por poluentes advindos da drenagem dessas áreas: fertilizantes, defensivos agrícolas, fezes de animais e material em suspensão.

A eutrofização é um fenômeno que afeta inúmeros lagos, rios e mesmo zonas marinhas costeiras de todo o mundo, altera o equilíbrio do ecossistema e deteriora a qualidade da água, o que limita a sua utilização. A eutrofização pode ser definida como um aumento da quantidade de nutrientes e/ou matéria orgânica num ecossistema aquático, resultando em maior produtividade primária e, geralmente, diminuição do volume total do ecossistema. O aumento de nutrientes disponíveis promove a proliferação de grande magnitude na população de algas verdes e de cianobactérias (algas azuis), que podem ter efeitos nocivos sobre outros organismos.

O uso da água é definido pelos órgãos ambientais conforme o tipo e a classe a que ela pertence. O tipo e a classe são obtidos por meio de parâmetros químicos, físicos e microbiológicos, os quais são abordados neste capítulo. Também são mencionados os problemas de eutrofização e alternativas para o seu controle.

2.2 TIPOS E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS

Os órgãos ambientais competentes referem-se as águas quanto ao seu tipo e classificação. A diferenciação entre águas minerais e potáveis de mesa é realizada pelo Código de Águas Minerais, instituído pelo Decreto-lei nº 7.841, de 1945. As primeiras são aquelas que possuem composição química ou propriedades físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhe confirmam uma ação medicamentosa. As águas potáveis de mesa são aquelas que preenchem as condições de potabilidade.

2.2.1 Tipos de águas

O tipo de água depende da fonte de origem. Quando passa pela porosidade das rochas, a água pode arrastar consigo elementos minerais, gases e outros componentes que geram características químicas e paladares distintos (ROCHA, 1995; BRANCO, 1986) que podem ser caracterizadas em:

a) **doce**: contém muito pouco sal (menos de 0,05%), em comparação com a água salobra (que tem entre 0,05% e 3%), como a dos rios, lagos e lagoas;

b) **mineral**: contém CO_2 , bicarbonato de sódio, gás, iodetos sulfídricos, sulfatos solúveis, sais de ferro, cloretos, brometos, sais neutros de Mg, K e Na;

c) **termal**: apresenta-se com temperatura elevada;

d) **radiativa**: água mineral ou termal com radiatividade natural;

e) **dura** ou **salobre**: contém sais minerais dissolvidos, geralmente carbonato de cálcio (ou uma combinação de cálcio e magnésio, bicarbonatos, sulfatos, cloretos, nitratos de Ca/Mg;¹

f) **pesada**: contém grande proporção de moléculas, como o isótopo de deutério de hidrogênio em vez do hidrogênio comum (escrito como D_2O ou HDO), encontradas em quantidades muito pequenas na água comum;

g) **destilada**: contém somente hidrogênio e oxigênio;

¹ A água dura não espuma bem com sabão, forma depósitos (escama, CaCO_3 ou MgCO) em chaleiras e tanques de água quente e, em casos mais extremos, pode entupir as tubulações, formando depósitos de cálcio nos canos de água. O tratamento com amaciantes de água remove grande parte do cálcio e do magnésio por meio da troca de íons. Comumente, a água dura é misturada com cloreto de sódio (sal de mesa), que "amacia" a água, substituindo grande parte do cálcio durante o processo de troca de íons.

h) **salgada** ou **salina**: contém concentrações significativas de sal (acima de 3% de sais causadores da dureza);

i) **ácida**: contém teor elevado de CO_2 ou ácidos minerais ($\text{pH} < 7,0$) e pode provocar corrosão de metais;

j) **alcalina**: contém teor elevado de bicarbonatos de Ca e Mg, hidróxidos de Ca, K, Mg e Na ($\text{pH} > 7,0$);

l) **poluída**: é a água que sofreu alteração em suas características físicas e químicas por receber substâncias estranha ou organismos que a deixaram turva ou alteraram sua cor, seu odor ou sabor, tornando-a desagradável;

m) **contaminada**: é a que contém substâncias tóxicas ou germes patogênicos, micróbios capazes de produzir doenças (a contaminação pode ser invisível aos nossos olhos ou imperceptível ao paladar, mas faz mal à saúde);

n) **turva**: apresenta substâncias em suspensão, normalmente partículas muito pequenas, como argilas, cujo diâmetro é menor do que 2 micron;

o) **servida**: é a que foi usada pelo homem, ficou suja e foi conduzida para o sistema de esgoto.

Dentre os tipos de águas citados anteriormente, será dado maior ênfase às águas doces, as quais são amplamente utilizadas para o consumo humano. As águas doces são classificadas conforme o seu destino e podem pertencer a cinco classes, descritas a seguir.

2.2.2 Classificação das águas doces

Pelo Artigo 4º da Resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2006), as águas doces são classificadas em cinco classes.

Pertencem à **classe especial** as águas destinadas:

a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;

b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;

c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

À **classe 1** pertencem as águas que podem ser destinadas:

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;

d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;

e) à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.

Na **classe 2** estão as águas que podem ser destinadas:

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;

d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e

e) à aquicultura e à atividade de pesca.

A **classe 3** contém as águas que podem ser destinadas:

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;

b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;

c) à pesca amadora;

d) à recreação de contato secundário;

e) à dessedentação de animais.

Por fim, à **classe 4** pertencem as águas que podem ser destinadas:

a) à navegação;

b) à harmonia paisagística.

2.3 QUALIDADE DA ÁGUA

No que se refere à qualidade da água, a determinação de alguns parâmetros, por meio de processos analíticos em laboratório, permitem avaliar as condições da água quanto à sua utilização para consumo humano, lazer, pesca, agricultura e produção de energia. A tabela 2.1, a seguir, apresenta esses parâmetros, que podem ser físicos, químicos e microbiológicos (TUNDISE, 2003).

A seguir são apresentados, de forma detalhada, os parâmetros que conferem qualidade às águas.

2.3.1 Parâmetros físicos

Os parâmetros físicos da água envolvem cor, condutividade elétrica, sabor e odor, temperatura, turbidez e dissolução de sólidos totais. Cada um desses parâmetros está apresentado a seguir.

Com relação à **cor**, a água pura é virtualmente ausente de cor. Mas a presença de substâncias dissolvidas ou em suspensão altera a cor da água, dependendo da quantidade e da natureza do material presente. Normalmente, a cor na água se deve a ácidos húmicos e taninos, provenientes de vegetais em decomposição.

Tabela 2.1 - Parâmetros de qualidade da água (adaptado de SANTOS et al., 2001 e CONAMA, 2006).

Físico	Químico Orgânico	Químico Inorgânico		Microbiológico
		Não Metálico	Metálico	
Cor	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Acidez	Alumínio	Coliformes Fecais (termotolerantes)
Condutividade	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Alcalinidade	Arsênio	<i>Escherichia coli</i>
Odor	Ácidos Voláteis Orgânicos	Boro	Bário	Enterococos
Sólidos Totais	Carbono Orgânico	Dióxido de Carbono	Berílio	Floração
Salinidade	Halogênio Orgânico	Cloreto	Cádmio	
Sabor	Metano	Cloro Residual	Cálcio	
Temperatura	Óleos e Graxas	Cianeto	Crômio	
Turbidez	Pesticidas Org.	Flúor	Cobre	
		Fenóis	Iodo	Ferro
	Surfactantes	Nitrogênio	Chumbo	
		Tanino e Lignina	Oxigênio Dissolvido	Lítio
		Ozônio	Magnésio	
		pH	Manganês	
		Fósforo	Mercúrio	
		Sílica	Níquel	
		Sulfato	Potássio	
		Sulfeto	Selênio	
	Sulfito	Prata		
		Sódio		
		Zinco		

A **condutividade elétrica** depende da quantidade de sais dissolvidos na água e é aproximadamente proporcional à sua quantidade. Sua determinação permite

obter uma estimativa rápida do conteúdo de sólidos de uma amostra.

As características de **sabor** e **odor** são dadas em conjunto, pois geralmente a sensação de sabor origina-se do odor. São de difícil avaliação, por serem sensações subjetivas. O cheiro de "ovo podre" é causado pela presença de hidrogênio sulfídrico, produzido por bactérias que se encontram em poços profundos e fontes de águas estagnadas por longos períodos. O gosto de ferrugem/metálico provém do excesso de ferro e de outros metais que alteram o sabor e aparência da água. O sabor da água pode apresentar-se metálico, mesmo que visualmente a coloração esteja normal, pois a coloração enferrujada só aparece depois de alguns minutos em contato com o ar.

A **temperatura** tem importância por acelerar as reações químicas, reduzir a solubilidade dos gases e acentuar a sensação de sabor e odor. Geralmente, a elevação da temperatura em um corpo d'água é provocada por despejos industriais.

A **turbidez** é uma característica devida à presença de partículas suspensas na água com tamanho que varia desde suspensões grosseiras aos colóides, dependendo do grau de turbulência. A presença de partículas insolúveis do solo, matéria orgânica, microorganismos e outros materiais diversos provoca a dispersão e a absorção da luz, dando à água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa. A alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e de algas, reduzindo a produção de oxigênio dissolvido.

Os **sólidos totais dissolvidos** são constituídos, principalmente, por carbonatos, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, fosfatos e, possivelmente, nitratos de cálcio,

magnésio, potássio, pequenas quantidades de ferro, manganês e outras substâncias. Eles podem conferir sabor salino à água e propriedades laxativas. O teor de cloretos é um indicador de poluição das águas naturais por esgotos domésticos. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis).

2.3.2 Parâmetros químicos

Os parâmetros de **acidez** e **alcalinidade** têm pouco significado do ponto de vista sanitário. A acidez se deve à presença de gás carbônico livre, enquanto a alcalinidade à presença de bicarbonatos, carbonatos ou hidróxidos.

Dureza é a denominação genérica dada à soma das concentrações dos íons polivalentes presentes na água, tais como: cálcio, magnésio, ferro, bário, estrôncio, etc.. A prática atualmente estabelecida é assumir a dureza total como referência apenas às concentrações de cálcio e magnésio. A água que contém sais de dureza não espuma em presença de uma solução de sabão, pois os sais formam precipitados com os ânions da solução de sabão.

Óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Geralmente são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros. São oriundos de despejos de resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, frigoríficos, estradas e vias públicas. A presença de material graxo nos corpos d'água, além de acarretar problemas de origem estética, diminui a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico, impedindo, dessa maneira, a transferência do oxigênio da atmosfera para a água.

Um dos parâmetros mais importantes para exame da qualidade da água é o **oxigênio dissolvido (OD)**, pois revela a possibilidade de manutenção de vida dos organismos aeróbios, como peixes, por exemplo. A quantidade de gás oxigênio contido na água ou no esgoto, geralmente, expressa em parte por milhão numa temperatura e numa pressão atmosférica específica. A água com conteúdo de oxigênio dissolvido muito baixo, que é geralmente causada por descargas líquidas em excesso ou imprópriamente tratados, não sustenta peixes e organismos similares.

Nitrogênio amoniacal (amônia) é uma substância tóxica não persistente e não cumulativa. Sua concentração, que normalmente é baixa, não causa nenhum dano fisiológico aos seres humanos e animais. Ela é formada no processo de decomposição de matéria orgânica (uréia e amônia). Em locais poluídos, seu teor costuma ser alto. O caminho de decomposição das substâncias orgânicas nitrogenadas é chegar ao nitrato, passando primeiro pelo estágio de amônia; por isso, a presença dessa substância indica uma poluição recente.

O **fosfato**, como o nitrogênio, é muito importante para os seres vivos. Pode provir de adubos, da decomposição de matérias orgânicas, de detergentes, de material particulado presente na atmosfera ou da solubilização de rochas. É o principal responsável pela eutrofização artificial. O fosfato é indispensável para o crescimento de algas, pois faz parte da composição dos compostos celulares. Seu aumento na coluna d'água aumenta a floração de algas e fitoplâncton.

Em níveis razoáveis, o **flúor** apresenta efeitos benéficos na redução de cáries dentárias em crianças. Já o consumo de água com níveis altos de fluoretos pode causar

o que se chama de fluorose dentária, que leva à degradação do esmalte dos dentes.

O **pH (potencial hidrogeniônico)** consiste na medida da concentração relativa dos íons de hidrogênio numa solução. Esse valor indica a acidez ou alcalinidade da solução. É calculado como o logaritmo negativo de base 10 da concentração de íons de hidrogênio em moles por litro. Nos sistemas de abastecimento público de água, o pH está geralmente compreendido entre 6,5 e 9,5. Águas de pH baixo tendem a ser corrosivas, enquanto que águas de pH alto tendem a formar incrustações.

A **matéria orgânica** biodegradável é encontrada mais comumente nas chamadas “águas poluídas”, principalmente contaminadas com descargas oriundas de esgotos ditos “domésticos”. A maioria das substâncias encontradas nos esgotos está na forma de grandes moléculas que não podem penetrar na membrana celular dos microorganismos, o que dificulta a metabolização pelas bactérias. A degradação aeróbia resulta na formação de CO_2 e água. Pela decomposição anaeróbia, os produtos finais são: ácidos orgânicos, álcoois, líquidos intermediários além de CO_2 , CH_4 e H_2S .

Outro parâmetro químico é a **demanda de oxigênio**. A maioria dos compostos orgânicos é instável e pode ser oxidada biológica e quimicamente, resultando em compostos finais mais estáveis, como o CO_2 , NO_3 e H_2 . A matéria orgânica tem, assim, certa necessidade de oxigênio dissolvido, denominada demanda, que pode ser:

a) demanda bioquímica de oxigênio (DBO): é a medida da quantidade de oxigênio necessária ao metabolismo das bactérias aeróbicas que destroem a matéria orgânica;

b) demanda química de oxigênio (DQO): permite a avaliação da carga de poluição por esgotos domésticos

e industriais em termos de quantidade de oxigênio necessária para a sua oxidação total em dióxido de carbono (CO_2) e água. Um valor de DQO alto indica uma grande concentração de matéria orgânica e baixo teor de oxigênio. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água se deve, principalmente, a despejos de origem industrial.

Substâncias químicas orgânicas podem incluir os fenóis e detergentes. Estes são causadores de espuma e de difícil biodegradabilidade. O fenol, além de tóxico, pode combinar com o cloro residual do tratamento da água, causando gosto e odor desagradáveis. Os pesticidas são, de um modo geral, substâncias orgânicas sintéticas, extremamente tóxicas, usadas para destruir, repelir ou controlar insetos e ervas daninhas indesejáveis à economia agrícola. De acordo com sua atividade biológica, podem ser classificados em inseticidas, algicidas, fungicidas e herbicidas. Os mais comuns são o aldrin, endrin, toxafen, malathion, parathion, entre outros.

Os **metais tóxicos** principais são o arsênio, o cádmio, o chumbo, o crômio e o mercúrio. O arsênio é muito solúvel em água, podendo ocorrer naturalmente, principalmente em rochas fosfáticas. Esse metal pode fazer parte da composição de alguns inseticidas, carrapaticidas, herbicidas, além do processamento de minerais, da fabricação de tintas, de produtos químicos, vidro, corantes e resíduos de curtume. O cádmio se apresenta em águas naturais devido às descargas de efluentes industriais, principalmente de galvanoplastia, soldas, lubrificantes, pilhas. Concentra-se nos rins, fígado, pâncreas e na tireóide. O chumbo está presente no ar, no tabaco, nas bebidas e nos alimentos (por contaminação e na embalagem). Está presente na água devido às descargas de efluentes industriais, bateria, tintas. Constitui

um veneno cumulativo, provocando um envenenamento crônico denominado saturnismo, que consiste em efeito sobre o sistema nervoso central. O cromo, em água doce, está presente em concentrações muito baixas. Na forma trivalente (Cr III), é essencial ao metabolismo humano, e sua carência causa doenças. Na forma hexavalente (Cr VI), é tóxico e cancerígeno. O mercúrio é largamente utilizado na extração de ouro (amalgamação), trazendo problemas de saúde ao garimpeiro e ao meio ambiente – poluição dos rios. É altamente tóxico, apresenta efeito cumulativo e provoca lesões cerebrais. A contaminação do homem, geralmente, dá-se pelo consumo de peixe contaminado.

2.3.3 Parâmetros microbiológicos

Coliformes fecais (termotolerantes) são bactérias pertencentes ao grupo dos coliformes totais caracterizadas pela presença da enzima β -galactosidase e pela capacidade de fermentar a lactose, com produção de gás em 24 horas, à temperatura de 44-45°C, em meios contendo sais biliares ou outros agentes tensoativos com propriedades inibidoras semelhantes. Além de presentes em fezes humanas e de animais, podem, também, ser encontradas em solos, plantas ou quaisquer efluentes contendo matéria orgânica.

Escherichia coli é uma bactéria pertencente à família *Enterobacteriaceae*, caracterizada pela presença das enzimas β -galactosidase e β -glicuronidase. Cresce em meio complexo a 44-45°C, fermenta lactose e manitol com produção de ácido e gás e produz indol a partir do aminoácido triptofano. A *Escherichia coli* é abundante em fezes humanas e de animais. Tem sido encontrada em esgotos, efluentes, águas naturais e solos que tenham recebido contaminação fecal recente.

Enterococos são bactérias do grupo dos estreptococos fecais, pertencentes ao gênero *Enterococcus* (previamente considerado estreptococos do grupo D), o qual se caracteriza pela alta tolerância às condições adversas de crescimento, tais como: capacidade de crescer na presença de 6,5% de cloreto de sódio, a pH 9,6 e nas temperaturas de 10° e 45°C. A maioria das espécies dos *Enterococcus* é de origem fecal humana, embora possa ser isolada em fezes de animais.

Floração consiste na proliferação excessiva de microorganismos aquáticos, principalmente algas, com predominância de uma espécie, decorrente do aparecimento de condições ambientais favoráveis, podendo causar mudança na coloração da água e/ou formação de uma camada espessa na superfície.

2.4 EUTROFIZAÇÃO

O principal fator de estímulo a eutrofização é a concentração excessiva de nutrientes no recurso hídrico, principalmente fósforo e/ou nitrogênio. As consequências da eutrofização podem ser divididas em problemas estéticos, condições anaeróbicas no fundo ou em toda lâmina da água, mortandade de peixes, toxicidade por amônia, dificuldade e elevação nos custos de tratamento da água, toxicidade das algas, redução na navegação e desaparecimento gradual do lago como um todo (SPERLING, 1996). Os problemas estéticos e recreacionais envolvem a diminuição do uso da água para recreação e balneabilidade, bem como redução geral na atração turística devido ao crescimento excessivo da vegetação, distúrbios com mosquitos e insetos, maus odores e morte de peixes.

O aumento da produtividade do corpo hídrico causa elevação da concentração de bactérias decompositoras heterotróficas, que decompõem a matéria orgânica, as algas e outros microrganismos mortos, consumindo o oxigênio dissolvido do meio líquido. No fundo do corpo hídrico, devido à sedimentação da matéria orgânica, à pouca penetração do oxigênio a essas profundidades e à reduzida fotossíntese pela ausência de luz, predomina a ausência de oxigênio – condições anaeróbias. Com a anaerobiose, predominam condições redutoras e assim, compostos como ferro e manganês encontram-se na forma solúvel, proporcionando problemas ao abastecimento de água. O fosfato encontra-se também na forma solúvel, representando uma fonte interna de fósforo para as algas. O gás sulfídrico causa problemas de toxicidade e maus odores. Dependendo do grau de crescimento bacteriano, podem ocorrer, em períodos de mistura total da massa líquida (inversão térmica) ou de ausência de fotossíntese (período noturno), condições anaeróbias em todo o corpo hídrico, ocasionando mortandade de peixes e reintrodução dos compostos reduzidos em toda a massa líquida, com grande deterioração da qualidade da água.

Em condições de pH elevado (frequentes durante os períodos de elevada fotossíntese), a amônia apresenta-se, em grande parte, na forma livre (NH_3), tóxica aos peixes. Poderá ocorrer a formação de compostos tóxicos pela presença de secreções tóxicas de certas algas. A presença excessiva de algas afeta, também, o tratamento da água captada no lago ou na represa, devido à necessidade de remoção da própria alga, da cor, do sabor e odor. Como consequência, tem-se maior consumo de produtos químicos e lavagens mais freqüentes dos filtros.

Em decorrência da eutrofização e do assoreamento, ocorre acúmulo de matérias e de vegetação. Com isso, o lago se torna cada vez mais raso, podendo até mesmo desaparecer. O crescimento excessivo de macrófitas enraizadas interfere também na navegação e capacidade de transporte do corpo hídrico. Essa tendência de desaparecimento de lagos (conversão a brejos ou áreas pantanosas) é irreversível, porém extremamente lenta. Com a interferência do homem, o processo pode se acelerado.

2.4.1 Graus de Trofia

Os graus de trofia se referem à capacidade produtiva de um lago. Quando essa capacidade for alta, poderão ocorrer problemas no corpo hídrico. Para poder caracterizar o estágio de eutrofização em que se encontra um corpo d'água, possibilitando a tomada de medidas preventivas e/ou corretivas, é interessante a adoção de um sistema classificatório.

Usualmente, ocorrem os seguintes níveis de trofia: (a) oligotrófico, que se refere a lagos claros e com baixa produtividade; (b) mesotrófico, que são lagos com produtividade intermediária, e (c) eutrófico, que envolve lagos com elevada produtividade, comparado ao nível natural.

A quantificação do nível trófico é, no entanto, mais difícil, especialmente para lagos tropicais. Deve-se ter em mente que corpos hídricos tropicais apresentam maior capacidade de assimilação de fósforo que os de climas temperados. Uma interpretação em termos da concentração de fósforo total pode ser como a apresentada na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Faixas aproximadas de valores de fósforo total para os principais graus de trofia.

Classe de trofia	Concentração de fósforo total na represa (mg/m³)
Ultraoligotrófico	< 5
Oligotrófico	< 10 - 20
Mesotrófico	10 - 50
Eutrófico	25 - 100
Hipereutrófico	> 100

Nota: a superposição dos valores entre duas faixas indica a dificuldade no estabelecimento de faixas rígidas. Fonte: Sperling (1996).

O estabelecimento da classe de trofia com base apenas no fósforo dá-se por uma questão de conveniência na modelagem matemática. Da mesma forma que, para poluição das águas, são escolhidas variáveis representativas, como oxigênio dissolvido, representando poluição por matéria orgânica e coliformes fecais – o que configura contaminação por agentes patogênicos. Nesse caso, adota-se o fósforo como representativo do grau de trofia.

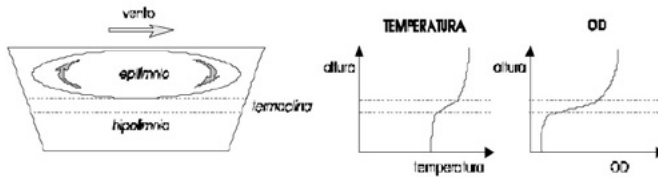
2.4.2 Dinâmica de lagos e reservatórios

O perfil vertical de temperatura em lagos e reservatórios varia com as estações do ano. A variação de temperatura afeta a densidade da água e, em decorrência disso, a capacidade de mistura da água no perfil do corpo hídrico, ocasionando a estratificação do corpo d'água. Durante o verão e os meses mais quentes do ano, a temperatura da camada superficial é mais elevada que a temperatura do fundo. Desse modo, a água próxima da superfície torna-se menos densa que a água próxima do fundo, proporcionando a formação de três camadas distintas no corpo hídrico (SPERLING, 1996): (a)

epilímnio, que é a camada superior, mais quente, menos densa, com maior movimentação; (b) termoclina, camada de transição, e (c) hipolímnio, que é a camada inferior, mais fria, mais densa, de maior estagnação.

A diferença de densidades pode causar uma completa estratificação no corpo d'água, com as três camadas não se misturando entre si (Figura 2.1). Essa estratificação tem uma grande influência na qualidade da água. Dependendo do grau de trofia do corpo d'água, poderá haver uma ausência completa de oxigênio dissolvido no hipolímnio. Em decorrência disso, nessa camada, tem-se a predominância de compostos reduzidos de ferro, manganês e outros.

Lago com estratificação térmica Meses quentes



Lago com mistura-inversão térmica Período frio

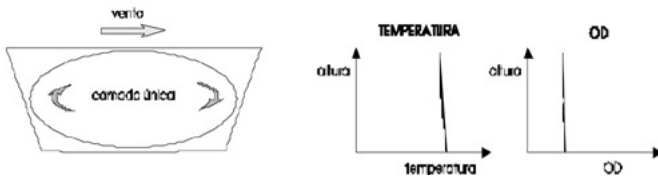


Figura 2.1 - Perfis de um lago em condições de estratificação e de inversão térmica (SPERLING, 1996).

Em períodos de frio, há um resfriamento da camada superficial do lago, causando certa homogeneização na temperatura ao longo de toda a profundidade. A

homogeneização da temperatura proporciona semelhança entre as densidades nas diferentes camadas. A camada superior, subitamente resfriada, tende a ir para o fundo do lago, assim desloca a camada inferior e causa um completo revolvimento do lago. A esse fenômeno dá-se o nome de inversão térmica (Figura 1). A reintrodução de compostos reduzidos do hipolímnio no perfil de todo o lago pode contribuir para deterioração na qualidade da água. Compostos reduzidos diminuem a concentração de oxigênio dissolvido da água. Com a ressuspensão da camada anaeróbia do fundo, poderá ocorrer mortandade de peixes (SPERLING, 1996).

Nutriente Limitante

Nutriente limitante é aquele que, por ser essencial para uma determinada população, limita seu crescimento. Em baixas concentrações do nutriente limitante, o crescimento microbiano é baixo. Com a elevação da concentração do nutriente limitante, o crescimento é aumentado (MADIGAN et al., 2002). Essa situação persiste até que a concentração desse nutriente passe a ser tão elevada no meio hídrico, que outro nutriente torna o fator limitante, por não se apresentar em concentrações suficientes para suprir as necessidades da grande população.

Para se estimar o nutriente limitante, sugere-se o critério com base na relação entre as concentrações de nitrogênio e fósforo (N/P) (SPERLING, 1996) em grandes lagos, predominância de fontes não pontuais: $N/P > 10$: limitação por fósforo; e em pequenos lagos, predominância de fontes pontuais: $N/P < 10$: limitação por nitrogênio.

A maioria dos lagos tropicais da América Latina apresenta crescimento em sua população limitada por fósforo, pois, mesmo controlando o aporte externo de nitrogênio, há algas com capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico e, desse modo, não há redução na sua concentração. Por essas razões, prioriza-se o controle das fontes de fósforo quando se pretende reduzir a eutrofização em um corpo d'água.

Estimativa da Carga de Fósforo Afluente a um Lago ou Represa

A drenagem pluvial de áreas com ampla cobertura vegetal, como matas e florestas, transporta a menor quantidade de fósforo. Nessas áreas, o fósforo não está em excesso no meio, pois esses ecossistemas se encontram próximos do equilíbrio, não havendo excesso ou falta dos principais elementos. A drenagem de áreas agrícolas apresenta valores mais elevados de fósforo e, também, uma ampla variabilidade, dependendo da capacidade de retenção do solo, irrigação, tipo de fertilização. A drenagem urbana apresenta valores mais elevados e com menor variabilidade.

Contudo, os esgotos domésticos veiculados por sistemas de esgotamento dinâmico são considerados a maior fonte de contribuição de fósforo (Tabela 2.3). O fósforo está presente nas fezes humanas, nos detergentes para limpeza doméstica e em outros subprodutos das atividades humanas. Com relação aos esgotos industriais, é difícil a generalização da sua contribuição, em decorrência da grande variabilidade apresentada entre distintas tipologias industriais e mesmo de indústria para indústria em uma mesma tipologia.

Tabela 2.3 - Contribuições unitárias de fósforo típicas.

Fonte	Tipo	Valores típicos	Unidade
Drenagem	Áreas de matas e florestas	10	kgP km ⁻² (ano)
	Áreas agrícolas	50	kgP km ⁻² (ano)
	Áreas urbanas	100	kgP km ⁻² (ano)
Esgotos	Domésticos	1,0	kgP hab ⁻¹ (ano)

Fonte: Sperling (2002).

2.4.3 Controle da eutrofização

As estratégias de controle da eutrofização usualmente adotadas podem ser classificadas em duas categorias, as medidas preventivas, que se referem à atuação na bacia hidrográfica e redução das fontes externas; e as medidas corretivas, que se referem à atuação no lago ou na represa por meio de processos mecânicos, processos químicos e/ou processos biológicos (SPERLING, 1996).

As medidas preventivas compreendem a redução do aporte de fósforo por meio da atuação nas fontes externas. Podem incluir estratégias relacionadas aos esgotos ou à drenagem pluvial. No que se refere ao controle dos esgotos, recomenda-se o tratamento desses em nível terciário com remoção de nutrientes, tratamento convencional dos esgotos com lançamento à jusante da represa ou exportação dos esgotos para outra bacia hidrográfica. Para o controle da drenagem pluvial, recomendam-se o controle do uso e a ocupação do solo na bacia, faixa verde ao longo da represa e dos tributários e a construção de barragens de contenção.

O tratamento dos esgotos para remoção de fósforo poderá ser efetuado por meio de processos biológicos e/ou físico-químicos. A remoção avançada de fósforo no trata-

mento de esgotos por meio de processos biológicos baseia-se na alternância entre condições aeróbias e anaeróbias. Essa situação contribui para que um determinado grupo de bactérias assimile uma quantidade de fósforo superior à requerida para os processos metabólicos usuais. O fósforo absorvido pelas bactérias será retirado do sistema, quando as bactérias forem removidas. Com a remoção biológica, podem-se alcançar concentrações de fósforo em torno de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ no efluente.

A remoção de fósforo por processos físico-químicos baseia-se na precipitação do fósforo, após adição de sulfato de alumínio, cloreto férrico ou cal. O consumo de produtos químicos e a geração de lodo são elevados. O tratamento físico-químico após a remoção biológica de fósforo pode gerar efluentes com concentrações de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de fósforo.

As medidas corretiva que podem ser adotadas incluem os processos mecânicos como a aeração da água, desestratificação, aeração do hipolímnio, remoção dos sedimentos, retirada de águas profundas, remoção de algas e remoção de macrófitas; processos químicos, que envolvem precipitação de nutrientes, uso de algicidas, oxidação do sedimento com nitratos ou neutralização; processos biológicos, que podem ser biomanipulação, uso de cianófagos e uso de peixes herbívoros.

2.4.4 Ações bacteriológicas

As ações bacteriológicas para a redução da eutrofização em rios e lagos objetivam, principalmente, a redução na carga orgânica. Podem ser de duas magnitudes: uma está relacionada às medidas preventivas e outra relacionada às medidas corretivas. Nas medidas preventivas, incluem-se os sistemas de tratamento de fluentes, que podem ser pela

decomposição aeróbica ou anaeróbica através da fermentação metanogênica. As medidas corretivas objetivam a degradação rápida dos compostos orgânicos presentes. Nesse sentido, opta-se pelo processo de decomposição aeróbico, pois este é relativamente mais eficiente na redução da carga orgânica presente no meio líquido, que o processo anaeróbico. Para aumentar o teor de oxigênio dissolvido, criando um ambiente aeróbico, recomenda-se a utilização de aeradores mecânicos. Esse aumento no teor de oxigênio dissolvido contribui também para evitar possíveis mortes de peixes.

O **processo anaeróbio** baseia-se na utilização de microrganismos para a degradação de matéria orgânica na ausência de oxigênio livre (TORTORA, 2000). Os principais microrganismos empregados nesse processo são as bactérias. Durante a degradação da matéria orgânica, ocorrem reações que reduzem as dimensões das partículas, tornando-as solúveis ou, em nível molecular, as cadeias de carbono são quebradas. Os produtos finais do processo anaeróbio são metano e compostos inorgânicos como a amônia.

Para que haja degradação satisfatória da matéria orgânica, as condições necessárias aos microrganismos do processo anaeróbio devem ser otimizadas em um sistema anaeróbio de tratamento de efluentes líquidos.

A degradação anaeróbia da matéria orgânica é um processo microbiológico que consiste em diversas reações interdependentes e consecutivas. A degradação anaeróbia completa da matéria orgânica o metano e dióxido de carbono requer o envolvimento coordenado de três grupos (MADIGAN et al., 2002): (a) organismos hidrolítico-fermentativos, que hidrolisam e convertem matérias orgânicas complexas, como polícarboidratos, proteínas, lipídeos, a compostos orgânicos simples (formiato, acetato, propio-

nato, butirato e outros ácidos graxos, etanol) hidrogênio e dióxido de carbono; (b) organismos acetogênicos, que, em combinação com o hidrogênio, convertem os produtos metabolizados pelo primeiro grupo em acetato e hidrogênio (ou formiato); e (c) bactérias metanogênicas, que convertem acetato, hidrogênio e dióxido de carbono em metano.

A procura por fontes alternativas de energia foi o fator que incentivou o desenvolvimento do processo anaeróbio, pois, devido à geração do gás metano, poder-se-ia utilizá-lo para geração de energia. O processo anaeróbico é aplicado principalmente nas estações de tratamento de efluentes. Os sistemas de tratamento de efluentes podem prever uma etapa anaeróbica e, assim, pode-se escolher qual o equipamento mais adequado ao projeto de tratamento. Os primeiros reatores anaeróbios foram os tanques Imhoff e digestores de mistura completa. Com a evolução do mecanismo de retenção da biomassa, foi possível a obtenção de reatores para altas cargas orgânicas, com tempos de detenção mais curtos. Nesses reatores, o lodo é retido como agregado de bactérias (reator anaeróbio de manta de lodo), ou como agregador e em biofilme (típico em filtros anaeróbios).

A **decomposição aeróbica**, por sua vez, caracteriza-se por ser mais energética aos microrganismos. Todo resíduo orgânico poderá ser decomposto e convertido a gás carbônico, que retornará novamente para a atmosfera (SPERLING, 2002). Desse modo, as taxas de crescimento dos microrganismos e, conseqüentemente, de decomposição dos resíduos presentes em um meio líquido são mais altas. O oxigênio gerado na forma gasosa pode ser utilizado de forma efetiva nos processos de tratamento biológicos aeróbicos, visando a manter níveis adequados de oxigênio dissolvido, mesmo durante picos de DBO, DQO e amônia.

Para a promoção da decomposição aeróbica, os efluentes são submetidos a unidades de tratamento. Essas unidades podem ser do tipo filtro aeróbico e lodo ativado. Podem ainda ser utilizados como processo microbiológico de tratamento de efluentes de diferentes tipos de lagoas de estabilização, como lagoas aeróbicas e lagoas facultativas. Essas lagoas reduzem a carga orgânica, os teores de fósforo e nitrogênio no meio líquido.

O processo anaeróbio é comparado ao aeróbio, pois também pode ser aplicado a efluentes líquidos com matéria orgânica biodegradável. As principais vantagens e limitações do sistema anaeróbio estão descritas na tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Vantagens e limitações do processo anaeróbio para tratamento de efluentes.

Vantagens	Limitações
1) Baixa produção de sólidos biológicos residuais;	1) Processo sensível a compostos específicos, como: triclorometano, clorofórmio e cianeto;
2) Lodo residual, um produto estabilizado;	2) Longos períodos de tempo são requeridos para a partida do processo, devido à baixa taxa de crescimento das bactérias anaeróbias;
3) Baixo requerimento de nutrientes;	3) Requer um pós-tratamento antes que o efluente seja lançado aos cursos d'água;
4) Não requer energia para aeração;	4) Pouca experiência prática.
5) Produção de metano, produto utilizável;	
6) Altas cargas orgânicas;	
7) Ativação do lodo por meses.	

Fonte: Madigan et al. (2002), Sperling (1996) e Tortora (2000).

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contaminação das águas naturais representa um dos principais riscos à saúde pública, sendo amplamente conhecida a estreita relação entre a qualidade de água e

inúmeras enfermidades que acometem as populações, especialmente aquelas não atendidas por serviços de saneamento. A Organização das Nações Unidas (ONU) reconhece o acesso à água de qualidade como um direito humano básico e prevê que, utilizando os padrões atuais de consumo, em 2050 mais de 45% da população mundial não poderá contar com a porção mínima individual de água para as necessidades básicas. Com isso, cabe à humanidade estar atenta à problemática da escassez de água e mudar seus hábitos de consumo.

A eutrofização da água está cada vez mais evidente em nossa sociedade, intensificando-se com as atividades antrópicas. Necessita-se, portanto, de alternativas para resolução desse problema, e também, que a sociedade conheça os mecanismos necessários para evitar sua ocorrência. Assim, este capítulo faz uma referência aos problemas de eutrofização de rios, lagos e suas possíveis soluções.

REFERÊNCIAS

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. São Paulo: CETESB/ASCETESB 1986.

BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. Disponível em: <www.ana.gov.br>. Acesso em: dez. 2007.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília/DF, 2006.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. **Brock biology of microorganisms**. 9th ed. New York. Prentice Hall, 2002.

ROCHA, A. A. **Ciências do ambiente, saneamento, saúde pública**. São Paulo: Departamento de Saúde Ambiental. Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo, 1995.

RIBEIRO, T. et al. Variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água em um sistema de irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 295-301, 2005.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: LATEC, 2001.

TUNDISE, J. G. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. São Carlos, SP: Rima, 2003.

SPERLING, M. V. **Princípio do tratamento biológico de águas residuais**: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2 ed., v. 3. Belo Horizonte: Depto de Eng. Sanitária e Ambiental, UFMG; Editora FCO, 1996.

_____. **Princípio do tratamento biológico de águas residuais**: lagoas de estabilização. 2 ed., v. 3. Belo Horizonte: Depto de Eng. Sanitária e Ambiental; UFMG; Editora FCO, 2002.

TORTORA, G. J. **Microbiologia**. 6. ed., Porto Alegre: Art-med, 2000.

Capítulo III

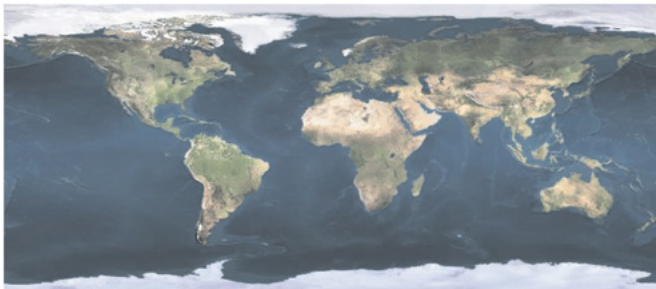
BACIA HIDROGRÁFICA: ASPECTOS CONCEITUAIS E PRÁTICOS

Rafael Cabral Cruz
Ildomar Schneider Tavares

3.1 INTRODUÇÃO

A vida surgiu na água. A maior parte da massa corporal do ser humano é água. No entanto, a distribuição da água no planeta não é igual (Figura 3.1). Além da distribuição desigual da água nas terras emersas, nem toda a água está disponível para a vida. Água doce e limpa é um recurso natural cada vez mais escasso, em função do crescimento do consumo para abastecimento das populações, uso industrial e, principalmente, na nossa região, para uso na irrigação das lavouras e para diluição de poluentes (por exemplo, os esgotos domésticos).

Figura 3.1 - Imagem de satélite do Planeta Terra (fonte: Agência Espacial Norte-americana).



De acordo com a figura 3.1, observa-se a grande quantidade de água presente no Oceano e nas geleiras nas regiões polares, bem como a desigual distribuição de áreas mais escuras (úmidas) e mais claras (secas).

Essa água chega até nós por meio do ciclo hidrológico (Figura 3.2). Normalmente, para atender às demandas da sociedade, são utilizadas as águas de rios e lagos. Os estoques disponíveis de água dependem do balanço entre entradas e saídas para os rios e lagos. Entre as entradas, está a água das precipitações e dos escoamentos superficiais e subterrâneos. Entre as saídas, estão a própria vazão dos rios, a evaporação e a infiltração profunda para os aquíferos. Quando as entradas são maiores que as saídas, o estoque cresce, ou seja, o rio ou lago sobe; quando as entradas são menores que as saídas, o estoque diminui, resultando no rebaixamento do nível dos rios e lagos. Como as entradas são variáveis (as chuvas não são constantes nem previsíveis), assim como vários tipos de saídas (a evaporação depende de temperatura e vento, os quais são muito variáveis), os estoques acabam, apresentando um comportamento de sobe e desce que, quando representado graficamente ao longo do tempo, apresenta uma aparência irregular. Esse gráfico é o hidrograma (Figura 3.3).

Ao olhar com atenção as figuras 3.2, 3.3 e 3.4, pode-se observar que as águas tornam-se disponíveis para os rios e lagos pela concentração espacial das águas precipitadas. No Rio Grande do Sul, o regime de abastecimento de nossos rios e lagos é dependente das chuvas. A figura 3.5 apresenta a distribuição das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul.



Figura 3.2 - O ciclo das águas (Fonte: USGS. Water Science for Schools web site).

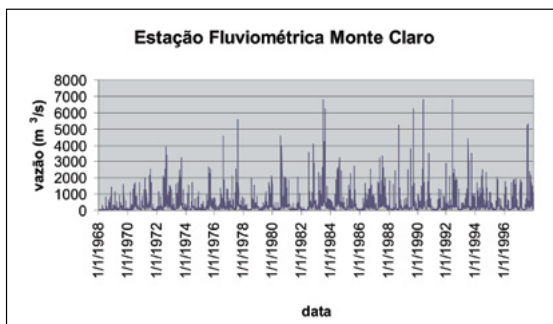


Figura 3.3 - Hidrograma da estação fluviométrica Monte Claro, Rio das Antas, RS.

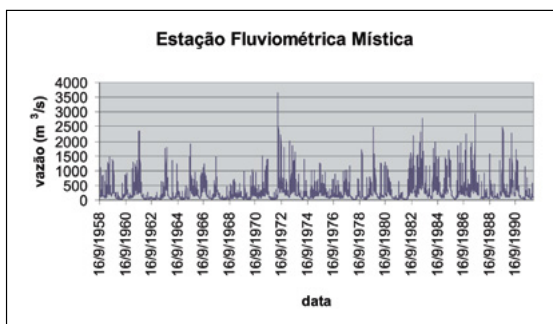


Figura 3.4 - Hidrograma da estação fluviométrica Mística, Rio Ijuí, RS.



Figura 3.5 - Divisão do Estado do Rio Grande do Sul em Bacias Hidrográficas e chuvas médias anuais (CPRM, 2005).

Como se pode observar, as chuvas médias variam de 1.200 a 2.000 mm ano^{-1} . Ou seja, se toda a água da chuva fosse armazenada, e não se perdesse de nenhuma maneira, em tanques com um fundo de 1 m^2 ($1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$), a altura do tanque necessário para conter esta água seria entre 1,2 e 2,0 m de altura, equivalendo a um volume de 1,2 a 2,0 m^3 , ou 1.200 a 2.000 litros. Para a bacia do Uruguai, a média de longo período é de 1.785 mm (Figura 3.6).

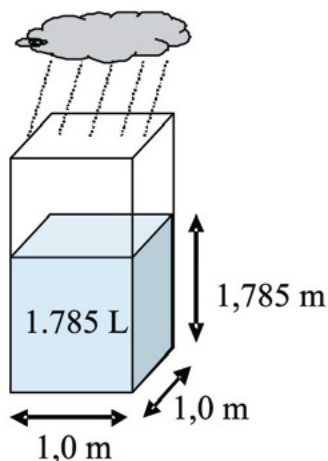


Figura 3.6 - Representação do volume anual de chuva, considerando a média da Bacia do Rio Uruguai.

Adotando-se um consumo médio de água de 246 m³/ano.habitante, média do Brasil (BRAGA et al., 2002; AMBIENTE BRASIL, 2006), seriam necessários, aproximadamente, 137,82 m² [(246 m³ água/ano.habitante)/1,785 m³ água. m² superfície] de área de captação para se garantirem as necessidades de cada ser humano. Se cada km² possui 1.000.000 de m², pode-se dizer que a chuva média, caso fosse 100% utilizada, permitiria manter uma densidade populacional de 7.255,84 habitantes por km² (1.000.000/137,82). Como a densidade populacional do Estado do Rio Grande do Sul é 38,49 habitantes/km² (IBGE, 2006), poder-se-ia falar de uma grande abundância de água. Ou seja, o consumo de água pela sociedade, para todos os fins (abastecimento público, irrigação e indústria), seria muito menor que a disponibilidade (Figura 3.7).

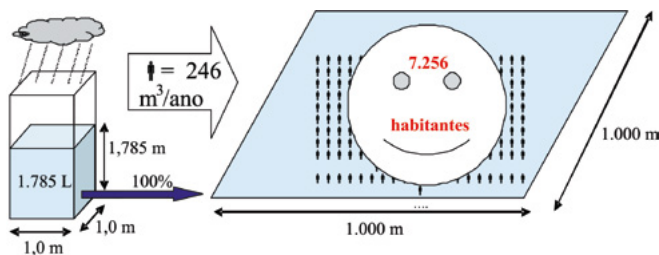


Figura 3.7 - Representação gráfica da relação entre a densidade demográfica do Rio Grande do Sul e a disponibilidade média anual de água, considerando-se **todos os usos consuntivos** (que não retornam água ao corpo receptor) e **100% de uso da água da chuva**.

No entanto, de acordo com Braga et al. (2002), somente 22% da demanda é destinada ao abastecimento público, ou 54,12 m³/ano.habitante (246 m³ água/ano.habitante x 0,22). Considerando-se o cenário do rio Uruguai (média anual de 1.785 mm de chuva), seriam necessários 30,32 m² para sustentar cada ser humano ou uma densidade demográfica de 32.981,53 habitantes km⁻² (cerca de 857 vezes a densidade populacional atual do Estado).

A situação, no entanto, não é tão tranquila quanto parece, pois a água evapora, infiltra no solo, é absorvida pela vegetação, escoar. O estoque disponível é inconstante. Somente uma parcela é transformada em escoamento e se traduz em estoques nos nossos rios e lagos. Quando se considera o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica, pode-se considerar (SILVEIRA, 2002) a equação 3.1:

$$P = Q + ET + \Delta S, \quad [3.1]$$

sendo:

P = precipitação;
 Q = vazão no corpo de água;
 ET = evapotranspiração;
 ΔS = armazenamento no solo.

Quando o período é de um ou mais anos, pode-se considerar $\Delta S = 0$, ficando a equação simplificada:

$$P = Q + ET, \quad [3.2]$$

A relação entre vazão e precipitação Q/P é conhecida como coeficiente de drenagem (C), expressando a proporção da água da chuva que é transformada em escoamento na bacia hidrográfica. A figura 3.8 apresenta o balanço hídrico simplificado para as regiões hidrográficas do Brasil (ANA, 2005).

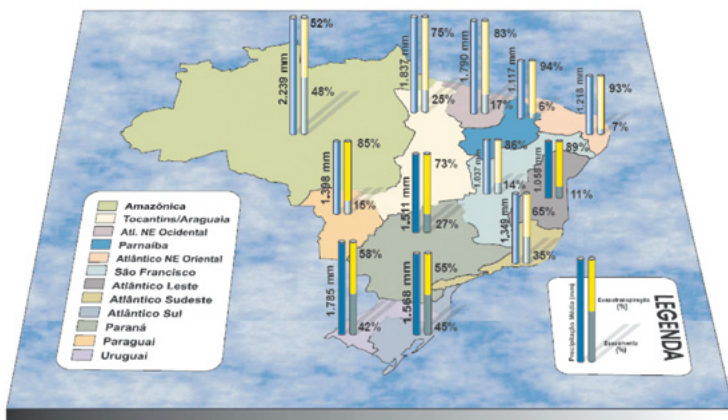


Figura 3.8 - Balanço hídrico simplificado das regiões hidrográficas (ANA, 2005).

Na bacia hidrográfica do rio Uruguai, o coeficiente C médio é igual a 0,42, ou seja, 42% do volume das chuvas resulta em escoamento superficial. Se aplicarmos esse valor como um redutor do volume de água disponível estocado nos rios e lagos, chegaremos a uma disponibilidade de 504 a 840 mm, equivalente a 0,50 a 0,84 m³ para cada m² de área territorial no Rio Grande do Sul. Para a bacia do Uruguai, a média seria de 749,7 mm, ou 0,75 m³ para cada m² de área territorial. Assim, a necessidade de área para atender a cada ser humano seria (pelo mínimo) de 328 m². Esse valor sustentaria uma densidade populacional de 26.315 habitantes/km². No entanto, se toda a água que corre nos rios fosse 100% utilizada, seriam destruídos os ecossistemas ribeirinhos, os estuários, a produtividade pesqueira, a produção de areia em leito de rio, a navegação e a geração de energia hidrelétrica. Considerando-se que esses serviços prestados pelas águas são necessários para a sustentabilidade das condições de manutenção da vida e da cultura, haverá mais redutores na disponibilidade de água. Pode-se, como um exercício, aceitar que 90% da água deve permanecer no rio ou lago para cumprir essas funções. Então, restarão de 50 a 84 L m⁻²; para a bacia do rio Uruguai, 75 L m⁻². Com essa disponibilidade, serão necessários 3.280 m² para manter um ser humano (246 m³/habitante.ano), o que permitiria manter uma densidade demográfica de 305 habitantes km⁻², ou seja, cerca de 7,9 vezes maior que a atual densidade demográfica do Estado (Figura 3.9).

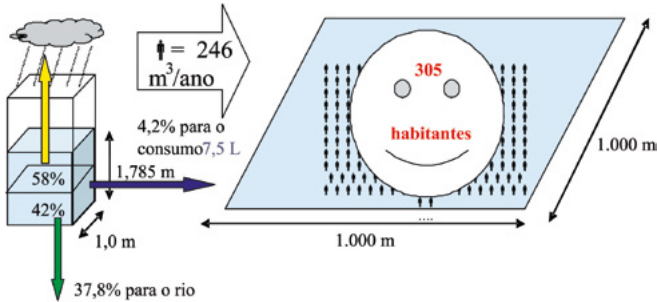


Figura 3.9: Representação gráfica da relação entre a densidade demográfica potencial da bacia do Rio Uruguai e a disponibilidade média anual de água, considerando-se o abastecimento público e 10% de uso da água da chuva escorrida.

Esse quadro não impede a ocorrência de conflitos pelo uso da água no Rio Grande do Sul. Como pode ser visualizado nas figuras 3.3 e 3.4, as vazões que passam nas duas estações fluviométricas apresentam uma parcela muito maior do tempo com vazões baixas do que com vazões altas. Ou seja, se fossem atribuídos números para cada dia e, após, fosse sorteado um número, existiria uma grande chance de esse número representar um dia de vazão pequena, porque existe um número muito maior de dias com vazões baixas do que dias com vazões altas. Quando esses dias são ordenados de acordo com uma ordem decrescente de vazões (da maior vazão para a menor) e contam-se quantos dias a vazão está igual ou acima de um valor, pode-se identificar, por exemplo, qual a vazão que é igualada ou excedida em 95% do tempo. Essa vazão é chamada de Q_{95} e expressa uma quantia de água que tem o risco de não ser ofertada em 5% do tempo. Por exemplo, a vazão média de longo período da bacia do Uruguai é de $4.121 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Já a Q_{95} é de $391 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (ANA, 2005). Cotejando-se o consumo estimado para a bacia do

Uruguai ($109 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) com a vazão média, chega-se à conclusão de que se consomem somente 2,64% da disponibilidade de água. Quando o cotejo é realizado com a Q_{95} , chega-se a um percentual de 27,88% da disponibilidade, que é um valor alto (restariam 72% das águas frequentes ou de estiagem para todos os outros serviços prestados pelos rios). É por isso que a ANA (2005) classifica partes da bacia do rio Uruguai como críticas a muito críticas em relação ao balanço entre demanda e disponibilidade (Tabela 3.1).

Quadro 3.1 - Criticidade do balanço entre demanda e disponibilidade de alguns rios da bacia do Uruguai (ANA, 2005).

Rio	Criticidade (% da disponibilidade - Q_{95})
Rio do Peixe	Preocupante (10-20%)
Rio Piratinim	Preocupante (10-20%)
Rio Icamaquã	Muito crítica (> 40%)
Rio Ibicuí	Muito crítica (> 40%)
Rio Santa Maria	Muito crítica (> 40%)
Rio Quaraí	Muito crítica (> 40%)
Rio Uruguai entre Uruguaiana e Barra do Quaraí	Crítica (20-40%)
Rio Uruguai - média	Crítica (27,88%)

Cada bacia em particular tem um balanço específico entre disponibilidades e demandas. A gestão dessas bacias depende de um conhecimento efetivo dos consumos dos diversos usuários, uma vez que os cálculos médios escondem não só as disparidades regionais, como também a distribuição das chuvas ao longo do ano e da evapotranspiração, que consome mais água no verão do que no inverno. Os cálculos também não levam em conta a quantidade de água que se torna indisponível para uso humano devido

à degradação da qualidade (poluição). Desse modo, para que seja possível atender à demanda por água de toda a população, deve superar uma série de problemas: poluição das águas, concentração espacial de usos, aumento da demanda durante períodos do ano de menor disponibilidade (irrigação do arroz, por exemplo) e combate ao desperdício.

Pode-se dizer que o problema da falta de água no Rio Grande do Sul é um problema de Gestão das Águas. Os conflitos têm solução potencial porque a água existe. Também existe grande margem para reduzir o consumo (lutar contra o desperdício e melhorar a tecnologia), bem como, aumentar o armazenamento de água no solo e em obras hidráulicas. Entretanto, não existem, muitas vezes, disciplinamento do uso, em especial, durante os períodos de escassez, obras de armazenamento para atender às demandas durante os períodos secos (redistribuindo no tempo das disponibilidades de água), e manejo dos efluentes das atividades humanas para evitar a degradação das águas.

De acordo com o inciso V do artigo 1º, da Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, “a **bacia hidrográfica** é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos”.

Resumindo, a água é um bem escasso e, portanto, possui valor econômico. Por ser escasso, existem conflitos relacionados ao seu uso, o que determina a necessidade de gestão dos recursos hídricos, com vistas a garantir que o seu uso resulte no máximo benefício social, que garanta o acesso de todos aos seus benefícios. Esta situação é condicionada pela solidariedade intra e inter-geracional. O objeto da gestão

é o conflito pelo uso, e o ambiente no qual as decisões devem ser tomadas está condicionado pelo desenvolvimento sustentável. Já a unidade territorial que define o espaço de gestão é a bacia hidrográfica.

Mas o que é a bacia hidrográfica? Na seção seguinte, desenvolveremos essa questão.

3.2 BACIA HIDROGRÁFICA

De acordo com Menin (2000), bacia hidrográfica é o “conjunto de terras drenadas por um rio principal, seus afluentes e subafluentes. O termo também inclui a existência de cabeceiras ou nascentes, vales e divisores de água. Área que alimenta uma determinada rede hidrográfica” (p. 37).

A figura 3.10 apresenta um modelo de uma bacia hidrográfica – no caso, a bacia hidrográfica contribuinte à barragem do DNOS, no rio Vacacaí-Mirim, no Município de Santa Maria, RS. A bacia hidrográfica é limitada pelos **divisores de água**, que delimitam, como as paredes de uma bacia, a área que recebe as águas da precipitação (no caso da bacia exemplo, quase totalmente água da chuva).

Caso os divisores fossem todos de igual altitude, como as paredes de uma bacia, as águas somente sairiam pela evaporação e, quando esta não fosse superior ou igual à quantidade de chuva, encheria até transbordar por toda a extensão dos divisores de água. No entanto, os divisores não têm a mesma altitude e funcionam como se fossem uma bacia inclinada em uma direção. Ela nunca enche totalmente, pois, quando a linha d’água atinge a borda mais baixa, começa a verter para fora. O ponto mais baixo, por onde começa a verter para fora, chama-se **exutório da**

bacia. O exutório, portanto, é o ponto para onde convergem todos os fluxos de água da bacia.

Essa convergência se dá de modo hierarquizado pela de **rede de drenagem**, definido como conjunto de todos os drenos que conduzem as águas coletadas pela superfície da bacia hidrográfica até o exutório. Costuma-se convenicionar como **rio principal** a linha de drenagem mais longa que existe na bacia unindo uma nascente ao exutório. Esse critério nem sempre é seguido. Às vezes, utiliza-se, em uma confluência de dois drenos, a maior vazão para definir o rio principal. Todos os drenos que confluem diretamente para o rio principal são seus **afluentes**. Da mesma forma, todos os que confluem diretamente para os afluentes são **subafluentes**. Em anexo, apresenta-se uma parte da carta topográfica para que possa ser exercitada a delimitação de uma bacia hidrográfica.

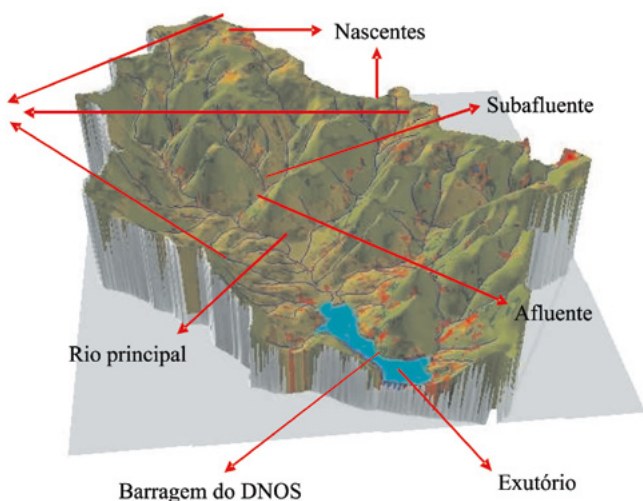


Figura 3.10 - Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim a montante da Barragem do DNOS (adaptado de CRUZ et al., 2005).

Pode-se, então, definir uma bacia hidrográfica como a área que concentra todo o escoamento superficial de uma área geográfica até um determinado ponto, que é o exutório da bacia. Esse ponto pode ser definido em qualquer lugar de uma rede de drenagem. Como se podem definir bacias em qualquer ponto, cria-se uma hierarquia de escalas de bacias hidrográficas. Se um afluente define uma bacia, esta se chama sub-bacia. Podem-se definir bacias dentro de bacias. Assim, bacias hidrográficas muito pequenas, definidas por nascentes e arroios com área muito pequena, podem ser chamadas de microbacias. Essas nascentes confluem para rios que as concentram, definindo pequenas bacias hidrográficas, as quais são divididas em várias microbacias. Pequenas bacias se juntam para formar bacias médias, e assim por diante.

Essa questão cria um problema: se qualquer ponto da drenagem pode definir uma bacia, qual a escala e qual a delimitação da bacia hidrográfica para fins de gestão das águas? Se a gestão das águas é institucionalizada, ela deve ter uma área de abrangência bem definida, sob pena de inviabilizar o processo de negociação de conflitos. Ou seja, deve haver uma jurisprudência espacial bem definida.

Por isso, os limites das bacias hidrográficas, para fins de gestão das águas, são definidos em legislação própria. Nesse caso, nem sempre os limites obedecem rigidamente à definição hidrológica de bacia hidrográfica, a fim de se evitar a existência de áreas com dúvida localização, como é o caso das áreas que drenam diretamente para um rio de divisa internacional. Essas áreas não são afluentes de nenhum rio nacional. Dessa forma, o legislador incluiu essas áreas junto à bacia de algum afluente nacional vizinho. Os limites das bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul, tais

como definidas oficialmente, estão apresentados na figura 3.5. Nessa Figura, as bacias hidrográficas são apresentadas por uma letra seguida de um número. A letra indica a Região Hidrográfica: G – do Guaíba, U – do Uruguai e L – do Litoral. A Barragem do Vacacaí-Mirim (do DNOS) está situada na bacia G060 – bacia dos Rios Vacacaí/Vacacaí-Mirim.

As bacias hidrográficas podem ser classificadas em função do destino de suas águas. As bacias hidrográficas cujos exutórios chegam até o mar, normalmente formadas por rios perenes, são ditas bacias exorréicas. Já as bacias hidrográficas que chegam até lagos que nunca transbordam em direção ao mar, formadas por rios intermitentes ou perenes cujas vazões, no máximo, se igualam à evaporação do lago são chamadas de bacias endorréicas. Em regiões áridas, com drenagens maldefinidas, descontínuas e difusas e de regime normalmente esporádico, as águas não se acumulam em lagos, perdendo-se por infiltração e evaporação, caracterizando as bacias arréicas.

No Rio Grande do Sul, em função da quantidade de chuva e da predominância de rios perenes, que tipo de bacia se pode encontrar?

Em uma mesma região climática, as bacias hidrográficas podem apresentar comportamentos diferenciados dos seus hidrogramas. Na figura 3.3, por exemplo, pode-se observar que o hidrograma do rio das Antas é mais “nervoso” que o do rio Ijuí. Esse “nervosismo” está expresso na maior irregularidade de vazões. No entanto, a área de contribuição (ou seja, a bacia hidrográfica definida pelas duas estações de medição de vazões) das duas é de igual escala, sendo muito próximas. Esse “nervosismo” está associado

ao tempo que demora para que a chuva se transforme em vazão no ponto exutório da bacia (estação fluviométrica). Quanto mais rápido a água chegar, mais “nervoso” é o hidrograma, com picos que crescem rapidamente e descem também rapidamente. Isso determina uma situação de rio que enche muito rápido e que também baixa muito facilmente, estabelecendo situações de seca muito frequentes. Quanto mais lentamente a água chegar, mais perene é o regime do rio, pois, quando a água ainda está baixando, pode entrar chuva e recuperar o nível das águas. Esse comportamento deixa o hidrograma menos “nervoso”. As águas sobem lentamente e baixam lentamente.

Três fatores podem contribuir para aumentar ou diminuir o tempo que a água da chuva gasta para chegar até o exutório: a declividade, a forma e a capacidade de infiltração dos solos.

Enquanto na atmosfera a energia que move a água está associada ao sol, é a força da gravidade que determina a energia potencial das águas em nível de solo. A energia potencial está dada pela altura da água em relação ao nível do mar. Assim, quanto mais alto for o local de queda da gota de chuva, maior será a energia potencial da gota para se movimentar. O eixo da gravidade é vertical.

No entanto, como as superfícies não são normalmente verticais, quanto mais inclinada for a área, mais rapidamente e em menor distância horizontal a água se movimentará. Assim, quanto menos inclinada, ou mais plana for a área, mais lentamente se dá o movimento, pois mais distância horizontal tem que ser vencida para gastar uma energia potencial igual, correspondente à diferença de altitude entre os dois pontos. No exemplo, a bacia do Antas tem seus divisores de água nos pontos mais elevados do

Estado e possui um relevo bem mais acidentado que a do rio Ijuí. Esse fator determina que as águas cheguem mais rapidamente dos divisores de água até a rede de drenagem e daí até o exutório.

Outro fator é a forma da bacia. Bacias de mesma área tendem a apresentar escoamento mais ou menos "nervoso" em função da forma. Bacias que têm forma mais próximas de uma esfera tendem a ter as maiores distâncias entre os divisores de água e a rede de drenagem, enquanto as bacias alongadas tendem a ter uma distância pequena entre os divisores e a rede de drenagem. Nesse caso, as bacias mais esféricas terão um tempo maior para as águas chegarem ao exutório, uma vez que o atrito oferecido pelas vertentes (as encostas) é maior que o oferecido pelos cursos de água. Assim, quanto mais longa a vertente, mais plana e com cobertura de alta resistência ao movimento, mais tempo levará a água para chegar ao exutório, resultando em um hidrograma com pulsos mais suaves e alongados. Quando as formas são mais alongadas e finas, as águas rapidamente alcançam a drenagem, sendo rapidamente conduzidas ao exutório, resultando no padrão "nervoso", com picos mais altos e secas mais intensas.

O terceiro fator é a capacidade de infiltração dos solos. Essa capacidade depende de muitos fatores. Solos rasos situados sobre rochas vulcânicas ou cristalinas tendem a ter menor capacidade de infiltração. Solos situados sobre arenitos mal consolidados profundos tendem a ter maior capacidade de infiltração. Em situações de solos intensamente manejados com arados e grades, solos arenosos tendem a ter maior capacidade de infiltração que solos argilosos. No entanto, em solos bem estruturados, solos argilosos podem ter estruturas com formação de agrega-

dos de partículas que fazem com que cada agregado funcione como um grão de areia, permitindo alta capacidade de infiltração de água no solo. Solos que apresentam cobertura florestal original tendem a ter grande capacidade de infiltração, devido à estruturação e à proteção do solo do impacto direto, associadas ao freio na energia das gotas da chuva, efetuado pela interceptação pelas folhas e galhos das árvores, que retardam o tempo que a água leva para alcançar o solo. Esse é o fator mais associado ao manejo do ser humano. É aqui que se dá a grande capacidade do ser humano de manejar as águas de forma difusa. Utilizando-se práticas conservacionistas de solo e água, pode-se aumentar a infiltração, retardar-se o movimento das águas, garantir-se uma elevação da disponibilidade de água na maior parte do tempo e reduzir a intensidade das enchentes mais frequentes.

No exemplo da figura 3.3, os solos da bacia do Antas são, na maior parte, solos rasos situados sobre rochas vulcânicas ácidas e básicas da Formação Serra Geral. Já na bacia do Ijuí, grande parte das nascentes está situada sobre os arenitos da Formação Tupanciretã. Infiltrando pouco, as águas do Antas chegam rapidamente às drenagens por escoamento superficial. Já no Ijuí, grande parte da chuva se infiltra e, lentamente, escoam pelo fluxo subsuperficial como drenagem interna, resultando com isso em um efeito similar ao da presença de uma grande barragem de armazenamento de água, efeito chamado de regularização. Um rio regularizado é o que pouco flutua na sua vazão. Normalmente, o termo está associado à presença de barragens que são manejadas para manter um determinado nível de vazão. O uso do solo pode ser manejado para aumentar a infiltração e aumentar o efeito de regularização das vazões.

Observe-se que esses fatores podem atuar conjuntamente, um potencializando o outro. Na bacia do Antas, as águas infiltram menos e escorrem superficialmente mais. Essa água chega mais rápido à drenagem porque a declividade é maior e também porque a forma é mais alongada. Resultado: o hidrograma é mais “nervoso”, com cheias mais fortes e secas mais intensas, além de um maior risco de abastecimento, pois não há regularização natural na bacia.

Não somente a disponibilidade quantitativa de águas, expressa no hidrograma, resulta na quantidade de água que pode ser utilizada pelos ecossistemas e pela sociedade. Quando apresentam qualidade degradada pela poluição, as águas tornam-se indisponíveis para uma série de usos. Nesse caso, quando uma cidade, por exemplo, lança seus esgotos sem tratamento nos cursos de água, acaba disponibilizando as águas para outros usos, como captação para abastecimento público com tratamento simplificado, irrigação de hortaliças para consumo sem cozimento, entre outros, o que gera um conflito entre usuários. Se há conflito, há a necessidade de gestão da qualidade da água.

No Brasil, a resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos de água, estabelece as diretrizes para o enquadramento e estabelece os padrões de qualidade que devem ser respeitados para cada classe de uso e para o lançamento de efluentes. Essa resolução estabelece padrões de qualidade diferenciados para águas doces, salobras e salinas, de acordo com o uso definido pelo órgão ambiental por meio do processo do enquadramento das águas. Nesse processo, ouvida a comunidade através da interveniência do Comitê de Bacia, o órgão ambiental estabelece qual a classe de uso das águas que atende às necessidades dos ecossistemas e da sociedade

em trechos de rios da bacia hidrográfica. Costuma-se dizer que é um processo pelo qual a sociedade verifica o rio “que se tem” e estabelece as metas de qualidade do “rio que queremos”. A CONAMA 357/2005 classifica as águas doces (as águas que são de interesse na bacia dos rios Vacacaí/ Vacacaí-Mirim) em cinco classes de uso:

I - **classe especial:** águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - **classe 1:** águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.

III - **classe 2:** águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;

d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e

e) à aqüicultura e à atividade de pesca.

IV - **classe 3:** águas que podem ser destinadas:

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;

b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;

c) à pesca amadora;

d) à recreação de contato secundário; e

e) à dessedentação de animais.

V - **classe 4:** águas que podem ser destinadas:

a) à navegação; e

b) à harmonia paisagística.

Na ausência de enquadramento, a norma estabelece que todas as águas devem atender à classe 2. Quanto maior a classe, maior a tolerância para a contaminação das águas, expressas em listagens de padrões apresentadas no texto legal. Quanto menor a classe, como a classe especial, menor a tolerância para a contaminação. Observa-se que a classe determina, portanto, os usos que poderão ser efetuados no trecho de rio, bem como a quantidade máxima de efluentes que podem ser lançados no rio, uma vez que qualquer lançamento não pode modificar a classe do trecho, mesmo que o efluente em si esteja dentro dos limites.

Ou seja, se todos os que lançam estão dentro dos limites, mas são muito numerosos, poderão acumular poluentes que conduzem as águas do corpo receptor para concentrações fora dos limites definidos pela resolução.

Esse aspecto permite a visão integrada entre quantidade e qualidade. Os padrões representam concentrações de elementos ou substâncias expressas como uma quantidade de massa por volume de água. Por exemplo, se há 1 g de determinada substância presente em cada litro de água, diz-se que a concentração é de 1 g L⁻¹.

Considere-se agora que existe um lançamento de efluente de uma estação de tratamento de esgotos que apresenta fluxo e qualidade constantes. Em cada momento, a carga de poluentes presente no efluente é diluída nas águas do corpo receptor. A concentração final das águas dependerá, portanto, do volume de água que está passando em cada momento. Se o rio estiver caudaloso, diluirá mais; se estiver seco, diluirá menos. Ou seja, a qualidade final do rio depende da quantidade de água que está passando.

Pode-se expressar essa relação da seguinte forma. Considere uma carga C_x de um determinado poluente "x". Considere que Q representa a vazão do corpo receptor, ou seja, o volume de água que passa por unidade de tempo (ex., m³ s⁻¹). A concentração final do poluente "x" $[x]$ será:

$$[x] = C_x/Q \quad [3.3]$$

Como a vazão tem um padrão extremamente flutuante, uma carga que, em determinado momento, com uma determinada vazão do corpo receptor, resulta em concentrações que se inserem dentro dos limites da classe de uso,

em momento posterior, com vazão mais baixa, poderá resultar em concentrações maiores, tornando o uso da água inadequado para os usos estipulados para a classe.

Por isso, sempre que se efetua uma amostra de qualidade da água, deve-se medir a vazão do rio naquele momento. Também é por causa disso que o planejamento dos usos da bacia hidrográfica deve ser efetuado com muito cuidado, avaliando-se qual a carga máxima de poluição que pode ser tolerada sem comprometer os usos desejados, considerando-se a flutuação natural das vazões.

O processo de identificar a quantidade de água disponível, as cargas atuais de poluentes, a capacidade de receber poluentes do rio, com vistas a definir uma estratégia de mudança dos usos, de modo que seja possível utilizar as águas de forma otimizada para atender a todos os usos desejados, envolve o planejamento da bacia hidrográfica. Esse processo de planejamento envolve a busca de uma solução negociada entre os diversos usuários reais e potenciais da bacia hidrográfica. Essa busca é limitada pelo quadro legal que estabelece um conjunto de ações para que se garanta a solidariedade intra e intergeracional, bem como as condições de perpetuação da vida.

3.3 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE BÁSICA DE PLANEJAMENTO

De acordo com Santos (2004, p.), o conceito mais simples de planejamento é “um meio sistemático de determinar o estágio em que você está, aonde deseja chegar e qual o melhor caminho para chegar lá”. A figura 3.11 apresenta o ciclo do planejamento.

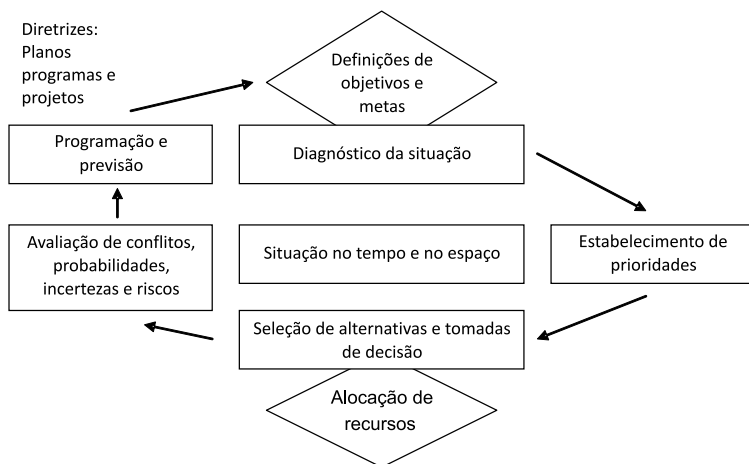


Figura 3.11 - Ciclo do planejamento (SANTOS, 2004, p. 24).

A Lei 9.433/1997 (BRASIL, 1997), no seu artigo 7º, define os Planos de Recursos Hídricos como planos de longo prazo, devendo ter seus horizontes de planejamento adequados ao cronograma de implantação dos programas e projetos neles definidos. Também estabelece o conteúdo mínimo:

- a) diagnóstico da situação atual;
- b) análise de alternativas de crescimento populacional, de evolução das atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo;
- c) balanço entre disponibilidades e demandas futuras de recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais;
- d) metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis;
- e) medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados para o atendimento das metas previstas;

f) prioridades para outorga de direito de uso das águas;

g) diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos;

h) propostas de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos.

No seu artigo 8º, a Lei 9.433/1997 impõe que os Planos serão realizados “**por bacia hidrográfica**, por Estado e para todo o País”.

Observa-se que o processo de elaboração do Plano enquadra-se dentro do escopo apresentado na figura 3.11. Também se enquadra no manejo adaptativo (Figura 3.12). O manejo adaptativo pode ser definido como “um processo que integra a compreensão ambiental com a social e econômica no início de um processo de desenho de um projeto, em uma seqüência de passos durante as fases do projeto e após a sua implementação” (HOLLING, 1978, apud GORDON et al., 2004).

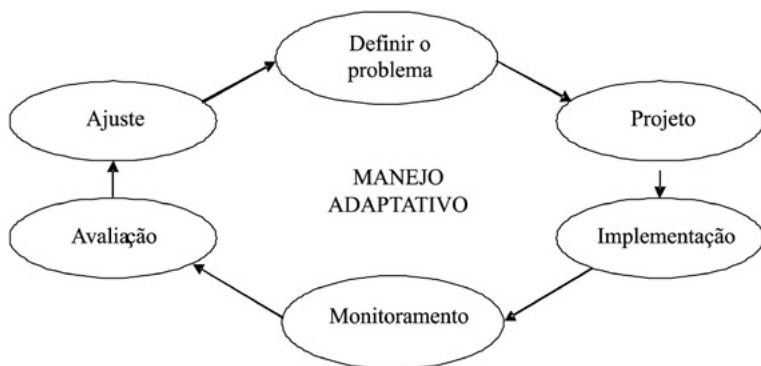


Figura 3.12 - O ciclo do manejo adaptativo (NYBERG, 1999; apud GORDON et al., 2004).

Dessa forma, o planejamento de uma bacia hidrográfica inicia com um amplo diagnóstico da realidade atual, com o qual são construídos cenários. Os cenários serão debatidos dentro do Comitê de Bacia, com vistas a definirem-se quais os usos desejados e qual a qualidade almejada pela comunidade para o futuro. Como a sociedade e a natureza são sistemas complexos, sempre existirá uma grande incerteza quanto ao futuro. Uma vez definidos e colocados em implementação os planos, programas e projetos, devem-se monitorar as consequências desses sobre a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos. Os resultados do monitoramento levam a uma redefinição de metas de quantidade e qualidade e novo ciclo. Tudo funciona como um experimento iterativo, envolvendo toda a comunidade representada no Comitê de Bacia, com os gestores e com assessoria da comunidade técnico-científica. Pode, também, ser visto como um processo de educação-ação (DIAS, 2000), em que a comunidade como um todo vai se apropriando dos aspectos relevantes da relação sociedade-natureza que interferem na sua relação com os recursos hídricos.

3.4 TEMAS PARA DISCUSSÃO

A seguir, são listados temas que podem ser desenvolvidos pelos multiplicadores com seus respectivos públicos-alvos. A finalidade das atividades temáticas sugeridas é estruturar um trabalho permanente de Educação Ambiental direcionado à Gestão de Recursos Hídricos:

- a) a importância da participação no Comitê de Bacia;
- b) gestão de recursos hídricos e desenvolvimento sustentável;

c) gestão de recursos hídricos e democracia participativa: o Comitê de Bacia como escola de democracia;

d) o local e a bacia hidrográfica: como meu local de moradia, de trabalho, estudo, consumo ou lazer interfere na quantidade e qualidade das águas da bacia em que vivo?

e) A bacia hidrográfica como linguagem: o que a quantidade e a qualidade das águas nos falam sobre a relação da sociedade com a natureza?

f) A pessoa e a bacia: que mudanças de comportamento são necessárias para viabilizar uma relação sustentável entre uso e conservação das águas?

g) Uso da terra e bacia hidrográfica: como a tecnologia pode auxiliar na sustentabilidade do uso das águas?

h) Saneamento ambiental e bacia hidrográfica: o que fazer com o esgoto e o lixo?

A Gestão de Recursos Hídricos envolve os mecanismos de negociação de conflitos de interesses pelo uso das águas. Portanto, envolve a gestão de conflitos entre seres humanos. A mediação desses conflitos é potencializada pela apropriação dos conhecimentos referentes ao ciclo hidrológico e das diferentes formas de participação dos cidadãos no processo de tomada de decisões referentes à aplicação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos.

Desse modo, todos os temas acima descritos devem ser contextualizados no contexto dos instrumentos de gestão (outorga de direitos do uso da água, enquadramento dos cursos de água por classes de qualidade e uso, cobrança pelo uso da água, plano de bacia hidrográfica e sistema de informações sobre a bacia hidrográfica), tal como definidos na Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997). Ou seja, o trabalho deve ser direcionado para promover a efetiva implantação dos instrumentos de gestão nas diversas

bacias hidrográficas, buscando-se atender aos múltiplos usos das águas, considerando-se as necessidades do desenvolvimento e da conservação dos ecossistemas associados aos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

AMBIENTE BRASIL. **Recursos hídricos**. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./agua/doce/index.html&conteudo=./agua/doce/recursoshidricos.html>. Acesso em: 23 maio 2006.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Cadernos de Recursos Hídricos. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Águas/Ministério do Meio Ambiente, 2005. 123 p. Disponível em: http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/documentos/01%20Disponibilidade%20e%20Demandas/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf. Acesso em: 22 maio 2006.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Pearson/Prentice Hall, 2002. 305 p.

BRASIL. Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 . Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. (D. O. U. de 9.1.1997). Disponível em: <http://www.ana.gov.br/Legislacao/docs/lei9433.pdf>. Acesso em: 18 maio 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução N° 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 22 maio 2006.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul Escala 1:750.000**. Convênio SOPS-SEMA-DRH/RS-CPRM N° 029/98 - Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial, 2005. Disponível em: http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/hidrogeologico/Mapa_Hidrogeologico.pdf. Acesso em: 13 maio 2006.

CRUZ, R. C. et al. Desenvolvimento de metodologias integrativas para a Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas: a Barragem do DNOS no rio Vacacaí-Mirim, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 4, 2005, Ribeirão Preto. **Livro de Resumos**. v. 1, Ribeirão Preto: Faculdades COC, 2005. p.70.

DIAS, G. F. **Educação Ambiental: Princípios e Práticas**. 6. ed., São Paulo: Gaia, 2000. 551 p.

GORDON, N. D. et al. **Stream Hydrology: an introduction for ecologists**. 2. ed., Chichester: John Wiley & Sons, 2004. 429 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estados@. Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=rs>. Acesso em: 13 maio 2006.

MENIN, D. F. **Ecologia de A a Z. Pequeno Dicionário de Ecologia.** Porto Alegre: L&PM, 2000. 211 p.

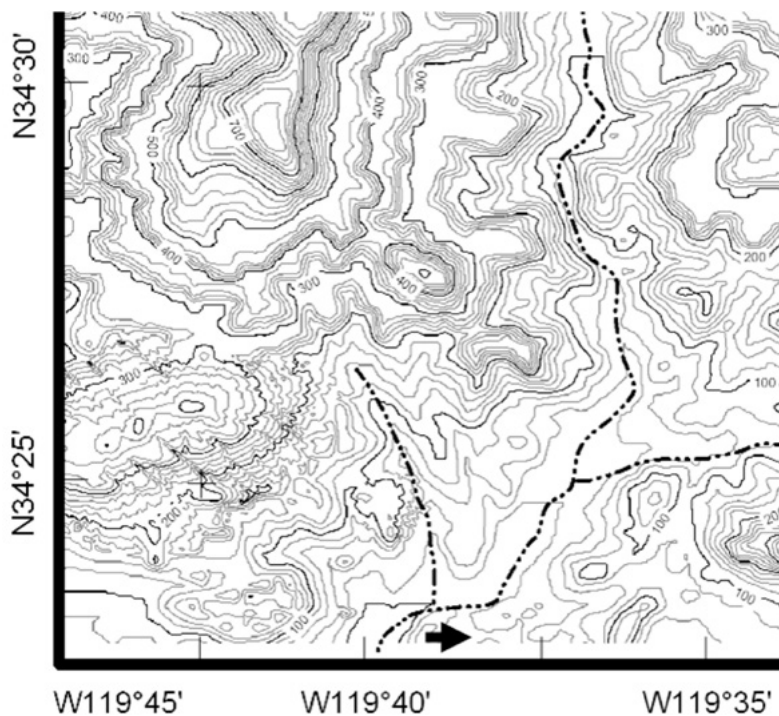
NASA. Agência Espacial Norte Americana. **Scientific Visualization Studio at NASA/Goddard Space Flight Center.** Disponível em: http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a002900/a002915/esarth-2048_web.jpg. Acesso em: 13 maio 2006.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental:** teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Drenagem urbana:** aspectos de Gestão. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CNPq), 2002. 70 p. Disponível em: <http://www.iph.ufrgs.br/grad/disciplinas/dhh/iph01014/APOSTILADRENAGEMGESTORES2002.pdf>. Acesso em: 18 maio 2006.

Water Science for Schools web site.U.S. **Geological Survey's Home Page.** Disponível em: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleportuguesehi.html>. Acesso em 13 maio 2006.

**Anexo para exercício:
delimite a bacia hidrográfica contribuinte
à seta marcada.**



Capítulo IV

BALANÇO HÍDRICO

Galileo Adeli Buriol

galileo@unifra.br

4.1 INTRODUÇÃO

No balanço hídrico, determinam-se todos os ganhos e perdas hídricas que ocorrem num local ou área, de modo a estabelecer a quantidade de água disponível em certo momento. Consiste na contabilidade hídrica do solo, quando se computam, sistematicamente, todos os fluxos hídricos positivos (entrada de água) e negativos (saída de água), fluxos esses decorrentes de trocas com a atmosfera (condensação, precipitação, evaporação e evapotranspiração), do deslocamento da água na superfície (escoamento superficial) e em parte subterrânea do solo (drenagem lateral e profunda). As variáveis condensação (orvalho e nevoeiro) e drenagem lateral e profunda do solo, normalmente, não são consideradas no balanço hídrico. No balanço hídrico climático, também o escoamento superficial da água não é considerado.

Numa microbacia hidrográfica, por exemplo, o balanço hídrico é calculado, utilizando-se a seguinte equação:

$$dV/dt = P.A - Q - E.A \quad [4.1]$$

em que:

V = volume da água armazenado na microbacia hidrográfica;

t = tempo;

P = precipitação pluviométrica;

E = evaporação e/ou evapotranspiração;

Q = vazão;

A = área da bacia hidrográfica.

4.2 COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO

Os principais componentes do balanço hídrico do solo são: precipitação pluviométrica, evaporação e/ou evapotranspiração, escoamento superficial e drenagem profunda da água. Geralmente, numa estação meteorológica, medem-se a precipitação pluviométrica, a evaporação e a evapotranspiração. O escoamento superficial e a drenagem da água no solo somente são determinados na realização de estudos especiais. Nos estudos hidrológicos, o escoamento superficial da área da bacia hidrográfica é quantificado pela vazão da água no rio.

Descrevem-se, a seguir, os componentes do balanço hídrico precipitação pluviométrica, evaporação e evapotranspiração (o escoamento superficial e a drenagem da água no solo foram descritos no capítulo anterior).

4.2.1 Precipitação pluviométrica

Por precipitação compreende-se a água que cai sobre o solo, no estado sólido, em forma amorfa, ou seja, o granizo; no estado cristalino, a neve; e, no estado líquido, a precipitação pluviométrica ou chuva.

A precipitação pluviométrica é medida no pluviômetro e registrada no pluviógrafo. A unidade de medida

é o milímetro e décimo de milímetro (mm) e significa a altura que a água ficaria sobre um solo horizontal e impermeável, supondo, ainda, que, no mesmo solo, não ocorresse evaporação.

No pluviômetro (Figura 4.1), a água da precipitação pluviométrica é recolhida e, posteriormente, determinada, seja ao se medir o seu volume, seja ao se pesar a quantidade armazenada. Constitui-se de um recipiente de chapa galvanizada, de zinco ou mesmo de plástico, com uma superfície receptora, a "área de captação" (S), um receptor em forma de funil, através do qual é coletado o volume (V) de água precipitada num reservatório (coletor), geralmente alongado, que termina embaixo, em tubo munido de um registro (torneira). A água permanece no reservatório (coletor) até a hora da observação. O receptor, de forma cônica interiormente (às vezes também exteriormente), tem por finalidade principal evitar que a água recolhida se evapore ou, pelo menos, reduzir a evaporação a um mínimo, pois a água que evapora se condensa sobre a parte interior de onde volta facilmente a escorrer no recipiente. Também, com a finalidade de reduzir a evaporação, o pluviômetro é construído com paredes duplas, evitando, dessa forma, a incidência da radiação solar direta na sua parte interna. A "área de captação" é formada por um aro (comumente latão ou bronze), com aresta cortante que tem por finalidade cortar em duas partes a gota da água precipitada sobre ela. O aro deve manter-se indeformável e delimitar com exatidão a "área de captação". Assim, evita que as gotas de água, ao caírem sobre a aresta, salpiquem para fora do pluviômetro (ESCRITÓRIO DE METEOROLOGIA, 1966).

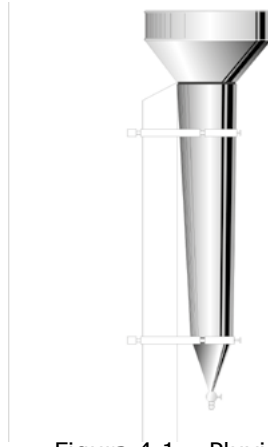


Figura 4.1 – Pluviômetro.

A altura da precipitação pluviométrica é expressa pela equação:

$$h = \frac{V}{S} * 10 \quad [4.2]$$

em que:

h = altura de água da precipitação pluviométrica (mm);

V = volume de água captada no pluviômetro (cm³);

S = "área de captação" do pluviômetro (cm²).

A medida da água da precipitação pluviométrica coletada no pluviômetro é realizada com o auxílio de uma proveta, graduada em milímetros e décimos de milímetros. Normalmente, a proveta para a coleta da água no pluviômetro já vem graduada em mm para cada modelo de aparelho. Assim, a altura da água de precipitação pluviométrica é lida diretamente na proveta em mm. Nas horas de leitura, a água do pluviômetro é retirada por intermédio do registro colocado no seu fundo (torneira) e medida com auxílio da proveta.

O pluviômetro é instalado preso a um suporte (moirão, cano galvanizado, etc.), de tal modo que sua área de captação fique a 1,50 m de altura do solo e, rigorosamente, em nível.

O pluviógrafo tem a finalidade de registrar, de forma contínua, a precipitação pluviométrica. Como o pluviômetro, o pluviógrafo possui um receptor em forma de funil que termina em tubo metálico, e a área de captação se constitui de um aro de aresta cortante. Além de determinar a quantidade total de água de precipitação pluviométrica no período considerado (mm), indica a sua intensidade (mm/h):

$$I = \frac{P}{t} \quad [4.3]$$

sendo:

I = intensidade da precipitação pluviométrica (mm/h);

P = precipitação pluviométrica (mm);

t = duração da precipitação pluviométrica (h).

Existem vários tipos de pluviógrafos quanto ao sistema de registro da precipitação pluviométrica: de sifão, de contato e de balança-sifão. O de uso mais generalizado é o pluviógrafo de sifão. Por essa razão, somente este será descrito a seguir.

O pluviógrafo de sifão compõe-se do aparelho propriamente dito (Figura 4.2), que registra a precipitação pluviométrica e de um cilindro com movimento de relojoaria, em redor do qual é colocado o diagrama (pluviograma). A rotação do cilindro é de 24 horas, podendo ser também semanal.

A água precipitada é coletada pelo receptor (A), o qual possui forma de funil, que termina em forma de tubo, em metal. Ela escorre por esse tubo metálico até o cilindro

(B), que contém um flutuador (C), espécie de êmbolo, munido de um eixo vertical (S), em cuja extremidade encontra-se preso um braço que suporta a pena (Z). Do cilindro B parte um tubo de vidro recurvado em forma de sifão (H), que se comunica com uma vasilha (K). À medida que a água escorre para (B), o flutuador (C) e, portanto, a pena (Z) vão subindo lentamente. A água também se eleva no tubo sifão (H) e, quando ela alcança o ponto mais alto deste (H), o cilindro é esvaziado imediatamente por sifonagem. O cilindro não fica totalmente vazio; sempre permanece no seu interior uma quantidade constante de água que mantém a pena sobre o ponto zero do pluviograma (ESCRITÓRIO DE METEOROLOGIA, 1969).

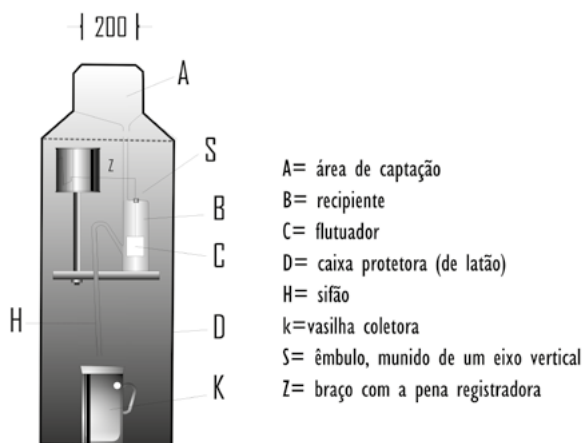


Figura 4.2 – Pluviógrafo.

O dia pluviométrico compreende o tempo que vai das 9 horas do dia anterior às 9 horas do dia considerado. Dessa forma, a quantidade diária de precipitação pluviométrica é a soma da água recolhida no pluviômetro nas leituras das 15, 21 e 9 horas. Nas estações meteorológicas onde é realizada

uma única observação pluviométrica ao dia, esta é feita às 9 horas e a precipitação pluviométrica correspondente àquele dia é o total recolhido na hora da leitura.

A precipitação pluviométrica média, mensal corresponde à soma dos totais diários e a média anual à soma dos totais mensais.

Os dados de precipitação pluviométrica para a determinação de sua intensidade são retirados dos pluviogramas. Os pluviogramas podem ser de duração diária ou semanal. Os de duração semanal possuem o inconveniente de apresentar os registros muitos próximos, quase superpostos, quando da ocorrência das chuvas de elevada intensidade.

Na precipitação de neve e granizo, a água se encontra em estado sólido. A altura da neve é medida pela quantidade de água recolhida no pluviômetro ou pluviógrafo depois de liquefeita totalmente. Determina-se também a altura da neve com uma régua de madeira, graduada em centímetros. Mede-se a altura da camada de neve em vários lugares adequados e depois se calcula a média. Em regiões onde a neve cai com frequência, existem postos com réguas instaladas de forma permanente.

A medida do granizo, como no caso da neve, é realizada pela altura da água recolhida no pluviômetro ou registrada no pluviógrafo, depois de liquefeito. Quando ocorre grande queda de granizo, determina-se também a espessura da capa que cobre o solo. Observa-se ainda a hora de início e fim do fenômeno, o tamanho dos grãos, comparando-os com circunferência de diâmetro conhecido e o tempo que leva para desaparecer na superfície do solo.

Nas estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, o registro tanto da ocorrência de granizo como de neve é realizado apenas visualmente. Anotam-se a data

e hora de ocorrência, bem como a duração, e faz-se uma observação subjetiva da sua intensidade.

4.2.2 Evaporação da água

Nas determinações da evaporação da água são utilizadas superfícies líquidas ou úmidas. As superfícies líquidas são reservatórios ou tanques expostos ao processo de evaporação, denominados de evaporímetros, e as úmidas são superfícies porosas, nas quais ocorre a evaporação, chamadas, geralmente, de atmômetros ou também de evaporímetros.

Nas estações meteorológicas e evaporimétricas, a evaporação é determinada para o período de 24 horas, e a observação é realizada às 9 horas, diariamente; a unidade de medida é o mm.

O que se determina nas superfícies líquidas é a evaporação potencial da água, que é definida como aquela que atende integralmente à demanda atmosférica. Isso ocorre sobre as superfícies livres de água no estado líquido, em condições naturais. Esse processo se dá em função do calor latente de evaporação, que depende da intensidade da radiação solar e, por conseguinte, da temperatura do ar. A evaporação depende, ainda, do *déficit* de saturação do vapor de água na atmosfera e da velocidade do vento. No momento em que ocorre a saturação do ar na atmosfera adjacente à superfície da água, a evaporação cessa; porém, o vento atua como agente dispersor do vapor da água, evitando que o ar contíguo se sature. Assim, a evaporação (E) é uma função (f), principalmente, da radiação solar global (R_g), temperatura do ar (t), *déficit* de saturação do vapor de água na atmosfera (d) e velocidade do vento (u):

$$E = f(Rg, t, d, u).$$

[4.4]

A determinação direta da evaporação de uma superfície grande de água, em condições naturais, é de difícil realização, principalmente, em razão das dificuldades de controle das perdas (como infiltração no solo, escoamento superficial e consumo por animais) e dos ganhos (como variação espacial de precipitação pluviométrica e escoamento superficial e profundo). Assim, mede-se, geralmente, a evaporação da água em superfícies de pequenas dimensões, como tanques de evaporação. Essas pequenas superfícies fornecem resultados que correspondem igualmente à evaporação de uma superfície de grande extensão. Utilizam-se dois sistemas de instalação desses tanques: a) a maior parte do reservatório é colocada abaixo do nível do solo, ficando o nível da superfície evaporante, aproximadamente, no mesmo nível do solo, e b) o reservatório é colocado acima do solo, permanecendo a superfície evaporante acima do nível solo.

O tanque de evaporação mais utilizado no Brasil é o "Classe A". É adotado pela Organização Mundial como o instrumento de referência nas determinações de evaporação. Seu uso, atualmente, está generalizado em todo o mundo. O seu formato é circular, medindo 121 cm de diâmetro e 25,4 cm de profundidade, construído com chapa de ferro galvanizado nº 22 (Figura 4.3). Acompanha o tanque um "poço tranquilizador, micrômetro, termômetro de máxima, termômetro de mínima e anemômetro". O "poço tranquilizador" tem a finalidade de evitar a ação das ondulações da água do tanque formadas pelo vento, nas determinações do nível da água. É de formato cilíndrico, acoplado sobre um tripé que assenta dentro do tanque por meio de três parafusos, com finalidade de nivelá-lo.

O micrômetro tem a finalidade de medir a altura da lâmina de água evaporada. É instalado sobre o “poço tranquilizador” (Figura 4.4). Consiste num parafuso terminado geralmente em forma de gancho. O parafuso desloca-se verticalmente dentro de uma luva que possui três brocas divergentes, as quais servem para apoio do micrômetro sobre a borda do “poço tranquilizador”. No parafuso, está a escala para a determinação da água evaporada, em milímetros.

O conjunto de termômetros (máxima e mínima) é montado de tal modo que flutue na água do tanque e que os bulbos dos termômetros permaneçam dentro da água, possuindo, ao mesmo tempo, uma proteção contra a incidência da radiação solar direta.

A velocidade do vento é, geralmente, fornecida por um anemômetro totalizador ou por um anemógrafo de contato. No primeiro caso, o movimento das conchas do anemômetro é transmitido a um mostrador que armazena o valor acumulado das distâncias percorridas pelo vento, em quilômetros. Obtém-se, dessa forma, o valor médio da velocidade do vento entre duas leituras. No segundo caso, o anemômetro é ligado a um cronógrafo, registrando a velocidade do vento. O anemômetro ou anemógrafo é instalado junto ao tanque, a 0,50 m sobre o nível do solo.

O tanque “Classe A” é instalado sobre uma plataforma de madeira, de 0,10 x 0,50 x 1,24 m (Figura 4.3), pintada de branco. O fundo do tanque deve permanecer em torno de 5 a 10 cm acima do nível do solo.

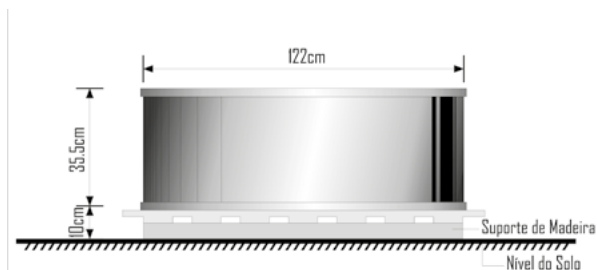


Figura 4.3 – Tanque de evaporação Classe A.

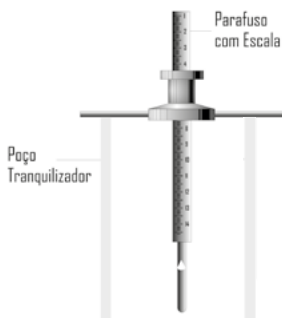


Figura 4.4 – Poço tranquilizador.

A água, no interior do tanque, deve ser mantida entre 5,1 e 7,6 cm da borda superior. É estabelecido que se reponha água no tanque sempre que o nível atingir 7,5 cm abaixo da sua borda superior e retirar a água da chuva sempre que atingir 2,5 cm da borda superior.

A evaporação (E_t) é dada pela diferença de duas leituras consecutivas (Δh) mais a precipitação pluviométrica do período (p), se houver:

$$E_t = p + \Delta h \quad [4.5]$$

Com a leitura da altura do nível da água, são feitas as leituras das temperaturas máximas e mínimas da água e da velocidade do vento.

Os evaporímetros são instrumentos concebidos para estimar a evaporação de grande superfície livre d'água natural, como um lago, uma barragem, com determinação da evaporação numa superfície de grande extensão. Entretanto, a evaporação fornecida pelos evaporímetros existentes não pode ser considerada como a evaporação de uma superfície livre d'água de grande extensão. Isso se deve ao fato de a interação dos fatores físicos, responsáveis pelo processo da evaporação em um evaporímetro e em uma grande massa de d'água, ser diferente.

O tanque "Classe A", em função de ser instalado acima do nível do solo, recebe radiação solar global nas paredes e nos fundos, na forma de albedo. O ar flui em volta e por baixo dele, ocasionando diferenças na temperatura da água do tanque em relação àquela de uma grande superfície de água. Em razão ainda do pequeno diâmetro do tanque, o ar se desloca sobre a superfície aquosa, intensifica os processos advectivos e culmina em diferenças na pressão do vapor do ar sobre o tanque e sobre uma superfície natural extensa. Dessa forma, o tanque "Classe A" superestima a evaporação de uma superfície livre d'água de grande extensão.

Para corrigir as diferenças de evaporação que ocorrem numa superfície livre d'água natural e nos evaporímetros "Classe A", necessita-se determinar um coeficiente de ajuste para um mesmo dia, possibilitando encontrar a verdadeira evaporação de uma superfície natural.

O coeficiente de ajuste (K) é determinado da seguinte maneira:

$$K = E_N/E_T \quad [4.6]$$

em que:

E_N = evaporação de uma superfície de água de grande extensão;

E_T = evaporação do tanque Classe A.

Assim, a evaporação que ocorre em condições naturais, numa superfície "infinita" de água (E), é expressa pela equação:

$$E = E_T \cdot K \quad [4.7]$$

O valor do coeficiente K varia, em média, entre 0,60 e 0,86, dependendo das estações do ano. É consequência do calor armazenado na água das superfícies naturais, determinando defasagem entre a transferência advectiva de calor nos tanques, especialmente nos situados acima do nível do solo e nas superfícies de água de grande extensão. Varia também com as diferentes regiões geográficas. Os valores da relação E_N/E_T são mais elevados em regiões úmidas e de baixa radiação solar, onde a temperatura média da superfície d'água do tanque é maior que a temperatura do ar. Os valores mínimos da relação E_N/E_T são encontrados nas regiões áridas, onde a temperatura do ar é maior que a temperatura da superfície da água do tanque.

Como valor médio para correção da evaporação obtida no tanque "Classe A", é, geralmente, utilizado 0,70 para os meses mais quentes ou secos do ano e 0,8 para os meses mais frios ou úmidos.

A medida da evaporação de superfícies porosas é realizada com a utilização de diferentes superfícies, distinguindo-se especialmente as de papel filtro e as de porcelana. Essas superfícies permanecem sempre úmidas e nelas, a perda d'água por evaporação é medida.

Entre os principais instrumentos de medida da evaporação de superfícies porosas, encontram-se os atmômetros ou evaporímetro de Piche, de Livingston, de Bellani e de disco poroso negro. O mais utilizado no Brasil é o evaporímetro de Piche, que consiste em um tubo de vidro fechado em uma extremidade e aberto na outra, graduado em milímetro, normalmente de 22,5 cm de comprimento e de 11,0 mm de diâmetro interno e 14,0 mm de diâmetro externo (Figura 4.5). Na extremidade aberta do tubo, é ajustado, com auxílio de uma peça metálica moveável, um disco de papel especial poroso branco, de 3,2 cm de diâmetro e uma superfície evaporante de 13,0 cm². O tubo de vidro, depois de cheio d'água, é invertido, e o disco de papel veda a saída da água. O disco permanece sempre úmido, apresentando uma superfície sempre exposta à demanda evaporativa do ar.

O evaporímetro de Piche é instalado dentro do abrigo meteorológico, pendurado ao teto, de boca para baixo e, geralmente, no lado direito, de tal forma que a superfície evaporante permaneça em torno de 1,50 m acima da superfície do solo.

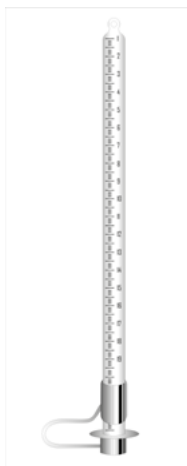


FIG. 4.5 - Evaporímetro de Piche.

Coloca-se a água limpa no tubo, em seguida, o disco de papel filtro, prendendo-o ao tubo com presilha e inverte-se o aparelho para pendurá-lo no teto do abrigo. Anota-se o nível da água entre duas leituras. A diferença entre essas duas leituras corresponde à água evaporada no período. Quando o nível de água baixar no tubo, de tal modo que pareça insuficiente para as 24 horas seguintes, enche-se novamente o tubo.

4.2.3 Evapotranspiração

Para facilitar a compreensão dos diferentes parâmetros evapotranspirométricos determinados nas estações agrometeorológicas, é interessante conceituá-los.

A evapotranspiração é a perda combinada de água para atmosfera em forma de vapor, através dos processos de evaporação das superfícies e transpiração das plantas. A evapotranspiração potencial ou de referência (ETP) é em uma superfície com grama, bem provida de umidade, fase de desenvolvimento ativo e com bordadura adequada. No Brasil, utiliza-se, geralmente, a grama batatais (*Paspalum notatum* L.) com a qual também, normalmente, é vegetada a área da estação meteorológica. A evapotranspiração real ou atual (ETR) é a perda de água por evapotranspiração por uma cultura qualquer nas condições reais (com ou sem restrições de água), em qualquer estágio de desenvolvimento.

A ETP e ETR são obtidas diretamente por intermédio de evapotranspirômetros e lisímetros, respectivamente. A ETP também pode ser estimada a partir de métodos que utilizam dados e parâmetros meteorológicos, e a ETR pode ser medida de forma direta por instrumentos como sonda de nêutrons, resistência elétrica e, de forma indireta, por

gravimetria. Serão descritos aqui somente os evapotranspirômetros e os lisímetros.

Os evapotranspirômetros são tanques cheios de solo e vegetados (Figura 4.6). O solo é peneirado, para limpar as pedras e raízes e colocado no tanque, mantendo-se o máximo possível a ordem dos horizontes. Nos tanques, a umidade do solo é mantida à capacidade de campo (aproximadamente 0,3 bar) através da irrigação complementar. Um sistema de drenagem, no fundo do tanque, permite que a água que exceda a capacidade de retenção do solo percorra e seja conduzida a um poço coletor, no qual é medida.

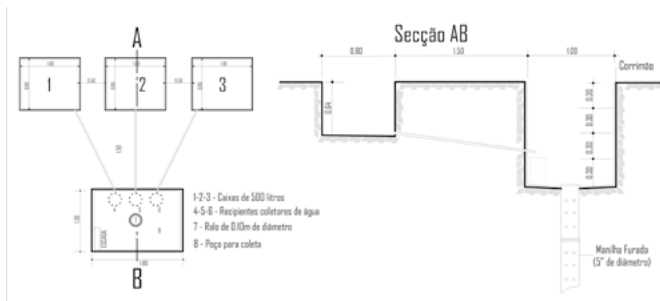


Figura 4.6 – Evapotranspirômetro

A determinação da evapotranspiração potencial por esse sistema é um processo demorado, pois é baseado no princípio do balanço de água por meio da medida da água de precipitação pluviométrica ou irrigação e daquela percolada:

$$ETP = (P + I - D) \cdot 10 \quad [4.8]$$

em que:

ETP = evapotranspiração potencial (mm);

P = água de precipitação pluviométrica (cm³);

I = água de irrigação (cm³);

D = água percolada (cm³).

Multiplíca-se o resultado obtido das variáveis entre os parênteses por 10, para se obter o valor da ETP em mm.

Existem diversos modelos de evapotranspirômetros. O mais comum é o preconizado por Thornthwaite e Mather (1954). Esse modelo (Figura 4.6) é também o mais usado no Brasil. Normalmente, utiliza-se uma bateria composta por três tanques com capacidade para 500 litros (ESCRITÓRIO DE METEOROLOGIA, 1966).

As leituras são realizadas diariamente, às 9 horas. No momento da reposição de água nos evapotranspirômetros, irrigam-se também as bordas dos tanques para minimizar os efeitos advectivos sobre eles.

Os lisímetros são tanques instalados no solo, nos quais é cultivada a planta da qual se quer conhecer as perdas de água por transpiração e evaporação. É um recipiente de grande porte com massa de 2 a 3 toneladas. A perda de água é determinada pela variação de massa em função do tempo. Dois tipos são os mais comuns: o lisímetro de flutuação e o lisímetro de pesagem. No lisímetro de flutuação, mede-se a perda de água do tanque dentro da qual ele flutua. Os lisímetros de flutuação são mais baratos que os de pesagem. Entretanto, são necessários grandes espaços para que o líquido mantenha o tanque em flutuação e, ainda, tem-se a interferência da variação da temperatura sobre a densidade do líquido. No lisímetro de pesagem, a perda de água é determinada diretamente por meio de um sistema de balança que permite a verificação da variação de massa em qualquer intervalo de tempo. Esses lisímetros, quando bem construídos e instalados, são instrumentos bastante precisos. Como exemplo, apresenta-se, na figura 4.7, um lisímetro de pesagem,

modelo de Pruitt e Angus (1960), com 6,0 m de diâmetro e 90 cm de profundidade, com uma sensibilidade de leitura de 0,0308 mm de evapotranspiração, sendo a massa registrada a cada quatro minutos. Existem lisímetros ainda mais precisos, 001 mm de evapotranspiração.

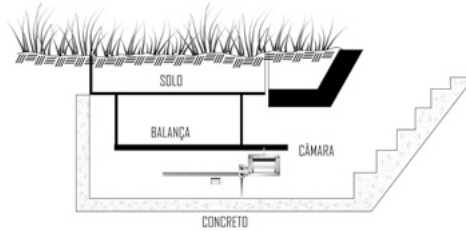


Figura 4.7 – Lisímetro de balança, modelo utilizado por Pruitt e Angus (1960), em Davis, Califórnia, EEUU.

No lisímetro de pesagem, a evapotranspiração é obtida por:

$$ETR = \Delta t + P + I - D \quad [4.9]$$

sendo:

Δt = variação da massa do lisímetro no tempo t ;

P = precipitação pluviométrica (mm);

I = irrigação (mm);

D = drenagem (mm).

Os lisímetros são instrumentos de alto custo e de difícil instalação, manuseio e calibragem. Em razão disso, nas estações meteorológicas, salvo alguns casos, não são instalados lisímetros. São indicados para pesquisa e como padrão para a calibração de outros métodos de estimativa da evapotranspiração.

A soma dos valores diários de cada mês constitui-se na evapotranspiração mensal e na soma dos valores mensais e a anual.

4.2.3 Determinação do balanço hídrico no projeto

O balanço hídrico, nas unidades experimentais do projeto, será determinado somente considerando-se a diferença entre a entrada de água e a saída de água por escoamento superficial. Por essa diferença, tem-se a quantidade de água infiltrada:

$$I_n = P - E_c \quad [4.10]$$

em que:

I_n = água de precipitação pluviométrica infiltrada;

P = água de precipitação pluviométrica coletada no pluviômetro;

E_c = água de precipitação pluviométrica escoada da superfície de cada parcela da unidade experimental.

4.3 VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO SOLO E DO AR

O armazenamento de água no solo tem importante influência na variação diária da temperatura do solo. Nos solos em que se armazenam e se mantêm por mais tempo maiores conteúdos de água são mais eficientes no transporte de calor sensível ao seu interior, pelo processo de condução. Isso quer dizer que, nos solos com maiores conteúdos de água armazenada, a condutividade térmica (k) é mais elevada. Fisicamente, a condutividade térmica (k , $J\ m^{-1}\ s^{-1}\ ^\circ C^{-1}$) representa a taxa de transporte de calor (G , $J\ m^{-2}\ s^{-1}$) através de uma área unitária (m^2), quando o gradiente de temperatura ($\Delta T/\Delta z$: gradiente de temperatura/gradiente de distância) é igual a $1\ ^\circ C/m$, ou seja, $G = -k (\Delta T/\Delta z)$. Ela expressa a facilidade/dificuldade com que o solo transporta calor. Assim, o solo, quando úmido, contém menos ar nos

poros, aumenta a condutividade térmica, conduz o calor a maiores profundidades e diminui a amplitude térmica nas camadas superiores.

A temperatura da superfície do solo e do ar próximo ao solo também é influenciada pela umidade do solo: com o aumento da umidade do solo, a amplitude térmica diária diminui, sendo as máximas menos elevadas e as mínimas menos baixas.

A temperatura da superfície do solo depende também de suas características físicas, como tipo, cor, rugosidade, orientação e inclinação.

4.3.1 Medida da temperatura do solo e do ar

Nas estações meteorológicas são realizadas medidas da temperatura tanto do ar a 1,5 m e a 5.0 cm da superfície do solo, como do solo, em diferentes profundidades, geralmente, a 2 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm e 100 cm de profundidade.

A temperatura do ar é medida à sombra. Para isso, é utilizado o abrigo meteorológico (Figura 4.8), no interior do qual são instalados os termômetros. Dessa forma, esses instrumentos ficam protegidos da incidência da radiação solar direta e refletida, chuva, orvalho, nevoeiro e neve. O abrigo é construído de madeira de lei, compondo-se de duas casinhas, uma inserida dentro da outra, ambas com paredes de venezianas para permitir a renovação constante do ar interior pelo exterior.

No interior do abrigo meteorológico, a uma altura de 1,50 m acima do nível do solo, aproximadamente, estão instalados os termômetros comuns de bulbo seco, de bulbo úmido, de máxima e de mínima (Figura 4.9) e termógrafo (Figura 4.10).



Figura 4.8 – Abrigo meteorológico.

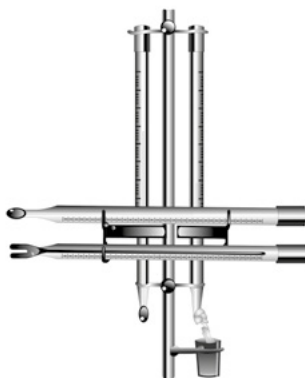


Figura 4.9 – Termômetros de bulbo seco, de bulbo úmido, de máxima e de mínima.

O termômetro comum ou de bulbo seco (assim denominado para diferenciar do termômetro de bulbo úmido) constitui-se de um tubo capilar de vidro transparente, hermeticamente fechado, tendo, numa extremidade, um bulbo

de forma esférica ou cilíndrica ou ainda de dupla ampola e, na outra, uma pequena dilatação: a câmara de expansão. O bulbo contém o elemento sensível, o mercúrio. Paralelamente ao tubo capilar está a escala graduada em graus centígrados ($^{\circ}\text{C}$), os quais são subdivididos de dois em dois décimos. Nos termômetros comumente empregados nas estações meteorológicas, os limites da escala termométrica vão de $-30,0^{\circ}\text{C}$ a $50,0^{\circ}\text{C}$.



Figura 4.10 – Termógrafo.

O termômetro de máxima é de vidro, semelhante ao termômetro de bulbo seco. Distingue-se por apresentar no tubo capilar, próximo ao reservatório, fundido às paredes internas, um pequeno estilete ou um estrangulamento no tubo capilar, que serve para estreitar o calibre do tubo e, portanto, dificultar a passagem do mercúrio. Com a elevação da temperatura, o mercúrio no reservatório dilata-se com tal força, que consegue transpor o estilete ou o estrangulamento. Por ocasião do abaixamento da temperatura, a coluna se rompe no estrangulamento, ficando inalterada a coluna acima dele, embora o mercúrio do reservatório continue a contrair-se. Dessa forma, o mercúrio permanece fixo no ponto mais alto que alcançar no capilar, fornecendo a temperatura máxima no intervalo de tempo em que o termômetro ficar exposto e livre de qualquer interferência.

O termômetro de mínima é de proporções semelhantes ao de máxima, mas tem, normalmente, o álcool etílico como elemento sensível. No interior do capilar existe um pequeno haltere, geralmente de porcelana, fibra ou plástico especial, com cerca de dois centímetros de comprimento, que permanece imóvel quando o álcool se expande. Quando o álcool se contrai por abaixamento de temperatura, o menisco da coluna de álcool adere à extremidade do haltere e arrasta-o em direção ao bulbo: a tensão superficial na extremidade da coluna de álcool é maior que o peso do haltere. Assim, a extremidade do haltere oposta ao bulbo indica sempre a mais baixa temperatura à que esteve submetido o instrumento.

A temperatura mínima do ar é medida também a 5,0 cm acima do nível do solo, relvado, com cobertura morta e desnuda. É instalado sobre um suporte, ao ar livre, após o pôr-do-sol, e retirado pela manhã, após a leitura, sendo durante o dia mantido no interior do abrigo meteorológico.

Os termógrafos são aparelhos que registram continuamente a temperatura. Os tipos mais utilizados nas estações meteorológicas são os com placas bimetálicas e com tubo de Boudon.

Os termógrafos com placas bimetálicas têm como elemento sensível uma lâmina constituída pela justaposição de dois metais com diferentes coeficientes de dilatação, geralmente o bronze e o invar (liga de aço e níquel cuja dilatação é quase nula). As placas podem ser curvas ou helicoidais. Uma das extremidades dessa lâmina está rigidamente fixa ao chassi do instrumento; a outra, a um sistema de alavancas que faz parte unidade de registro. Devido aos diferentes coeficientes de dilatação dos materiais usados na lâmina, as variações de temperatura provocam modi-

ficações na sua curvatura e afastam ou aproximam a extremidade livre da fixa. O movimento da extremidade livre aciona o sistema de alavancas que, por sua vez, transmite-o sobre um gráfico (termograma), através de uma pena. O gráfico é movimentado por um mecanismo de relógio.

Nos termógrafos com tubo de Bourdon, o elemento sensível é um tubo metálico, achatado, curvo, de seção elíptica, cheia de álcool. O tubo é constituído por metal flexível e apresenta uma das extremidades fixa. Quando a temperatura se eleva, prova alterações no volume do álcool, modificando a curvatura do tubo, o que implica em movimentos da sua extremidade livre. O movimento da extremidade livre é ampliado por meio de um jogo de alavancas e transmitido sobre um gráfico, através de uma pena.

Nos termógrafos de mercúrio em aço, o elemento sensível usado é mercúrio, que enche um tubo de aço, o qual, por seu turno, conecta-se ao bulbo espiralado, através de um capilar de aço, igualmente cheio de mercúrio. As variações de temperatura do bulbo provocam a dilatação ou contração do mercúrio que, fluindo pelo capilar, faz aumentar ou diminuir a pressão inteira do tubo espiralado, tendendo a desenrolá-lo ou vice-versa. Os movimentos da extremidade móvel do tubo acionam o sistema de alavancas que, por sua vez, transmite-os sobre um gráfico, através de uma pena.

Os termômetros para a medida da temperatura do solo (geotermômetros) constituem-se de uma haste de vidro flexionado, ficando uma parte dela, permanentemente, enterrada no solo e a outra apoiada em suporte espacial (Figura 4.11). No interior da haste de vidro, encontra-se um tubo capilar com mercúrio.

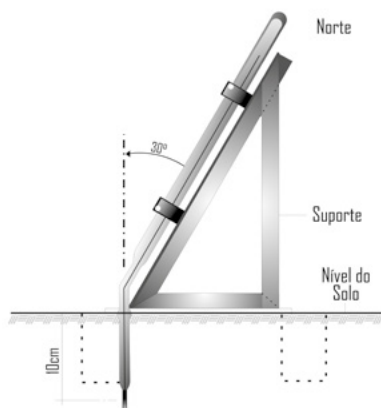


Figura 4.11 – Geotermômetro.

O registro de temperatura do solo é realizado geralmente com o auxílio de geotermógrafos de elemento sensível constituído pelo mercúrio em bulbo de aço.

A leitura no termômetro de bulbo seco, no termógrafo e no geotermômetro, é realizada às 9 horas, 15 horas e 21 horas; no termômetro de máxima, às 21 horas; e no termômetro de mínima, às 9 horas. Após a leitura, faz-se o mercúrio de uma coluna, no termômetro de máxima, retornar ao bulbo e, no termômetro de mínima, escorregar o haltere na direção oposta a do bulbo.

A temperatura média diária pode ser calculada, utilizando-se diferentes fórmulas. A escolha do modelo matemático depende dos dados termométricos disponíveis e da precisão desejada:

- a partir das 24 leituras horárias:

$$t_d = \frac{t_{1h} + t_{2h} \dots + t_{24h}}{24} \quad [4.11]$$

- a partir do modelo utilizado pelo Departamento Nacional de Meteorologia:

$$t_d = \frac{t_{9h} + t_{21h} + t_{m\acute{a}x} + t_{m\acute{i}n}}{5} \quad [4.12]$$

- a partir das temperaturas extremas:

$$t_d = \frac{t_{m\acute{a}x} + t_{m\acute{i}n}}{2} \quad [4.13]$$

- a partir das três leituras diárias:

$$t_d = \frac{t_{9h} + t_{15h} + t_{21h}}{3}, \quad [4.14]$$

sendo:

t_d = temperatura média diária;

t_{1h} , t_{2h} , t_{9h} , t_{15h} , t_{21h} , t_{24} = temperaturas ocorridas a 1, 2, 9, 15, 21 e 24 horas, respectivamente;

$t_{m\acute{a}x}$ = temperatura máxima do dia;

$t_{m\acute{i}n}$ = temperatura mínima do dia.

O modelo (5) é considerado como padrão de comparação para os demais.

A temperatura média mensal é a média aritmética dos valores médios diários; a média mensal das máximas é a média aritmética dos valores diários de temperatura máxima; e a média mensal das mínimas é a média aritmética dos valores diários de temperatura mínima.

A temperatura média anual é a média aritmética dos valores médios mensais; a média anual das máximas é a média aritmética dos valores médios mensais da temperatura mínima.

Quando existe necessidade de registro contínuo de temperatura, recorre-se ao termograma.

4.3.2. Medidas da temperatura no projeto

No projeto, foi determinada a temperatura de cada parcela das duas unidades experimentais, a 5 cm e a 10 cm de profundidade. As diferenças na variação diária de temperatura em cada parcela são influenciadas pela condutibilidade térmica do solo e, conseqüentemente, pela infiltração e pelo armazenamento de água aí ocorrente. Também foram medidas a temperatura da superfície de cada parcela e a temperatura do ar a 1,5 m acima da superfície do solo, nas duas unidades experimentais.

REFERÊNCIAS

ESCRITÓRIO DE METEOROLOGIA. Manual de montagem de estações meteorológicas. **Boletim Técnico**, Rio de Janeiro, v. 4, 28 p. 1966.

ESCRITÓRIO DE METEOROLOGIA. **Precipitações**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 18 p.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, New Jersey: Laboratory of Climatology, 1955. 104 p.

PRUITT, W. O.; ANGUS, D. E. Large weighing lysimeter for measuring evapotranspiration. **Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.**, v.3, n.2, p.13-18, 1960.

Capítulo V

ESCOAMENTO SUPERFICIAL, EROSÃO E CONTAMINAÇÃO DO SOLO

Afranio Almir Righes

righes@unifra.br

Rodrigo Ferreira da Silva

rofesil@bol.com.br

5.1 INTRODUÇÃO

A inobservância da legislação referente à ocupação e ao uso do solo tem contribuído negativamente para o aumento do volume de água que escoam pela superfície. O escoamento da água na superfície do solo é a parte do ciclo hidrológico não desejável, com todas as consequências decorrentes dos desequilíbrios ambientais.

Nas zonas rurais, constatam-se grandes volumes de água no escoamento superficial, mesmo em sistemas de cultivo em plantio direto. As consequências são a erosão do solo, a contaminação da água por produtos químicos ou orgânicos, o que afeta o desenvolvimento de plantas e contribui negativamente para a poluição ambiental. Os processos erosivos são responsáveis pela redução da produtividade agrícola e contribuem para o assoreamento de rios, levando consigo adubos, matéria orgânica e agroquímicos que podem contaminar as águas de drenagem e de abastecimento humano e causarem problemas não somente ambientais, mas também de saúde pública.

Em zonas urbanas, não diferentemente do que está ocorrendo nas zonas rurais, o escoamento superficial é ainda mais rápido. As edificações no espaço urbano associadas à impermeabilização com asfalto das vias de acesso, bem como a substituição de jardins e gramados por pisos impermeáveis têm sido os principais fatores que contribuem para o aumento do escoamento superficial. Segundo o relatório da ONU, entre 1991 e 2000, o número de pessoas no mundo afetadas por desastres “naturais”, como inundações, deslizamentos, tufões, passaram de 147 milhões anuais para 219 milhões. Mais de 665 mil pessoas morreram nesta década, em 2.257 desastres, 90% dos quais relacionados a água. As perdas, que foram de US\$ 30 bilhões em 1990, chegaram a US\$ 70 bilhões em 1999.

O estudo e conhecimento do escoamento superficial, da erosão e da contaminação do solo são fundamentais para não degradá-lo. Esse conhecimento deve ser compartilhado e socializado pelos programas de educação ambiental para que esse recurso se mantenha ao longo das gerações. Nesta seção, serão abordados assuntos referentes à infiltração de água no solo, ao escoamento superficial, à erosão hídrica e à contaminação do solo.

5.2 ESCOAMENTO SUPERFICIAL E FATORES QUE INTERFEREM NA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

O escoamento superficial é a fase que trata da ocorrência e do fluxo de água na superfície terrestre, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento. Os escoamentos são, em geral, classificados em: superficial, que representa

o fluxo sobre a superfície do solo e pelos seus múltiplos canais; subsuperficial, que ocorre junto às raízes da cobertura vegetal, e subterrâneo, que é o fluxo devido à contribuição do aquífero. Em geral, os escoamentos superficiais e subterrâneos correspondem à maior parte do total, ficando o escoamento subsuperficial contabilizado no superficial ou no subterrâneo. Para que os escoamentos superficiais sejam analisados individualmente, é necessário separar no hidrograma unitário a parcela que corresponde a cada tipo de fluxo. A infiltração é o fluxo vertical da água no solo, sendo expressa em altura de lâmina de água por unidade de tempo (mm h^{-1}). Vários fatores interferem no processo de infiltração de água no solo.

5.2.1 Características do solo

As características do solo incluem textura, estrutura, porosidade, forma e continuidade dos poros, estabilidade dos agregados (agentes cimentantes), camadas que diferem em textura e estrutura.

A **textura** do solo refere-se à proporção relativa em que se encontram os diferentes tamanhos de partículas de areia, silte ou argila na sua composição. É a propriedade física do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo. Dependendo da proporção desses materiais, a textura pode influenciar não só na taxa de infiltração de água, no armazenamento da água no solo, na aeração, na facilidade de mecanização e distribuição de determinados nutrientes (fertilidade do solo), como também na aderência ou força de coesão nas partículas do solo. Na natureza, a distribuição percentual das partículas de areia silte e argila varia muito em um solo. Os solos de textura arenosa, em geral, têm maiores valores de taxa de infiltração de água, segui-

dos dos francos e, finalmente, dos argilosos. Entretanto, essa característica nem sempre é verdadeira, porque a taxa de infiltração de água depende mais da estrutura do solo do que da textura. Solos argilosos, bem estruturados, podem apresentar taxas de infiltração de água mais elevadas do que em solos de textura arenosa. Em muitos solos no Brasil, por exemplo, existe uma camada superficial que é arenosa e uma subsuperficial argilosa e muitas vezes compactada, o que resulta em uma diferença quanto à porosidade. Assim, a água acaba por penetrar com mais facilidade na parte de cima e mais lentamente na camada inferior. Isso pode facilitar a erosão, dependendo do relevo e da cobertura vegetal, ou pode mesmo prejudicar o desenvolvimento das raízes das plantas.

A **estrutura** do solo refere-se à disposição geométrica das partículas primárias e secundárias. As primárias são isoladas e as secundárias são um conjunto de primárias dentro de um agregado formado por agentes cimentantes, formando unidades estruturais. O ferro, a sílica e a matéria orgânica são os principais agentes cimentantes. A estrutura é um dos parâmetros de solo mais importantes para explicar o fluxo saturado de água no solo. Solos bem estruturados apresentam maiores valores de macroporos, facilitando a infiltração e o movimento da água. Camadas de solo com estrutura degradada pelo tipo de manejo usado na exploração agrícola ou pecuária reduzem o fluxo saturado de água no solo.

A **porosidade** do solo é o volume de espaço poroso que, em condições naturais, representa o volume de água e de ar. Em termos percentuais, um solo normal ideal deveria ter, aproximadamente, 50% de sólidos e 50% de poros. Nessa porosidade, 25% seria ocupada pela água e

os outros 25% pelo ar. Em geral, o espaço poroso ocupado pelo ar representa a percentagem de macroporos por onde ocorre o fluxo saturado da água, ou seja, a drenagem. Os solos arenosos retêm pouca água, porque apresentam menor volume de espaço poroso. Os solos de textura argilosa absorvem, relativamente, maiores quantidades de água devido à grande percentagem de poros pequenos que retêm mais água contra a força da gravidade. Apesar de os solos argilosos possuírem maior capacidade de retenção de água que os solos arenosos, esse volume não está totalmente disponível para as plantas, porque a força de retenção é maior. Assim, existe mais água, mas não está facilmente disponível. A intensa mobilização do solo pelas máquinas agrícolas como arados e grades, principalmente nas regiões tropicais, associada aos processos de compactação e adensamento, tem reduzido drasticamente a macroporosidade dos solos e, conseqüentemente, a taxa de infiltração de água.

A **forma dos poros** e, principalmente, a **continuidade** são fatores que interferem no fluxo de água no solo. Poros com diâmetros variáveis em função da profundidade podem limitar o processo de ascensão capilar de água de camadas mais profundas para a superfície do solo. Esse processo denomina-se capilaridade. Poros descontínuos podem limitar o fluxo saturado de água no perfil do solo, contribuindo para o aumento do escoamento superficial.

Estabilidade dos agregados do solo depende basicamente de agentes cimentantes orgânicos e inorgânicos. A decomposição aeróbica da palha e dos resíduos vegetais tem como resíduo um produto orgânico com alta capacidade de agregação das partículas do solo. Inicialmente, a palha dos cultivos anteriores sofre a ação das

bactérias celulolíticas (do Grupo *Cytophaga*) que, após o processo de decomposição aeróbica, produzem ácidos poliurônidos de cadeia longa, que aumentam a estabilidade dos agregados em água. Óxidos de ferro e alumínio são agentes cimentantes inorgânicos que aumentam a estabilidade dos agregados do solo à ação da água. Normalmente, estão presentes em solos argilosos e mais intemperizados.

Camadas que diferem em textura ou estrutura afetam o fluxo de água no solo. O intensivo cultivo do solo pelo sistema convencional (aração e duas gradagens), principalmente em zonas tropicais com elevadas temperaturas e conteúdo de água no solo, tem como resultado a degradação da estrutura pelo processo de compactação e redução do tamanho dos agregados. O processo de deformação permanente do solo é causado pela pressão das máquinas (compactação), associada à translocação de partículas coloidais da camada superficial, mobilizada para camadas logo abaixo da camada arada (adensamento), dando origem ao “pé de arado”. Quando a macroporosidade dessa camada é reduzida, a água não infiltra no solo e escoar pela superfície, causando erosão hídrica, com transporte de nutrientes, de matéria orgânica e de pesticidas contaminando os recursos hídricos superficiais (RIGHES, 2002).

5.2.2 Tipo de cobertura do solo

De acordo com Duley (1939), solos descobertos apresentam reduções na taxa de infiltração de até 85% em relação aos protegidos com palha. A cobertura do solo evita o impacto direto das gotas de chuva, que podem causar a desagregação da estrutura, liberando

partículas de silte e argila. Essas partículas, com a fração areia, reorganizam-se e formam o que se denomina de crosta. Silva e Kato (1998), analisando os solos do cerrado, encontraram taxa de infiltração básica de 61,3 mm h⁻¹ sem cobertura morta e valores de 76,3 mm.h⁻¹ com cobertura morta. Na tabela 5.1, pode-se constatar o efeito da cobertura do solo na taxa de infiltração básica de água no solo.

Tabela 5.1 - Tipo de cobertura do solo e a taxa de infiltração básica de água no solo.

Cobertura do solo	Taxa de infiltração básica (mm h ⁻¹)
Sem cobertura	27,5
Vegetação espontânea	47,6
Mucuna	45,7
Milho	32,5

Fonte: Silva et al (1986).

5.2.3 Tipo de manejo e selamento do solo

Trabalhando com Latossolo Vermelho-Amarelo de cerrado, solo sob sistema de cultivo tradicional, plantio direto e cerrado virgem, com nove repetições sob chuvas simuladas de energia cinética média de 29 t ha⁻¹ mm⁻¹ e tempos de ação das chuvas de zero, 2, 5, 10 e 20 minutos, (SILVA; KATO, 1997) verificaram que a resistência dos agregados à erosão e à consequente dificuldade de formação de selamento superficial é muito maior na área de cerrado virgem do que nas áreas cultivadas. Posteriormente, determinaram-se os valores da condutividade hidráulica para cada condição de manejo, tempo de ação de cada chuva, conforme estão apresentados na tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Valores médios das principais características físicas e hídricas do solo do cerrado, relacionadas à infiltração.

Tipo de cobertura	Densidade do solo	Porosidade (% vol)			Condutividade hidráulica (mm h ⁻¹)
		Total	Micro	Macro	
Cerrado virgem	0,66	69	30	39	27,7
Plantio direto	0,92	60	49	20	1,3
Manejo convencional	0,84	63	39	24	8,2

Fonte: Silva e Kato (1997).

5.3 MÉTODOS PARA DETERMINAR A TAXA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Ao considerar a importância da infiltração de água no solo, serão apresentados a seguir os principais métodos para a determinação desse parâmetro.

5.3.1 Método de MUNTZ (anéis concêntricos)

O método de MUNTZ é o mais simples para determinar a taxa de infiltração de água no solo, pois usa materiais comuns, facilmente disponíveis e de baixo custo (Figura 5.1).

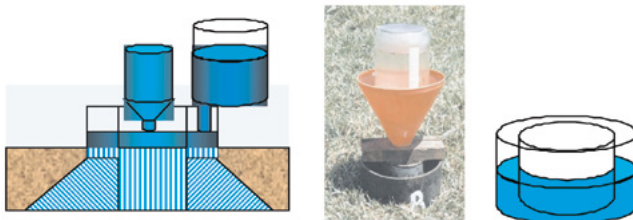


Figura 5.1 - Esquema de instalação dos anéis concêntricos de Muntz para a determinação da taxa de infiltração de água no solo.

Os materiais necessários são: dois anéis concêntricos, marreta e caibro de madeira para cravar o anel, relógio com cronômetro, dois baldes, nível de bolha, pedaço de plástico de 60 cm x 60 cm, recipiente para medição de volume, planilha para registro dos dados.

Os procedimentos consistem em:

a) Cravar o anel de maior diâmetro em primeiro lugar, até metade de sua altura.

b) Apoiar sobre o anel o caibro de madeira e, com a marreta, dar golpes suaves no centro do caibro para que o anel penetre no solo. A posição do caibro deve ser constantemente trocada (giros de 45°).

c) Colocar o nível de pedreiro sobre o caibro em alguns momentos durante essa operação, para garantir que o anel não fique inclinado enquanto é cravado no solo.

d) Cravar o anel de menor diâmetro, usando o mesmo procedimento, de modo que os dois anéis fiquem concêntricos. Cobrir o anel interno com o plástico e monitorar o volume de água colocado em seu interior.

e) Colocar água no anel externo até que se forme, em seu interior, uma lâmina equivalente a do anel interno. Nesse momento, retirar rapidamente o plástico e fazer a leitura do volume de água no recipiente (garrafão), que manterá o nível de água constante. Esse será o tempo zero de leitura, no qual deverá ser acionado o cronômetro.

f) Em intervalo de tempo preestabelecido, fazer a leitura do volume de água consumido no anel interno. Manter a mesma altura da lâmina de água nos dois anéis.

g) Por ocasião das leituras, deve-se observar a variação do volume de água no anel interno entre duas leituras consecutivas.

h) Antes de secar o recipiente, deve-se substituí-lo por outro, anotando o volume de água consumido da planilha de anotações.

Para calcular a taxa de infiltração de água no solo (h em h^{-1}) a partir do volume (V) em cm^3 de água aplicado no anel central em função do tempo, usa-se a equação 5.1.

$$V = A.h \quad \text{logo} \quad h = \frac{V}{A}, \quad [5.1]$$

sendo: A = área do anel central em cm^2 ($\pi.r^2$).

Exemplo: Calcular a taxa de infiltração de água no solo a partir dos seguintes dados:

Diâmetro do anel central 20 cm (raio = 10 cm);
Volume de água aplicado $V = 1000 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1}$.

$$A = \pi.r^2 \quad A = 3.1416 \times 10^2 \text{ cm}^2, \quad A = 314,16 \text{ cm}^2$$

$$h = \frac{V}{A} = \frac{1000 \text{ cm h}^{-1}}{314,16 \text{ cm}^2} = 3,18 \text{ cm h}^{-1} = 31,8 \text{ mm h}^{-1}$$

$$\text{Taxa de infiltração} = 31,8 \text{ mm h}^{-1}.$$

No início do processo, a taxa de infiltração de água no solo é alta; com o passar do tempo, vai diminuindo até praticamente estabilizar (KLUTE, 1986). Quando o volume infiltrado permanece constante em função do tempo, tem-se o valor da T_{ib} , taxa de infiltração básica (Figura 5.2).

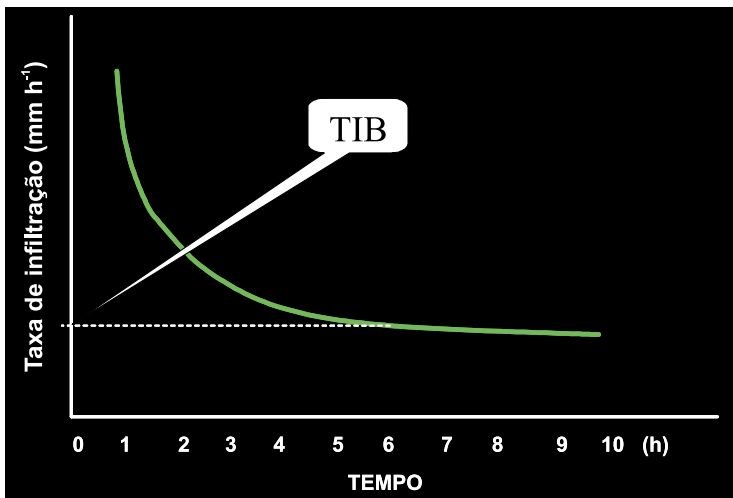


Figura 5.2 - Curva de infiltração de água no solo com indicação da taxa de infiltração básica.

5.3.2 Método dos simuladores de chuva

Os simuladores de chuva são equipamentos que aplicam água por aspersão com uma intensidade superior à capacidade de infiltração de água do solo (BRANDÃO et al., 2003). A área de aplicação da água é delimitada por placas metálicas, sendo a taxa de infiltração calculada pela diferença entre a intensidade de precipitação e a taxa de escoamento superficial resultante (PRUSKI et al., 1997). Esses valores podem ser obtidos nas parcelas demonstrativas instaladas nas Escolas Municipais de Ensino Fundamental de Santa Flora (zona rural) e na Escola João Pedro Menna Barreto (zona urbana), conforme metodologia descrita no projeto CT-Hidro "Tecnologias para a sustentabilidade da água em zonas rurais e urbanas em Santa Maria-RS", aprovado pelo CNPq (Figuras 5.3 e 5.4).

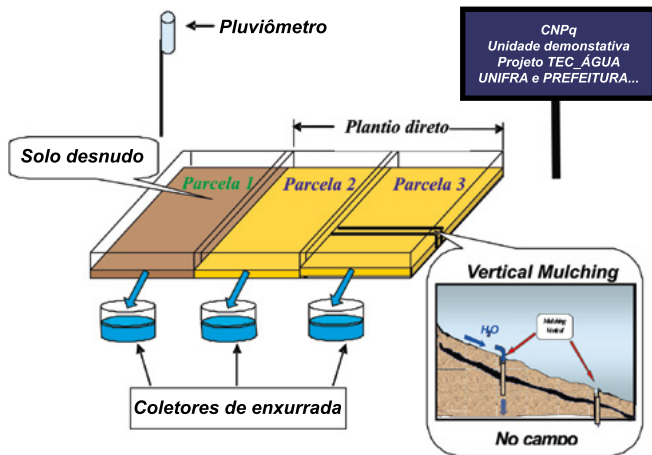


Figura 5.3 - Parcelas demonstrativas com técnicas que aumentam a infiltração de água no solo instalados na Escola Municipal de Ensino Fundamental de Santa Flora (zona rural).

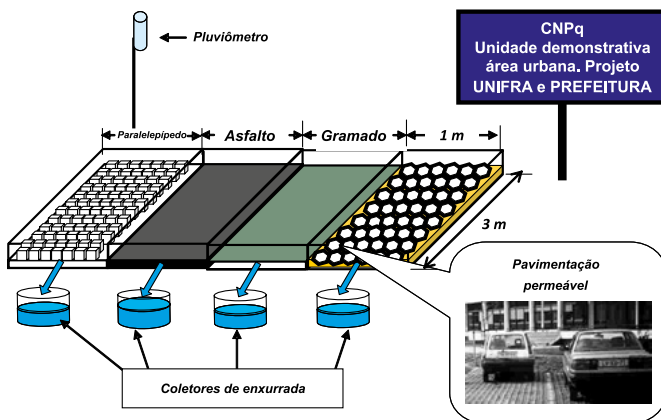


Figura 5.4 - Parcelas demonstrativas com técnicas que aumentam a infiltração de água no solo instalados na Escola Municipal de Ensino Fundamental João Pedro Menna Barreto (zona urbana).

Se forem utilizadas parcelas demonstrativas, pode-se obter a taxa de infiltração básica de água no solo com o tipo de cobertura ou manejo utilizado, desde que sejam simuladas sobre elas chuvas com intensidades superiores à taxa de infiltração básica de água no solo. Quando estabilizar o escoamento superficial para as caixas coletoras, continua-se a simulação por mais três ou quatro intervalos de tempo como repetições. Determina-se o volume de água coletado por escoamento superficial na caixa coletora por um determinado tempo e expressa-se esse volume em altura de lâmina de água na área da parcela por unidade de tempo.

É importante observar que 1 mm de chuva (lâmina de água) em 1m² de área corresponde a 1 Litro. Exemplo:

Intensidade da chuva simulada = 80 mm h⁻¹.

Área da parcela = 3 m².

Volume aplicado na parcela = 80 mm h⁻¹ x 3 m² = 240 L h⁻¹.

Volume escoado em 1 hora = 180 L h⁻¹.

Volume infiltrado em 3m² = 240 L h⁻¹ - 180 L h⁻¹ = 60 L h⁻¹.

Volume em 1m² = 60 L h⁻¹ / 3m² = 20 L m⁻² h⁻¹ = 20 mm h⁻¹.

Taxa de infiltração básica (Tib) = 20 mm h⁻¹.

5.4 ARMAZENAMENTO DA ÁGUA NO SOLO

O conhecimento do volume de água armazenada no solo em função da profundidade é um dos parâmetros de grande importância agrônômica. Nem toda a água da chuva é armazenada no solo. Se a taxa de infiltração (mm h⁻¹) é menor do que a intensidade da precipitação (mm h⁻¹), ocorrerá o escoamento superficial, indesejável no ciclo hidrológico, o que poderá provocar erosão, transporte de sedimentos e poluentes e, principalmente, enchentes. Do volume de água infiltrada, parte flui pelos poros grandes, atingindo o nível freático (fluxo saturado) e parte fica retida nos poros

pequenos (microporos). Esses não são drenados pela ação da gravidade, e essa água é armazenada no solo. A retirada de água dos microporos somente ocorre pela ação das raízes das plantas ou pelo processo de evaporação na superfície do solo. Obviamente, como o armazenamento depende do tamanho dos poros, cada tipo de solo tem características próprias em relação ao armazenamento de água no solo. Para determinar o armazenamento, é necessário conhecer alguns parâmetros físicos do solo, tais como: densidade do solo (D_s), densidade de partículas (D_p), porosidade total (P_t), capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP).

A **densidade do solo** (D_s) é calculada por:

$$D_s = \frac{M_s}{V_t} \quad , \quad [5.2]$$

sendo:

M_s = massa de solo seco (105°C);

V_t = volume total do solo.

A **densidade de partículas** (D_p) é calculada por:

$$D_p = \frac{M_s}{V_p} \quad , \quad [5.3]$$

sendo:

M_s = massa seca do solo (105°C);

V_p = volume das partículas do solo.

A **porosidade total** (P_t) é calculada por:

$$P_t = 100 - \frac{(100 \times D_s)}{D_p} \quad , \quad [5.4]$$

A **porosidade total** (P_t) é a percentagem de espaço vazio de um solo em relação ao volume total. Nessa fração, estão incluídos os macroporos e os microporos. São considerados macroporos a percentagem volumétrica de poros que ficam livres de água, quando submetidos a uma tensão equivalente a 0,60 m de coluna de água.

A **capacidade de Campo** (CC) é o limite superior de água no solo. É a percentagem máxima de água que um solo pode reter após a saturação e o excesso de água ser drenada. A determinação pode ser realizada a campo e em laboratório. Na determinação a campo, utiliza-se um quadro de madeira ou ferro de, aproximadamente, 1,5 m x 1,5 m com 0,20 cm de altura, o qual é cravado 0,05 m na superfície do solo (Figura 5.5a, 5.5b e 5.5c).

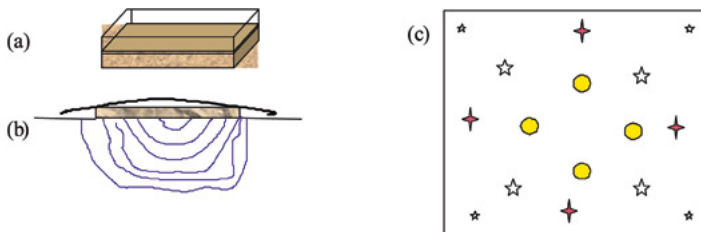


Figura 5.5 - Esquema para a determinação da capacidade de campo a campo com (a) quadro para delimitar a área no solo, (b) corte vertical com linhas do avanço da água no solo e (c) locais de coleta de solo para determinação do conteúdo de água em função do tempo.

Coloca-se dentro do quadro um volume de água para saturar completamente o solo. Cobre-se o quadro com um plástico para evitar a evaporação. É conveniente colocar sobre o plástico uma folha de isopor ou outro material que reduza o aquecimento. Após a infiltração de toda a água

aplicada, determina-se, em intervalos de tempos conhecidos (inicialmente seis horas), o conteúdo de água nas profundidades desejadas com quatro repetições até estabilizar os valores, iniciando pelas extremidades (Figura 5.5 c).

Para a determinação da Capacidade de Campo plotam-se os valores do conteúdo de água em função do tempo, conforme figura 5.6. Quando a variabilidade entre os valores for mínima (aproximadamente constantes), tem-se o valor da capacidade de campo do solo (por exemplo: CC = 20%).

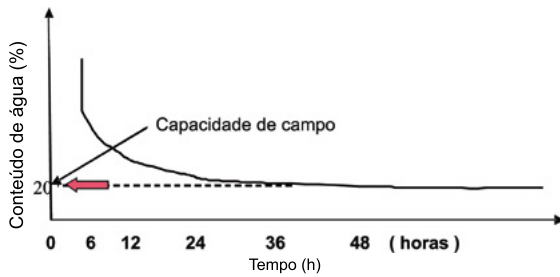


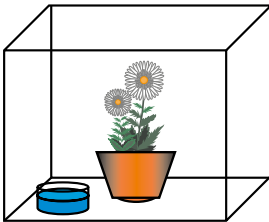
Figura 5.6 - Determinação da capacidade de campo na profundidade de 0,20m.

O **ponto de murcha permanente** (PMP), por sua vez, é o limite inferior de disponibilidade de água no solo para as plantas. Representa a percentagem de água no solo quando as plantas não conseguem mais extrair água e apresentam murchamento permanente.

Determinação: cultiva-se a planta a ser utilizada em um vaso. Quando esta estiver em pleno desenvolvimento, suspende-se a irrigação, deixando-a atingir o estado de murchamento. Nessa condição, coloca-se a planta em um ambiente fechado, porém transparente com 100% de umidade relativa no ar (Figura 5.7). Se a planta voltar ao normal, o conteúdo de água no solo ainda não está em ponto de murcha permanente. Coloca-se o vaso fora do ambiente

protegido e deixa-se perder água até murchar novamente. Repete-se o processo até que a planta não se recupere mais. Quando isso acontecer, determina-se o conteúdo gravimétrico de água no solo. Esse valor corresponde ao ponto de murcha permanente desse solo.

$$U_g = \frac{(M_u - M_s)}{(M_s)} \cdot 100, \quad [5.5]$$



sendo:

U_g = Conteúdo gravimétrico de água no solo do vaso;

M_u = Massa de solo úmido;

M_s = Massa de solo seco;

$U_g = 9\% \Rightarrow \text{PMp} = 9\%$.

Figura 5.7 - Ambiente controlado para determinação do ponto de murcha permanente.

O armazenamento máximo de água no solo é equivalente à disponibilidade máxima de água para as plantas. (D_m) Esse valor é calculado pela diferença entre os valores da capacidade de campo (CC) e do ponto de murcha permanente (PMp).

$$D_{(m)} = CC - \text{PMp} \quad [5.6]$$

Exemplo:

CC = 20 % e PMp = 9%.

Densidade do solo = 1.2.

$D_m = 20 - 9 = 11$ (% em massa) significa que, em 100g de solo, tem-se 11g de água disponível.

Para expressar os valores em % volumétrica, multiplica-se pela densidade do solo.

Exemplo: $D_m (\%vol) = 11\% \times D_s = 11 \times 1.2 = 13.2\%$ em volume (significa que, em 100cm^3 de solo, tem $13,2 \text{ cm}^3$ de água).

Na tabela 5.3, são apresentadas as propriedades de diferentes texturas de solos.

Tabela 5.3: Propriedades usuais de diferentes texturas de solos como taxa de infiltração básica (Tib), porosidade total (Pt), densidade do solo (Ds), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMp) e disponibilidade máxima de água.

TEXTURAS	Tib	Pt	Ds	CC	PMp	Disponibilidade máxima de água.		
	cm h ⁻¹	% Vol	g cm ⁻³	%	%	% massa	% Vol	cm cm ⁻¹
Arenoso	5	38	1,65	9	4	5	8	8
F. Arenoso	2,5	43	1,50	14	6	8	12	12
Franco	1,3	47	1,40	22	10	12	17	17
F. Argiloso	0,8	49	1,35	27	13	14	19	19
Arg. Arenoso	2,25	51	1,30	31	15	16	21	21
Argiloso	0,05	53	1,25	35	17	18	23	23

Fonte: Israelsen e Hansen (1965).

Ao se analisarem os dados apresentados na tabela 5.3, pode-se constatar que os maiores valores de infiltração de água ocorrem em solos de textura arenosa e os menores, em solos argilosos. Nota-se que nem sempre a porosidade total tem relação direta com a infiltração; depende muito mais do tamanho dos poros. Esse parâmetro está relacionado à estrutura do solo. Portanto, o intenso processo de mobilização do solo altera significativamente a sua estrutura, reduz a macroporosidade, aumenta o escoamento superficial, provocando, conseqüentemente, a erosão do solo.

5.5 EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO

A erosão do solo é considerada um processo físico, que envolve a desagregação, o transporte e a deposição de partículas do solo pela ação dos agentes de erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985). Os agentes do processo erosivo mais importantes são a água e o vento. A erosão hídrica é mais evidente em regiões de alta precipitação pluviométrica, em áreas com solo exposto sem cobertura vegetal, sendo mais intensa nos locais com declividade acentuada. A erosão pelo vento é mais comum nas regiões áridas e semiáridas, em áreas planas e descobertas.

A erosão pode ocorrer por dois processos: erosão geológica, que ocorre lentamente, sem a interferência do homem, e erosão acelerada, resultante das alterações causadas pelo homem nas condições naturais da superfície do solo.

5.5.1 Fases da erosão hídrica

A fase de **desagregação** das partículas do solo ocorre pela energia cinética contida nas gotas de chuva e pelo escoamento superficial. Quando a gota de chuva atinge a superfície do solo, a energia dessa gota rompe os agregados do solo, separando as frações areia, silte e argila, lançando-as em todas as direções. Esse processo denomina-se erosão por salpicamento. Quanto maior o tamanho das gotas, maior será a energia cinética ($E_c = m \cdot g \cdot h$), incrementando o processo erosivo do solo.

O **transporte** é o movimento das partículas de solo sobre a superfície do solo. Na erosão por salpicamento, esta fase ocorre quase simultaneamente com a desagregação. As partículas desagregadas pelo salpicamento poderão cair em local onde não mais se moverão, ficar expostas ao novo impacto das gotas da chuva ou cair diretamente sobre o

escoamento superficial, que poderá transportar as partículas a longas distâncias antes que sejam depositadas.

A **deposição** é o fim da fase de transporte e ocorre quando a energia erosiva do agente físico tende ao estado mínimo. A ocorrência de obstáculos pode mudar a direção do fluxo, dividir o seu volume e a velocidade. A deposição das partículas é seletiva por tamanho: primeiro se depositam as partículas com maior massa (areia), posteriormente as partículas de massa intermediária (silte) e, por último, as partículas coloidais, como a argila e matéria orgânica.

5.5.2 Formas de erosão hídrica

A erosão hídrica pode ocorrer pelas seguintes formas: laminar, em sulcos e em voçorocas.

O impacto das gotas de chuva é o agente mais importante nas áreas de **erosão laminar**. A pressão e o cisalhamento provocado pelo impacto das gotas podem desagregar grandes quantidades de solo e carregá-lo a uma curta distância (erosão por salpicamento). Outro aspecto importante é a fina lâmina de água que escoar na superfície do solo, carreando as partículas desagregadas pelo impacto das gotas (Figura 5.8 a).



(a)

(b)

(c)

Figura 5.8 - Erosão laminar (a), erosão em sulco (b) e erosão em voçoroca (c).

A **erosão em sulcos** ocorre pela concentração do fluxo na superfície do solo, a qual, pela energia cinética do fluxo, desagrega o solo e transporta suas partículas (Figura 5.8 b). Essa desagregação não é uniforme ao longo do sulco e depende do volume do fluxo, da sua velocidade (consequência da declividade), da resistência do solo e da presença de plantas ou de seus resíduos no local. A energia cinética do fluxo concentrado atua no início da formação do sulco, formando um pequeno canal que, conforme o aprofundamento, os taludes do sulco perdem a estabilidade e desmoronam. Esse processo se repete continuamente dando origem a sulcos cada vez maiores.

A **erosão em voçorocas**, por sua vez, pode ser entendida como uma erosão em sulcos de maiores proporções (Figura 5.8 c). Normalmente, ocorrem em áreas com declividade e solos com baixa coesão das partículas. Inicia-se como uma erosão em sulco, conforme o processo já referido no item anterior, transformando-se em voçoroca. Essa voçoroca pode dar origem a uma sanga, arroio ou mesmo um rio, passando a fazer parte da rede de drenagem da bacia hidrográfica. A origem da erosão por voçoroca pode ser natural ou pelo aprofundamento e alargamento dos sulcos provocados pela exploração agrícola ou pecuária e nos canais escoadouros sem proteção adequada.

Outro processo de formação de voçorocas ocorre quando as águas infiltram no perfil do solo e encontram uma camada de solo argiloso impermeável, por exemplo, um horizonte B textural. Nesse caso, a água não infiltra e desloca-se lateralmente sobre essa camada, forma um túnel subterrâneo (*piping erosion*) que aflora na encosta, transformando-se em sulco que aumenta gradativamente. Se o solo sobre o túnel perder sua autossustentação e

desbarrancar para dentro do túnel, poderá haver o surgimento repentino de uma voçoroca.

5.5.3 Fatores que afetam a erosão hídrica

Os fatores que afetam a erosão hídrica são: chuva, topografia, vegetação, uso do solo e práticas de conservação (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

Com relação ao primeiro fator, o efeito da **chuva** na erosão hídrica depende da energia cinética, a qual é função da massa das gotas de água, velocidade terminal e intensidade. O tamanho da gota influencia diretamente na intensidade da chuva; pode ser extremamente pequena ou atingir de 6 a 7 mm de diâmetro. Normalmente, o diâmetro médio das gotas de chuva está entre 3,00 a 3,25 mm.

A velocidade de queda das gotas é determinada pela ação da gravidade, é maior com o aumento de seu diâmetro e diminui com a resistência do ar. Quanto menor o diâmetro médio das gotas, maior será a resistência ao ar. O vento pode aumentar ou diminuir a velocidade de queda das gotas de chuva devido às forças vetoriais do vento (por exemplo, vento ascendente ou vento lateral). A ação da gravidade é uniforme para todos os tamanhos de gotas.

Intensidade da chuva é a quantidade (volume) de chuva, expressa em altura de lâmina de água que cai por unidade de tempo. A intensidade da chuva está diretamente relacionada ao volume de água, à velocidade das gotas e à energia cinética, que, atuando diretamente na desagregação do solo, causam erosão.

Frequência de ocorrência de chuvas é o intervalo de tempo entre duas chuvas consecutivas. Se esse intervalo for pequeno, o conteúdo de água no solo permanecerá elevado, e o escoamento superficial será maior, aumentando a

erosão do solo. Em intervalos maiores, o conteúdo de água no solo é menor, aumenta a infiltração e reduzir o escoamento superficial.

Outros fatores relacionados à chuva podem contribuir para a erosão do solo: quantidade total, intensidade em mm h^{-1} (quando exceder a taxa de infiltração básica de água no solo, ocorrerá escoamento superficial) e distribuição sazonal (chuvas concentradas em determinada estação do ano podem aumentar os problemas de erosão).

No fator solo, as propriedades físicas, químicas e biológicas de um solo, segundo Brady (1989), determinam sua resistência a uma determinada energia cinética sobre sua superfície. Essas propriedades afetam a infiltração da água no solo, a desagregação e o transporte de partículas.

As propriedades que afetam a infiltração de água no solo são a estrutura, a textura e o conteúdo de água no momento da chuva. A textura afeta o tipo de estrutura do solo, influenciando na infiltração. Na estrutura, o mais importante é o tamanho de poros (poros grandes – macroporos), pois esses são responsáveis pelo fluxo saturado, dando origem ao processo de percolação de água no perfil do solo.

As propriedades que afetam a resistência dos agregados do solo ao impacto da gota de chuva (desagregação do solo) é o conteúdo de água no solo, teores de óxidos de ferro e alumínio e a percentagem de matéria orgânica. Solos com conteúdos médios de água são mais resistentes à desagregação, quando comparados a solos secos ou muito úmidos. Os óxidos de ferro e alumínio e a matéria orgânica funcionam como agentes cimentantes, contribuindo diretamente na resistência à desagregação.

O tamanho das partículas do solo influencia a velocidade de sedimentação, que é proporcional ao quadrado de seu diâmetro. Portanto, quanto menor o diâmetro da partícula, mais tempo levará para sedimentar, influenciando no processo erosivo.

No fator **topografia**, o relevo exerce influência sobre a erosão do solo, em função do grau, comprimento e regularidade do declive. Com relação ao grau do declive, observa-se que, quanto maior o declive de um terreno, menor serão as resistências oferecidas ao livre escoamento da água; assim, menor será o tempo disponível para a infiltração da água no solo e, por conseguinte, maior será o escoamento superficial. É importante destacar que, quando o declive é quatro vezes maior (por exemplo, passa de 2% para 8%), a velocidade da enxurrada duplica. Quando a enxurrada duplicar, a sua capacidade erosiva é multiplicada por quatro. Com o aumento do comprimento do declive, maior será a quantidade de água perdida, pois aumenta o volume à medida que escoar na superfície do solo. A velocidade aumenta e, conseqüentemente, a sua capacidade de transporte de partículas do solo.

A forma dos declives é outro fator importante. Em declives convexos, pode-se esperar maior erosão no terço inferior do declive, pois, nessa posição, a água terá maior volume e velocidade. O declive côncavo terá maior taxa de erosão no terço inicial, onde a declividade é maior, o que proporcionará maior velocidade para a água. Com relação ao microrelevo, observa-se que, quanto mais rugosa for a superfície do solo, menores serão a enxurrada e a erosão. As depressões e elevações da superfície do solo reduzem a velocidade do escoamento superficial e, portanto, diminuem a capacidade de transportar partículas, aumentando o tempo para a infiltração de água.

Com relação ao **fator uso e manejo do solo**, considera-se que manejos que mantêm permanentemente a cobertura do solo reduzem a erosão. A planta contribui para a redução da erosão sob três formas: proteção proporcionada pela copa, proteção da superfície do solo e proteção do interior do solo pelas suas raízes. O uso ou manejo do solo que proporciona o incremento na porcentagem de matéria orgânica contribui positivamente para redução da erosão do solo. Essa redução deve-se à atividade biológica que contribui para a estabilidade dos agregados com maior permeabilidade do solo.

5.6 CONTAMINAÇÃO DO SOLO

Solo contaminado é aquele que apresenta concentrações de determinados elementos químicos acima das encontradas em condições naturais, enquanto solo poluído é aquele que apresenta concentrações de determinados contaminantes que afetam os componentes bióticos do ecossistema, comprometendo a sua funcionalidade (FELLEMBERG, 1980). Os contaminantes do solo podem ser divididos em contaminantes inorgânicos e orgânicos.

5.6.1 Contaminantes inorgânicos

Os contaminantes inorgânicos mais frequentemente encontrados no solo são os metais pesados e os radionuclídeos. Ocasionalmente, outros elementos minerais, como o sódio, bário, antimônio, nitrogênio e fósforo, podem atingir níveis tóxicos em solos ou em sedimentos. As contaminações com agentes inorgânicos são frequentemente resultantes de ações antrópicas não intencionais ou, em situações mais raras, de origem biogeoquímica resultante da

concentração de metal no material de origem e do grau de intemperização do solo (Tabela 5.4). A classificação existente para metais pesados é baseada na densidade atômica ($> 6 \text{ g.cm}^{-3}$) e, dessa forma, acaba englobando um grupo de metais, semimetais e até não metais (selênio) que, normalmente, causam contaminação, incluindo ainda alguns elementos essenciais aos seres vivos, tais como Cu, Zn, Fe, Mn, Co, Mo e Se (ALLOWAY, 1990).

Tabela 5.4 - Lista dos principais poluentes do solo.

Categoria	Fonte
Nutrientes	Nitrogênio e fósforo em fertilizantes, lodo de esgoto
Pesticidas	Herbicidas, inseticidas, fungicidas
Rejeito perigoso	Combustíveis, solventes, rejeitos industriais
Elemento traço	Metais pesados
Acidificação	Chuva ácida, drenagem ácida de mina
Salinização	Sal para degelo, água de irrigação salina

Fonte: adaptado de Sparks (1995).

Os metais pesados comumente associados com toxidez ou poluição são o Ar, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se e Zn. Rejeitos com altas concentrações de diversos metais são gerados nas indústrias, especialmente na metalúrgica, na indústria coureira, de tintas e pigmentos e de artefatos galvanizados. Os resíduos urbanos, como os composto de lixo e lodo de esgoto e águas residuais, também contêm metais pesados. A maioria desses rejeitos tem, geralmente, como destino final o aterro sanitário ou o solo, no qual sofrem transformações químicas que resultam na biodisponibilização de formas anteriormente imobilizadas de metais presentes nos resíduos. Uma vez liberados para a solução, os metais podem ser lixiviados

para o subsolo, contaminando o lençol freático (McBRIDE, 1994). Podem ainda causar toxidez às plantas e aos organismos do solo ou serem adsorvidos nas argilas e complexados pela matéria orgânica, representando uma fonte poluidora potencial.

As atividades agrícolas também contribuem para o aumento da concentração de metais no solo com o uso de defensivos, aplicação de resíduos orgânicos e inorgânicos, bem como de fertilizantes e corretivos que podem conter elevadas concentrações de metais pesados.

A toxidez de metais pesados no solo depende da sua quantidade e da forma química em que se encontra, podendo ocorrer na forma solúvel, trocável, ocluso ou fixado aos minerais, precipitado com outros compostos, na biomassa ou complexado na matéria orgânica (MEURER, 2000). Conhecer as quantidades totais e formas biodisponíveis do metal no solo é essencial no diagnóstico da contaminação. Por ser a maneira mais fácil e barata de disposição de rejeitos, o solo recebe grandes quantidades desses contaminantes com substâncias químicas potencialmente tóxicas, carcinogênicas ou mutagênicas, como é o caso dos produtos da reciclagem de efluentes e de lodos industriais ou mesmo urbanos (biossólidos).

Os radionuclídeos são contaminantes inorgânicos de grande importância para o solo. São elementos com o núcleo instável que têm forte tendência a decompor, emitindo radiação na forma de raios α , β e γ , formando nova espécie química que é frequentemente também radioativa. Esses nuclídeos possuem longa meia-vida, podendo persistir com alta atividade e, geralmente, com alta biotoxidez por vários anos. Destaca-se o urânio cuja capacidade de emitir radiação ultrapassa o tempo de vida do ser humano.

O uso excessivo de fertilizantes pode atingir concentrações poluidoras do solo ou da água, como verificado em regiões dos EUA e da Inglaterra, que apresentam lençóis freáticos contaminados via solo por nitrogênio, fósforo e metais pesados. Por exemplo, o nitrogênio dos fertilizantes, quando aplicado em quantidade superior ao que a planta pode absorver, poderá ser lixiviado do solo, contaminando as águas subterrâneas (GUILHERME, 1999). Concentrações altas de nitrogênio causam toxidez principalmente ao homem e aos animais. Sedimentos provenientes de solos erodidos, que receberam adubações com altas doses de fósforo, podem causar a eutrofização dos mananciais hídricos com sérias consequências à qualidade das águas.

5.6.2 Contaminantes orgânicos

O número total de compostos orgânicos, potencialmente contaminantes, ainda não é conhecido. Isso é indicativo das dificuldades que podem ser encontradas na abordagem do problema da contaminação do solo com compostos dessa natureza. Dentre os compostos orgânicos contaminantes do solo, o petróleo e seus derivados ocupam lugar de destaque, devido ao grande volume de produção, industrialização, transporte e usos diversos desses produtos na vida moderna (GUILHERME, 1999). Outros compostos xenobióticos, tais como os organoclorados (bifenis policlorados-PCBs, pentaclorofenol-PCP), compostos nitroaromáticos (trinitrotolueno-TNT, dinitrotolueno-DNT) e os pesticidas são também considerados contaminantes ambientais. Esses apresentam potencial de risco à saúde humana e animal, podendo causar toxidez, mutações, além do fato de muitos destes serem também carcinogênicos. Entretanto, o nível de conhecimento disponível ainda não

permite estabelecer concentrações críticas dessas substâncias no solo. No entanto, por serem, em sua maioria, sintéticos (xenobióticos), considera-se que a presença desses elementos, mesmo em pequenas concentrações, já determina contaminações. Deve-se destacar o petróleo, que é natural, mas os produtos da sua destilação não são frequentemente encontrados na natureza. Vários derivados oriundos da destilação do petróleo são usados como matéria-prima na indústria química, sendo transformados em produtos como solventes que, pelo uso generalizado, destacam-se dentre os contaminantes do solo.

A persistência de um contaminante orgânico no solo depende de suas propriedades físico-químicas (solubilidade em água, pressão de vapor, etc.), da sua interação com o solo e de mudanças estruturais as quais determinam sua degradação, bem como da presença de outros compostos orgânicos do solo (STEVENSON; FITCH, 1981).

Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos ou hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (PAHs) são compostos orgânicos, a maioria não voláteis com várias ligações benzeno condensadas, representadas por mais de cem diferentes compostos, como o antraceno e o benzo(a)pireno. Todos os PAHs tendem a ser lipofílicos e são fortemente adsorvidos a superfícies hidrofóbicas. É crescente o interesse nos PAHs por causa dos efeitos mutagênicos e carcinogênicos desses compostos sobre os seres vivos. Embora eles sejam encontrados em concentrações-traço no ambiente, concentração elevada de PAHs tem sido encontrada em solos próximos às refinarias de petróleo e postos de combustíveis.

A classe dos hidrocarbonetos clorados inclui os compostos químicos de maior persistência no solo. A menor degradabilidade desses compostos ocorre principalmente

devido à baixa solubilidade, configuração e tamanho molecular, toxidez e/ou elevada energia química de ligação. Em razão da baixa degradabilidade e do elevado risco ambiental, o uso dos orgânicos halogenados como os pesticidas, tem sido reduzido ou proibido, na indústria, em alguns países. Os hidrocarbonetos clorados mais frequentemente estudados como contaminantes são: PCP (pentaclorofenol), TCE (tricloroetileno) e PCBs (bifenis policlorados), os quais, apesar da elevada toxidez, são degradados por inúmeros microrganismos.

Na década de 40, desde que começaram a ser empregados como insumo agrícola, milhares de xenobióticos registrados como pesticidas têm sido introduzidos no ambiente em taxas que variam de 0,1 a 10 kg ha⁻¹ de ingrediente ativo. Dependendo da taxa de aplicação e biodegradação, o acúmulo de pesticida no solo pode atingir, em certas circunstâncias, 500 kg ha⁻¹, nos quais podem permanecer por décadas, oferecendo grande risco ao meio ambiente e ao homem. Entretanto, para a maioria dos pesticidas e condições normais dos agrossistemas, a biodegradação é suficiente para evitar contaminação do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Quando da fabricação desses pesticidas e em áreas de armazenamento, ou em caso de acidentes, ocorrem contaminações pontuais do solo.

REFERÊNCIAS

- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soil**. New York: John Wiley, 1990. 339 p.
- BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba, São Paulo: Ceres, 1985. 392 p.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878 p.

BRANDÃO, V. S. et al. Perdas de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Engenharia Agrícola**, v. 27 n. 1, p.129-138, 2007.

DULEY, F. L. Surface factor affecting the rate of intake of water by soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** n. 4, p. 60-64, 1939.

FELLEMBERG, G. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. São Paulo: EPU, 1980. 196 p.

GUILHERME, L. R. G. Poluição do solo e qualidade ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. **Anais [CD ROM]**. Brasília, 1999.

ISRAELSEN, O. ; HANSEN, V. **Principios y aplicaciones del riego**. 2 ed. Barcelona: Reverte, 1965. 385 p.

KLUTE, A. **Methods of Soil Analysis**. Part 1, Agronomy Monograph, Series n. 9, 2. ed., Madison: ASA and SSSA, 1986.

McBRIDE, M. D. **Environmental chemistry of soil**. New York: Oxford University, 1994. 406 p.

MEURER, E. J. et al. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Gênese, 2000.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 626 p.

PRUSKI, F. F et al. **Infiltração de água no solo**. S.l.; s.n. 1997. 26 p. (caderno didático).

RIGHES, A. A. Água: sustentabilidade, uso e disponibilidade para irrigação. **Ciência e Ambiente**. Santa Maria-RS, v. 21, n. 1, p. 90-102, 2002.

SILVA, C. L. da; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 213-220, fev. 1997.

SILVA, I. F. et al. Efeito de diferentes coberturas vegetais e de práticas conservacionistas no controle da erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 10, p. 289-292, 1986.

SPARKS, D.L. **Environmental soil chemistry**. New York: Academic Press, 1995. 267 p.

STEVENSON, F. J.; FITCH, A. Reactions with organic matter, In: LONERAGAN, J. F. et al. **Copper in soil and plants**. Sidney: Academic Press, 1981. p. 69-96.

Capítulo VI

TÉCNICAS DE INFILTRAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Rodrigo Ferreira da Silva

rofesil@bol.com.br

Afranio Almir Righes

righes@unifra.br

6.1 INTRODUÇÃO

A ação do homem em áreas da faixa compreendida entre 40° latitude norte e 40° latitude sul, considerada mais suscetíveis à degradação ambiental, tem como consequência a degradação solo, a redução na taxa de infiltração de água e consequente aumento no escoamento superficial, causando inundações em zonas urbanas e enchentes em zonas rurais, com impactos econômicos e incremento de doenças veiculadas pela água.

Nesse contexto, torna-se necessária a capacitação de recursos humanos na área ambiental, capazes de analisar, equacionar e propor alternativas, além de soluções técnicas que tenham como meta minimizar os impactos causados pelas alterações provocadas pelo homem.

Nas zonas rurais, a utilização de técnicas de cultivo e preparo do solo (aração e gradagem) não adequadas às zonas tropicais, teve como consequência a redução da infiltração de água no solo, com impactos negativos na produtividade das

culturas. Para reduzir a deficiência hídrica e a erosão hídrica foram desenvolvidas práticas conservacionistas do solo e da água que contribuem para atingir um novo nível de estabilidade dinâmica do ambiente. Neste capítulo serão discutidas práticas e técnicas de uso, manejo e conservação que contribuem para o aumento da infiltração de água no solo.

6.2 TÉCNICAS PARA AUMENTAR A INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM ZONAS RURAIS

6.2.1 Intercepção da água da chuva

Partindo-se do ciclo hidrológico, percebe-se que o fenômeno de condensação é o responsável pela precipitação pluviométrica, um dos fatores climáticos de grande importância para a disponibilidade de infiltração de água no solo e no processo erosivo. A intensidade, duração e frequência das precipitações interferem no volume e na velocidade do escoamento superficial. Dados de chuva totais, médias mensais e anuais em geral têm pouca significância em relação à erosão e infiltração. Duas regiões com características edáficas semelhantes e com totais de chuvas iguais podem ter resultados de infiltração de água diferentes devido às intensidades.

Parte da precipitação que ocorre em uma região fica retida na vegetação. Essa fração chama-se de interceptado, propriedade da vegetação reter a água da chuva, que pode ser definida como o processo pelo qual a água da chuva é temporariamente retida pelas copas das árvores, sendo subsequentemente redistribuída em: água que chega ao solo; água que escoa pelo tronco e água que retorna à atmosfera por evaporação.

A cobertura florestal, pela interceptação, influencia na redistribuição da água da chuva, em que as copas das

árvores formam um sistema de amortecimento, no direcionamento e na retenção das gotas que chegam ao solo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração. Provoca também o retardamento dos picos de cheia. Alguns pesquisadores afirmam que a floresta nativa, entre os ecossistemas vegetais, atua no ciclo hidrológico de maneira mais significativa, pois proporciona melhores condições de infiltração da água da chuva.

A precipitação efetiva é calculada de acordo com a equação 6.1:

$$PE = PI + Et , \quad [6.1]$$

sendo:

PE = precipitação efetiva;

PI = precipitação interna;

Et = escoamento pelo tronco.

As perdas por interceptação são obtidas a partir da equação 6.2:

$$I = PA - PE , \quad [6.2]$$

sendo:

I = perda por interceptação;

PA = precipitação em aberto;

PE = precipitação efetiva.

A interceptação da chuva em florestas varia de 12,6 a 20% da chuva, ficando com um valor médio de 18,3 %. Segundo Vem Te Chow (1964), a interceptação varia entre 0,5 mm a 2,5 mm de chuva ou a proporção de 0,15 a 0,01 da lâmina de precipitação. Os fatores

que afetam a interceptação, de acordo com Tucci (1993), são as condições climáticas, as características da precipitação, o tipo e a densidade da vegetação, bem como a época do ano. Na tabela 6.1, são apresentados os valores percentuais médios das frações de precipitação pluviométrica distribuídas em florestas de eucalipto e pinheiro para a determinação das perdas por interceptação em relação à precipitação total.

Tabela 6.1 – Valores percentuais médios de: precipitação total (PT), precipitação interna (PI), escoamento pelo tronco (Et), precipitação efetiva (PE) e perda por interceptação (I) em relação à precipitação total para o eucalipto e pinheiro.

PLANTA	PT(%)	PI(%)	Et(%)	PE(%)	I(%)
Eucalipto	100,0	83,6	4,2	87,8	12,2
Pinheiro	100,0	90,4	3,0	93,4	6,6

6.2.2 Depressões de armazenamento ou áreas de detenção (Tied Ridging)

Se toda a água da chuva pudesse ser mantida no local onde ela cai até que se infiltre no solo, não haveria escoamento superficial nem erosão. O *Tied Ridging*, de acordo com Hudson (1971), consiste na cobertura de toda a superfície do solo com depressões retangulares, espaçadas, fechadas em duas direções com ângulos retos. Dessa maneira, fica formada, no solo, uma série de depressões que armazenam água, aumentando a carga hidráulica e, conseqüentemente, a infiltração de água, com redução do escoamento superficial.

6.2.3 Terraços no controle do escoamento superficial da água no solo

A estrutura do terraço integra o conjunto formado por um dique e um canal construído em espaço no terreno em sentido transversal ao declive, de modo a interceptar a água que escoar no solo. A estrutura é construída, basicamente, para controlar a erosão. Pelos terraços pode-se aumentar a infiltração de água no solo, promover a sua evaporação ou desviá-la para um determinado local devidamente protegido.

O terraceamento é útil em locais onde é comum a ocorrência de chuvas cuja intensidade e volume superam a capacidade de armazenamento de água do solo e onde outras práticas conservacionistas são insuficientes para controlar a enxurrada. O terraço deve ser utilizado em conjunto a outras práticas conservacionistas, principalmente aquelas que mantêm a cobertura do solo, evitando, assim, o impacto da gota da chuva. Por ser uma prática que necessita de investimentos, o terraceamento deve ser usado quando não é possível controlar a erosão, em níveis satisfatórios, com a adoção de outras práticas mais simples de conservação do solo.

O terraço tem como meta não só reduzir a velocidade e o volume da enxurrada, as perdas de solo, sementes e adubos, o pico de descarga nos rios, como também aumentar o conteúdo de água no solo pela maior infiltração de água.

Classificação dos Terraços

São diversos os critérios usados para a classificação dos terraços. Dentre os comumente usados, estão a finalidade, a construção ou forma que se apresentam após construídos e a base ou largura do movimento de terra.

a) Finalidade dos terraços

Este critério está relacionado ao destino das águas interceptadas.

Os **terraços de absorção** são construídos em nível, com o objetivo de reter e acumular a enxurrada no canal para posterior infiltração da água e acúmulo de sedimentos. São recomendados para regiões de baixa precipitação pluviométrica, solos permeáveis, em terrenos com declividade menor que 7%. Normalmente são terraços de base larga.

Os **terraços de drenagem** são construídos em desnível e o objetivo é interceptar a enxurrada e conduzir o excesso de água que não foi infiltrada até locais devidamente protegidos (escoadouros). São recomendados para regiões de alta precipitação pluviométrica, solos com permeabilidade moderada ou lenta e áreas com mais de 6% e até 12% de declividade. Normalmente são terraços de base estreita ou média.

Os **terraços de dupla finalidade** reúnem características dos dois tipos anteriores, permitindo a infiltração da água e o escoamento do excesso da enxurrada. São recomendados para regiões de baixas e altas precipitações pluviométricas, solos permeáveis ou impermeáveis e área com declividade de até 12%. São utilizados terraços de base larga.

b) Quanto ao processo de construção

Este critério está relacionado à forma do terraço, condições climáticas, topográficas, a disponibilidade de máquinas agrícolas e a declividade do terreno.

Os terraços **tipo canal ou terraços de NICHOLS** apresentam canais de forma (secção) triangular. São construídos com cortes no solo, na parte superior para depois depositá-lo na parte inferior. São recomendados para terre-

nos com declividade de até 20%. Geralmente, são construídos com implementos reversíveis de tração animal, manuais ou mecânicos (Figura 6.1). Esse tipo de terraço é indicado para regiões com altas precipitações pluviométricas e com solos de média a baixa permeabilidade.

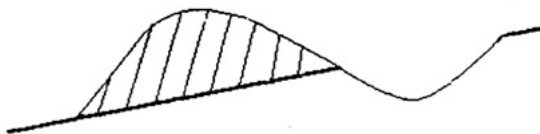


Figura 6.1 - Terraço tipo Nichols.

Os terraços **tipo camalhão ou terraços de MAGNUM** são construídos com cortes no solo e deslocamento da leiva para ambos os lados da linha demarcatória, formando ondulações sobre o terreno. São recomendados para terrenos com até 7% de declive; construídos com implementos fixos e reversíveis (Figura 6.2). Esse tipo de terraço é recomendado para regiões de baixa precipitação pluviométrica com solos permeáveis.

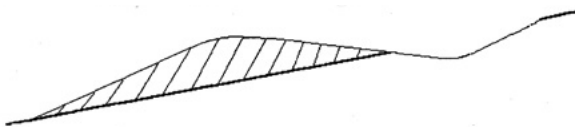


Figura 6.2 - Terraço tipo camalhão (Magnum).

Os terraços em **patamar ou banquetta individual** são os verdadeiros terraços, dos quais se originaram os outros tipos. São utilizados em terrenos com declives superiores a 20% e construídos transversalmente à linha de maior declive (Figuras 6.3 e 6.4).

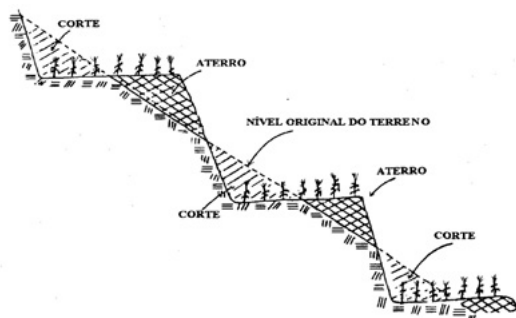


Figura 6.3 - Terraço tipo Patamar.

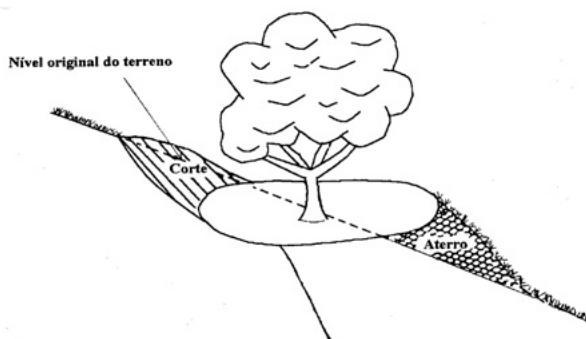


Figura 6.4 - Banqueta individual

O terraço em patamar constitui-se em um dos mais antigos métodos mecânicos de controle da erosão, usados em países densamente povoados, onde os fatores econômicos exigiram o cultivo de áreas demasiadamente íngremes. Na verdade, o patamar não só controla a erosão, mas também facilita as operações. É indicado para áreas com declives entre 20 e 55% e compreende um degrau ou uma plataforma para a implantação das culturas e um talude revestido de grama. Os patamares são construídos, com cortes na linha de maior declive, ficando sua superfície interna inclinada em direção à base ou pé. A largura do patamar pode variar de 1 a 3 m, dependendo principalmente do

declive, da profundidade do solo e da maquinaria. A inclinação do talude varia de 1:4 a 1:2, podendo ser modificada, conforme o tipo de solo e da vegetação de revestimento. Para promover o escoamento da água ao longo do patamar, sugere-se uma declividade de 0,25 a 1% para o canal.

A construção do patamar é relativamente onerosa, sendo seu uso vantajoso em áreas valorizadas, ou então em local onde a mão de obra é abundante ou de baixo custo. Sua utilização é econômica somente quando as terras são exploradas com culturas perenes, como frutíferas e café.

O patamar de pedra ou vegetado é uma prática semelhante à do terraço: baseia-se no princípio do seccionamento do comprimento da rampa com a finalidade de atenuar a velocidade e o volume do escoamento superficial. Essa prática é recomendada para áreas com declives de 26 a 35%, com espaçamento entre patamares, de acordo com recomendações da tabela 6.2. Entre as principais vantagens dessa prática, destacam-se: controle da erosão, facilidade para as operações de remoção de pedras, aumento da eficiência das atividades de preparo, semeadura, capina e possibilidade de adoção da tecnologia preconizada para a cultura (insumos, espaçamento, "stand").

Tabela 6.2 - Espaçamentos Recomendados para Locação de Patamares

Declividade do terreno em (%)	Distância entre patamares (m)	
	Textura argilosa	Textura média
26 a 27	11	10
28 a 29	10	9
31 a 31	9	8
32 a 33	8	7
34 a 35	7	6

Fonte: Bertoni e Lombardi (1985).

c) Quanto ao tamanho da base ou largura do movimento de solo

Os terraços podem ser classificados de acordo com a largura do movimento de solo para sua construção, podendo ser: terraço de base estreita, terraço de base média e terraço de base larga. A declividade do terreno, a intensidade de mecanização (culturas *versus* sistemas de cultivo), as máquinas e os implementos disponíveis, assim como as condições financeiras do agricultor e a movimentação de solo são fatores que condicionam a escolha do tipo de terraço.

O terraço é considerado de base estreita, quando o movimento de solo para sua construção for de até 4 metros de largura (Figura 6.5). Incluem-se, nesse grupo, os cordões de contorno.

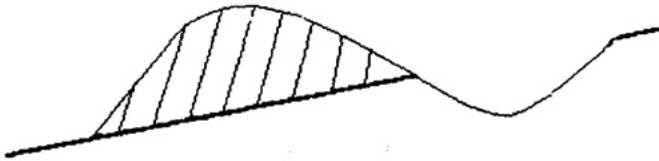


Figura 6.5 – Terraço de base estreita.

O terraço de base estreita é uma estrutura de conservação de solos de dimensões reduzidas, que proporciona uma barreira ao deslocamento superficial da água, ainda muito utilizada devido ao baixo custo, à rapidez de construção e ao uso de implementos agrícolas leves ou até rudimentares (Tabela 6.3). No entanto, proporciona uma perda de até 8% de área cultivada, pode tornar-se foco de ervas daninhas, pragas e doenças, quando não houver constante manutenção, apresenta maior probabilidade de ruptura que outros tipos e, normalmente, é restrito às áreas peque-

nas e muito inclinadas. É indicado para utilização em áreas com declive de até 20%. Para declives superiores a 15%, recomenda-se a proteção com vegetação densa (gramíneas rasteiras, cana-de-açúcar, capim elefante). Pode ser construído tanto pelo processo de NICHOLS como pelo de MAGNUM. A construção pode ser realizada com implementos de tração mecanizada (arados e plainas), tração animal (plainas e dragas em V) ou muitas vezes até com o emprego de pá ou enxadão.

Tabela 6.3 - Dimensões recomendadas para Construção de Terraços de Base Estreita.

Largura do canal (m)	Largura do camalhão (m)	Profundidade do canal (m)	Secção mínima (m ²)	Movimento de solo (m)
1,5	2,0	0,50	0,50	3,0

O terraço de base estreita deve ter um intenso acompanhamento, devendo-se fazer constante manutenção, principalmente após as chuvas. Há necessidade de percorrer toda a área para desobstrução dos locais onde há acúmulo de terra e recomposição das partes danificadas do camalhão.

No terraço de base média, a largura do movimento de solo varia de 4 a 6m (Figura 6.6), mas ainda pode ser construído por máquinas de pequeno porte (arado e draga em V). Em função de sua conformação, permite o cultivo total na pequena propriedade, desde que sejam utilizados implementos de tração animal ou manuais. No caso de mecanização, permite o cultivo parcial em um dos lados do camalhão, reduzindo, desse modo, o foco de inços, pragas e doenças.

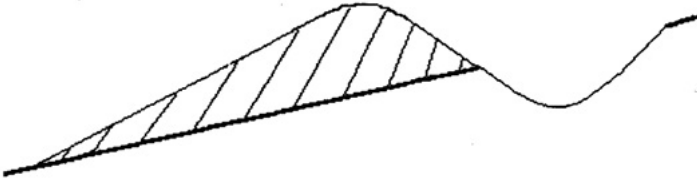


Figura 6.6 – Terraço de base média

Mesmo com o cultivo parcial, o terraço de base média ainda promove a perda de 2,5 a 3,5% de área cultivável. É indicado para declives entre 8 e 15% e pode ser construído pelo processo de NICHOLS e também pelo de MAGNUM. O processo de construção mais utilizado é o de camalhão (MAGNUM). O terraço de base média apresenta dimensões maiores que o de base estreita (Tabela 6.4).

Tabela 6.4 - Dimensões recomendada para construção de terraços de base média.

Largura do canal (m)	Largura do camalhão (m)	Profundidade do canal (m)	Secção mínima (m ²)	Movimento de terra (m ³)
0,2 - 0,3	-	0,4 - 0,8	0,0 - 0,75	3,0 - 6,0

A manutenção de terraço de base média é realizada pelo uso ordenado de lavrações, com o objetivo de abrir o canal e aumentar a altura do camalhão.

O terraço de base larga é uma estrutura especial de conservação do solo que envolve um movimento de terra significativo para formação do canal e camalhão (Figura 6.7). Sua grande vantagem é proporcionar o cultivo total da área, eliminando os possíveis focos de inços, doenças e pragas. Outra vantagem marcante é sua segurança em relação a possíveis rompimentos provocados pelo acúmulo de enxurrada. A limitação de seu uso se dá por ser utilizável somente em áreas de relevo ondulado, com desníveis não

superiores a 12% e por ser uma obra de construção demorada e custo mais elevado que os demais terraços.

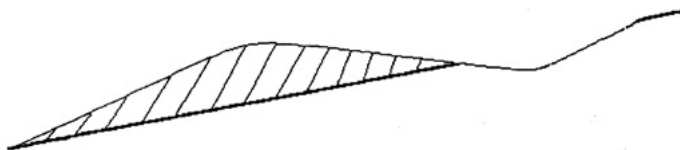


Figura 6.7 – Terraço de base larga

Os terraços de base larga são essencialmente terraços de camalhão, construídos com arados, motoniveladoras ou tratores com lâminas, cujas dimensões são apresentadas na tabela 6.5.

Tabela 6.5 - Dimensões recomendadas para construção de Terraços de Base Larga.

Largura do canal (m)	Largura do camalhão (m)	Profundidade do canal (m)	Secção mínima (m ²)	Movimento de terra (m ³)
3,0 – 4,0	-	0,50 – 0,60	0,75 – 1,20	6 a 12

Recomenda-se que todas as operações agrícolas que envolvam o uso de máquinas, tais como aração, subsolagem, gradagem, semeadura, colheita e principalmente a manutenção dos terraços, sejam iniciadas pelos terraços, de modo a preservar sua estrutura e disciplinar o trabalho.

Para a manutenção dos terraços, pode-se optar por duas sistemáticas básicas no preparo do solo: iniciando a aração em posições iniciais e finais sempre diferentes, em cada período de preparo do solo, de modo a permitir o deslocamento ou soterramento dos sulcos de aração, que também podem alterar a forma dos terraços e alterar o uso de diferentes sistemas de aração, com formas distintas de arremates, com o objetivo de mudar a posição dos sulcos de lavra.

6.2.4 Subsolagem

Subsolagem é a utilização de equipamentos destinados à descompactação do solo e corte de raízes. Esses equipamentos (subsoladores) devem ultrapassar as camadas compactadas do solo, são tracionados por tratores e requerem alta potência com alto custo operacional. Essa prática tem por objetivo desagregar as camadas compactadas do solo (como o pé de arado) para que as raízes penetrem mais facilmente e a água possa atingir maiores profundidades. O efeito da descompactação não é permanente, e o solo volta ao seu estado inicial. Outras técnicas vegetativas, como o uso de plantas recuperadoras em rotação de culturas, podem ser mais eficientes e mais econômicas.

6.2.5 Manejo de plantas

Essa técnica tem como objetivo melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo indiretamente para aumentar a infiltração de água no solo. O manejo de plantas, como adubação verde, reflorestamento conservacionista e rotação de culturas, destaca-se como alternativa para a recuperação da estrutura de solos degradados, com camadas de impedimento ao fluxo saturado de água no solo.

As plantas utilizadas na adubação verde inibem o desenvolvimento de ervas daninhas e protegem o solo do impacto direto das gotas de chuva, evitam a desagregação e contribuem diretamente para aumentar a estabilidade dos agregados do solo, a infiltração e retenção de água no solo. Para uma planta ser utilizada como adubo verde, é necessário que apresente o maior número possível das seguintes características: rápido crescimento, grande quantidade de massa verde, pouca exigência em fertilidade, baixo

custo de implantação e extinção, resistência ao ataque de pragas e doenças, sistema radicular agressivo e volumoso que permita romper camadas de solos compactados. No sul do Brasil, são muito utilizadas plantas leguminosas, como *Mucuna* spp., *Crotolaria* spp. e *Cajanus cajan*, visando principalmente à fixação simbiótica do nitrogênio. Também são utilizadas gramíneas, como a aveia (*Avena* spp.) e o azevém (*Lolium multiflorum*), e espécies descompactadoras do solo, como o nabo forrageiro.

Os reflorestamentos conservacionistas podem ser utilizados como matas ciliares, tendo como objetivo a filtragem de sedimentos e a proteção das margens de rio. As plantas devem apresentar sistema radicular profundo, para favorecer a macroporosidade do solo e, conseqüentemente, reduzir a velocidade e o volume do escoamento superficial da água no solo. O reflorestamento também pode ser feito em faixas, intercalando-se com culturas anuais (tipo consórcio), o que favorece o incremento de matéria orgânica ao solo. Nessa prática, podem ser sugeridas, para cada local, as seguintes espécies:

a) em morros e encostas: bracatinga, canafístula, canjerana, carvalho brasileiro, cedro, cerejeira, erva mate, figueira, guapuruvú, guatambu, ipê, louro, pau-ferro;

b) em margens de rios e açudes: açoita-cavalo, angico, amoreira, aroeira, araticum, canela-do-brejo, canela-preta, cerejeira, goiabeira, ingá, pitangueira, tarumã, uva-do-japão e araçá;

c) em áreas excessivamente degradadas: bracatinga, açoita-cavalo, araticum, pau-ferro, timbó e ingá.

A rotação de culturas consiste em alternar, anualmente, espécies vegetais numa mesma área agrícola. As espécies escolhidas devem ter, ao mesmo tempo, propósitos:

comercial e de recuperação do solo. A rotação de culturas, quando conduzida adequadamente e por um longo período, poderá melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo, auxiliar no controle de plantas daninhas, doenças e pragas; reduzir a erosão, aumentar a infiltração de água no solo e contribuir também para o sistema plantio direto. Para a obtenção de máxima eficiência, na melhoria da capacidade produtiva do solo, o planejamento da rotação de culturas deve considerar, preferencialmente, plantas comerciais e associá-las a espécies que produzam grande quantidade de biomassa e tenham rápido desenvolvimento, cultivadas isoladamente ou em consórcio com culturas comerciais.

Os cordões vegetados são recomendados para áreas com declividade acentuada, solos rasos que impossibilitam o uso da mecanização. Esses cordões consistem em um pequeno terraço de base estreita, demarcado em nível ou desnível, cultivado com gramíneas sobre o camalhão, o que permite diminuir em até 80% as perdas de solo e nutrientes. Dentre algumas plantas que podem ser utilizadas como cordão vegetal, destacam-se a cana-de-açúcar e o capim elefante.

6.2.6 Cobertura morta e sistema plantio direto

A cobertura morta consiste na deposição de resíduos orgânicos vegetais na superfície do solo, tais como: folhas, palhas, serragem, casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar, entre outros. Essa prática é indicada como cobertura protetora do solo para controlar a erosão e favorecer o aumento da infiltração da água no solo. Para existir esse controle, a camada de restos vegetais deve possuir pelo menos 0,5 cm. Essa prática pode ser recomendada para os mais diversos tipos de solo e clima.

Os principais efeitos da cobertura morta no solo são: controle da erosão; aumento da capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo (Tabela 6.6); redução da temperatura máxima do solo; aumento do teor de matéria orgânica; melhoria na estrutura do solo; fornecimento de elementos nutritivos e controle de ervas daninhas.

Tabela 6.6 - Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo da cobertura morta.

Sistema de manejo da palha	Perdas de	
	Solo (toneladas/hectare)	Água (% da chuva)
Palha queimada	20,2	8,0
Palha enterrada	13,8	5,8
Palha na superfície	6,5	2,5

Fonte: Bertoni et al. (1972).

O sistema plantio direto pode ser o exemplo mais evidente dos benefícios apresentados pela manutenção da palha sob a superfície do solo. Esse é um sistema de manejo do solo em que os resíduos vegetais, como folhas, colmos e raízes, são deixados na superfície do solo. O solo é revolvido apenas no sulco onde se depositam sementes e fertilizantes, e as plantas invasoras são controladas por herbicidas.

O sistema plantio direto é muito eficiente no controle da erosão. A palha sobre a superfície protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, reduzindo a desagregação e o selamento da superfície, garantindo maior infiltração de água (Figura 6.8) e menor erosão. O sistema plantio direto reduz em até 90% as perdas de solo e em até 70% de água. Por exemplo, as culturas anuais ocupam, atualmente, cerca de 2.400.000 ha no Estado de São Paulo. Sob sistemas convencionais de cultivo, essas áreas perdem, anualmente, 24 milhões de toneladas de solo e 4 bilhões de m³ de água

na forma de enxurrada. Se essas áreas fossem submetidas ao plantio direto, as perdas anuais seriam de 5 milhões de toneladas de terra e 2 bilhões de m³ de água. As perdas de nutrientes, que são proporcionais às perdas de solo e água, são menores com o plantio direto.

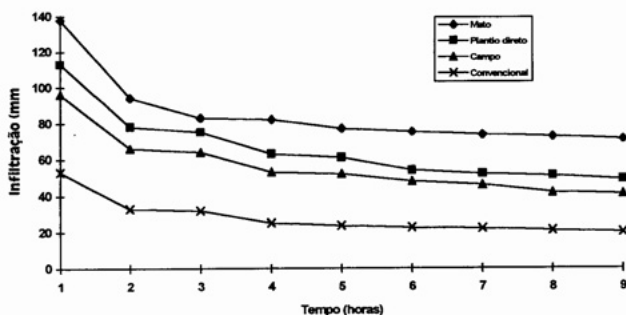


Figura 6.8 - Curvas da taxa de infiltração de água para o solo da unidade Santo Ângelo para os quatro tratamentos (MACHADO; BRUM, 1978).

O aumento no armazenamento de água no solo traz reflexos positivos sobre a produtividade em períodos de estiagem durante o desenvolvimento das culturas. Além do aumento da infiltração de água no solo com uma cobertura morta de cerca de 70 %, a evaporação do solo reduz-se para cerca de 1/4. Desse modo, a retenção de água é maior, podendo representar economia de até 30 % de água em áreas com produção agrícola irrigada.

O sistema plantio direto poderá também, aumentar a porcentagem de matéria orgânica na superfície do solo. Devido a esse aumento, o solo poderá melhorar sua estrutura, aumentar a atividade biológica e a disponibilidade de nutrientes. Esses fatores contribuem no rendimento das culturas com possibilidade de redução da aplicação de fertilizantes.

6.2.7 Vertical Mulching

Na década de 70, o sistema plantio direto, com méritos, foi difundido entre os agricultores e espalhou-se pelo país, reduzindo, consideravelmente, as perdas de solo por erosão hídrica. Esse fato, recentemente, motivou os agricultores a retirarem, indiscriminadamente, os terraços das lavouras, justificado ainda, pelo aumento da capacidade operativa das máquinas agrícolas. Mantendo-se o solo constantemente coberto, praticamente resolveu-se o problema de erosão do solo. Entretanto, em solos que apresentam camadas de impedimento (pé de arado, detalhe na figura 6.9), o tráfego de máquinas pesadas tem contribuído para o aumento da compactação do solo, reduzindo ainda mais a taxa de infiltração de água no solo. Considerando as longas pendentes, a retirada dos terraços aumentou o fluxo de água na superfície do solo, e as perdas de água por escoamento superficial aumentaram. As perdas de nutrientes e de matéria orgânica no sedimento das lavouras com plantio direto são superiores às encontradas no perfil do solo, o que indica o carreamento de nutrientes e de matéria orgânica na enxurrada (DENARDIN; KOCHHANN; RIGHES, 2005). A consolidação e sustentabilidade do sistema plantio direto com preservação do meio ambiente, em solos que apresentam impedimento físico, dependem fundamentalmente da redução do escoamento superficial.

Como técnica alternativa para aumentar a infiltração de água no solo no sistema plantio direto, pode-se utilizar o “*vertical mulching*”, uma nova tecnologia testada com excelentes resultados. Segundo Righes et al. (2002), essa tecnologia consiste em abrir sulcos com as dimensões de 0,08 m de largura por 0,40 m de profundidade, em nível,

perpendicularmente ao declive, preenchendo-os com palha para mantê-los abertos (Figura 6.9).

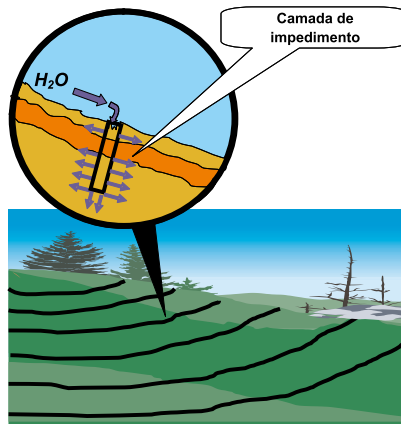


Figura 6.9 - *Vertical mulching* acompanhando as curvas de nível do terreno (RIGHES et al., 2002).

Para abertura do sulco do *vertical mulching*, foi utilizada a valetadeira rotativa, conforme figura 6.10, usada para drenagem localizada em solos de várzeas.



Figura 6.10 - (a) Máquina utilizada para a abertura dos sulcos para o *vertical mulching*, (b) valetadeira rotativa produzida pela SEMEATO S.A. (RIGHES et al., 2002).

Os resultados de mais de três anos de pesquisa em solo da unidade de mapeamento Passo Fundo indicam que o *vertical mulching*, em sistema plantio direto é muito eficiente para reduzir o escoamento superficial, pois permite aumentar a infiltração de água no sulco do *vertical mulching*. Os resultados, segundo Righes et al. (2002), demonstram que, sob intensidade de chuva simulada de 111 mm.h^{-1} , por mais de uma hora o *vertical mulching*, a cada 5 m e a cada 10 m de espaçamento em solo, em Passo Fundo, controlam o escoamento superficial em 73,9 % e 55,3%, respectivamente, quando comparado com a testemunha. O *vertical mulching* proporcionou ainda um retardamento do início do escoamento superficial em comparação com a testemunha, fator fundamental para a redução das enchentes e o aumento do armazenamento de água no solo (Figura 6.11).

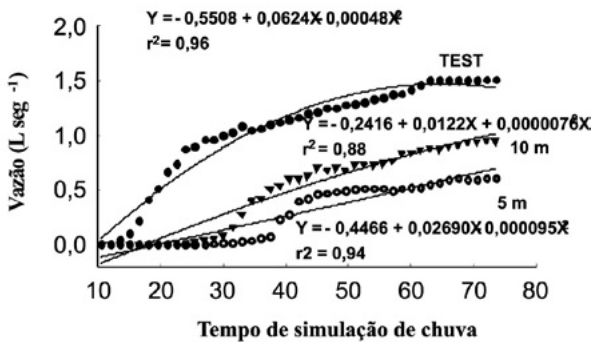


Figura 6.11 - Vazão em função do tempo e início do escoamento superficial nas parcelas com e sem *vertical mulching*, com espaçamentos de 5 e 10m, para uma chuva simulada de 111 mm.h^{-1} em latossolo vermelho distrófico típico. Passo Fundo-RS, 2001.

Embora o Rio Grande do Sul apresente uma precipitação média ao redor de 1700 mm ano^{-1} , a irrigação de cul-

turas de sequeiro como o milho tem-se mostrado economicamente viável. Esses dados indicam que grande parte da água da chuva não está sendo infiltrada no perfil do solo, de forma que fique disponível às plantas. Se apenas 50% da precipitação, ou seja, 850 mm ano⁻¹, fossem armazenadas no perfil do solo, em anos normais, seriam suficientes para produzirem uma cultura sem irrigação complementar.

Enquanto não estiver disponível, no mercado de máquinas agrícolas, um equipamento que realize em uma só passada o processo de implantação do *vertical mulching*, não dispoe-se de medidas imediatas para redução dos impactos da escassez de água em zonas rurais.

No verão de 2004, o Estado do Rio Grande do Sul passou por uma das maiores crises econômicas causada pelo *deficit* hídrico. A redução na produção de grãos, segundo a EMATER-RS (2005), foi de 10.014.662 toneladas, tendo um impacto na economia do Estado na ordem de R\$ 4.061.429.699,00. Sabendo-se da elevada probabilidade de que esse fato se repita, alertam-se os dirigentes de órgãos públicos, municipais e estaduais, responsáveis pelas ações de outorga de uso da água e defesa do meio ambiente para a necessidade de, além das ações mitigatórias, iniciarem-se ações concretas imediatas para, em médio prazo, minimizar os futuros conflitos decorrentes da escassez de água para a produção de alimentos e a sustentabilidade da exploração agrícola.

O Rio Grande do Sul é o estado da federação que apresenta a maior área irrigada do país, o que se deve, principalmente, à cultura do arroz irrigado. Assim, as ações do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA), Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roerler - RS (FEPAM),

Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CRH), com os Comitês de Bacias Hidrográficas que atuam no gerenciamento dos recursos hídricos do Estado em todos os níveis, além de mitigarem conflitos, devem incentivar o armazenamento da água precipitada onde ela cai. Caso contrário, no futuro, quando ocorrer nova estiagem, todos serão responsabilizados. Considerando que, no sistema plantio direto, a recuperação física de um solo degradado, especialmente a macroporosidade, não é um processo imediato, deve-se evitar o desperdício da água em períodos de enchentes para disponibilizá-la em épocas de estiagens. Dessa forma, como ação imediata, deve-se ampliar o armazenamento de água em reservatórios durante o inverno para atender à demanda de irrigação e abastecimento da população no verão.

A Sociedade de Agronomia de Santa Maria, entidade de classe que congrega os engenheiros agrônomos da região central do Rio Grande do Sul, tem recebido manifestações de seus associados referentemente à dificuldades impostas pelos órgãos legislativos do meio ambiente regional e estadual em relação à construção de barragens em talvegues com fluxo intermitente. São citadas resoluções criadas a partir da Lei Federal 9433 e das Leis Estaduais 10.350 e 10.354, bem como, o Decreto 37033, como orientadoras para a tomada de decisão que tem dificultado as ações de armazenamento de água da chuva em propriedades particulares. Entretanto, essas resoluções são questionadas pelos juristas. De acordo com Vem Te Chow (1964), a função das leis ambientais é regular a relação entre homens ou grupos de pessoas. Seu propósito é disponibilizar mecanismos para a resolução de conflitos após a ocorrência e fornecer orientações para comportamentos futuros. A construção de barragens, pontes ou outras estruturas em um curso de água PERMANENTE significa privar outras pessoas do direito ou privilégio de usar a

água ou a hidrovia, podendo ser uma violação da legislação (RIPARIAN RIGHTS, legislação dos EUA). Afirma, também, que tais obstruções (barramentos) não devem ser absolutamente proibidas, mas, sim, licenciadas pela autoridade federal ou estadual. A legislação remete aos aspectos de utilidade social, com o que concordamos plenamente.

Contudo, talvegues com fluxo de água intermitente (tem água somente quando ocorrem precipitações com intensidades superiores à taxa de infiltração básica de água no solo) não podem ser interpretados como rios intermitentes. O escoamento superficial, ou seja, a enxurrada, é um evento efêmero e somente ocorre quando o solo estiver saturado e não tiver capacidade de conduzir toda a água da chuva para dentro do solo, perdendo-se por escoamento superficial. No Rio Grande do Sul, em períodos de chuvas, não há deficit hídrico para as culturas e, portanto, a irrigação complementar não é necessária. Nessas condições, o fluxo intermitente de água nos talvegues de uma bacia hidrográfica, se não for armazenado, será perdido, atingindo os córregos, riachos, rios e, finalmente, chegando ao mar sem causar conflitos por falta de água aos demais usuários da bacia, podendo sim, por outro lado, causar enchentes.

Em áreas urbanas, o princípio é o mesmo: deve-se aumentar a infiltração de água no solo para reduzir o pico de descarga, que provoca o alagamento de ruas e casas situadas nas regiões mais baixas. Entretanto, em face das edificações e da impermeabilização das ruas, esse processo terá que ser direcionado para aumentar o tempo de concentração da água (ou seja, aumentar o tempo que a água levaria para chegar até os coletores fluviais). Várias alternativas podem ser usadas, por exemplo: se todos os prédios tivessem uma cisterna para armazenar a água do telhado e, após a

chuva, liberá-la lentamente para os coletores, estaríamos, certamente, minimizando os problemas de alagamentos nas cidades. Esse procedimento tem inúmeras vantagens: essa água poderia ser usada em um reservatório separado para a descarga em vasos sanitários, limpeza de calçadas, irrigação de plantas em jardins, lavagem de carros e muitos outros usos que não necessitam de água potável, reduzindo custos e o desperdício de água tratada.

Não se pode mais simplesmente explorar os recursos hídricos, degradar o meio ambiente e culpar os outros, esperando que alguém faça alguma coisa por nós. A escassez de água de boa qualidade a cada ano está mais próxima de nós. São necessárias ações objetivas, claras e imediatas com a participação de cada indivíduo da sociedade, contribuindo para a sustentabilidade do recurso água. É necessário fazermos algo agora antes que seja tarde demais. Foi como se manifestou o chefe da Tribo Seattle ao Presidente dos Estados Unidos, em defesa do meio ambiente, "o que ocorrer com a terra recairá sobre os filhos da terra. O homem não tramou o tecido da vida: ele é simplesmente um de seus fios. Tudo o que fizer ao tecido fará a si mesmo"¹.

6.4 CONCEITOS DE ALGUMAS PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

Com o objetivo de facilitar o entendimento dos temas tratados nesse capítulo, são incluídos nesta seção os principais conceitos de práticas conservacionistas:

adubação mineral: é o uso de fertilizantes incorporados ao solo, com a finalidade de proporcionar melhor nutrição às culturas;

¹ Parte do texto produzido pelo Chefe da tribo Seattle enviado ao Presidente dos EUA, no ano de 1854 – ONU.

adubação verde: é o uso de plantas (normalmente leguminosas) para serem incorporadas ao solo, com a finalidade de melhorá-lo;

alternância de capina: é a prática usada em fruticultura, em que linhas de plantas niveladas são capinadas alternadamente, criando obstáculos ao escoamento superficial;

calagem: é o uso de material calcário com a finalidade de minimizar os efeitos da acidez dos solos;

ceifa do mato: é uma prática usada em fruticultura em que capinas são substituídas por ceifa, permanecendo o sistema radicular que aumenta a resistência à desagregação do solo;

cobertura morta: é o uso de resíduos vegetais ou outros na cobertura do solo, com o objetivo de evitar o impacto das gotas da chuva;

cobertura vegetal: é o uso de plantas vivas na cobertura do solo, com o objetivo de evitar impacto das gotas da chuva;

controle do pastoreio: consiste em retirar o gado de uma pastagem quando as plantas ainda recobrem toda área;

corte em talhadia: é o corte de madeira com regeneração, por brotação das cepas das árvores;

cultivo mínimo: é o uso minimizado de máquinas agrícolas sobre o solo, com a finalidade de menor revolvimento e compactação;

enleiramento em nível: é uma prática utilizada no desbravamento (mato, capoeira) de uma gleba, dispondo os resíduos em linha de nível;

escarificação: é o uso do escarificador no preparo reduzido do solo, quebrando a camada densa superior e formando rugosidade superficial;

manejo sustentado: é toda exploração florestal que objetiva a manutenção do estoque e as retiradas periódicas do incremento;

plantio em faixa de retenção: é a prática que utiliza uma faixa de cultura permanente de largura específica e nivelada, entre faixas de rotação;

plantio em faixas de rotação: é a prática utilizada numa gleba onde culturas temporárias são dispostas em faixas niveladas e alternadas;

plantio de enriquecimento: é o plantio com espécies desejáveis, nas florestas naturais, acompanhado da remoção de trepadeiras, arbustos e árvores indesejáveis;

plantio em nível: é a prática que executa todas as operações de uma cultura em linhas exatamente niveladas;

ressemeio: é a prática usada em pastagem para repovoar as áreas descobertas, protegendo o solo da erosão por impacto;

rompimento de compactação subsuperficial: é a quebra de camada profunda adensada (pé-de-arado ou de grade), com a finalidade de aumentar a permeabilidade do solo;

sistema plantio direto: é a implantação de uma cultura diretamente sobre a resteva de outra, com a finalidade de manter o solo coberto, evitando o impacto da gota da chuva;

sulcos em nível: são pequenos canais nivelados, que têm a finalidade de diminuir o escoamento superficial, aumentando a infiltração;

uso de cordão (pedra ou vegetal): consiste em linhas niveladas de obstáculos, com a finalidade de diminuir a velocidade do escoamento superficial.

REFERÊNCIAS

BERTONI, J. et al.. **Algumas conclusões gerais das pesquisas em conservação do solo**. São Paulo: IAC, 1972.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livro Ceres, 1985. 368p.

DENARDIN J. E.; KOCHHANN, R. A.; RIGHES, A. A. Mulching vertical: técnica de manejo da enxurrada em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**. v. 14, n. 85, p.37-39, Jan.-Fev. 2005.

EMATER-RS. **Informativo conjuntural**. n. 829, de 9/06/2005 e n. 833 de 7/7/2005. Porto Alegre, RS.

HUDSON, N.H. **Soil Conservation**. Ithaca: Cornell University Press, 1971.

MACHADO, J.A.; BRUM, A.C.R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 2, p. 81-84, 1978.

RIGHES, A. A. et al. Mulching vertical e escoamento superficial no sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, Salvador, 29 jul. a 2 ago. 2002. **Anais...** (CD-ROM). Salvador, 2002.

TUCCI, C.E.N. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Coleção da ABRH1, v. 4. Porto Alegre: UFRGS, 1993.

VEM TE CHOW **Handbook of Applied Hydrology a Compendium of Water-Resources Technology**. New York McGraw-Hill Book Company, 1964.

Capítulo VII

TÉCNICAS DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA EM ÁREAS URBANAS

Maria Isabel Pimenta Lopes

miplopes@hotmail.com

Sérgio Renato de Medeiros

medeirossr@yahoo.com.br

7.1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, a tecnologia se apresenta em aspectos simples do cotidiano, proporcionando conforto e bem-estar e, a sociedade se transforma, adquirindo hábitos consumistas ávidos por novidade tecnológica. A resposta dos setores produtivos é a utilização cada vez maior dos recursos naturais de modo desequilibrado, comprometendo o meio ambiente. Se não bastasse essa cultura consumista, há o crescimento populacional, que se desenvolve de forma desordenada, resultando no aumento da utilização dos recursos naturais sem qualquer controle, dentre os quais, a água é, sem dúvida, o elemento mais degradado.

Não se consegue imaginar a vida sem água, pois ela é utilizada para beber, produzir e preparar alimentos, fazer higiene e promover saúde.

Ao se observar a quantidade de água em condição para consumo humano existente no planeta e o alto crescimento populacional, a escassez desse líquido poderá alcançar um quadro nada satisfatório. Essa escassez pode ser avaliada em quantidade pelo crescimento demográfico ou em qualidade pela poluição existente no planeta.

Com todos os problemas demonstrados, aliados à má utilização da água potável que chega até as residências, constata-se a importância da captação da água de chuva para fins não potáveis, como lavagem de roupas e calçadas, irrigação de jardins e hortas, descargas de vasos sanitários, entre outros.

A importância de se obter água em condição de uso para fins potáveis e não potáveis é uma realidade. O uso de água não potável cria a possibilidade de diminuição dos problemas de escassez.

Há duas formas de obtenção de água: por distribuição pela concessionária (processo tradicional) ou por armazenamento ou retenção de água da chuva.

Ressalva-se a importância do armazenamento da água de chuva, quando, para o seu uso, não é necessário desinfecção. Essa água é dita não potável. Quando a desinfecção da água se faz necessária, como para o preparo de alimentos, banho e outros fins, deve-se usar água tratada ou potável.

No presente texto, objetiva-se demonstrar o potencial de aproveitamento da água de chuva, proveniente de telhados, os lotes urbanos, e das áreas públicas (sistema viário, áreas de lazer e outros). Esse procedimento reduz o uso da água potável, alerta sobre a possibilidade da redução de custos das companhias de abastecimento, além de alterar o regime de escoamento superficial e profundo das águas, reduzindo o risco de inundações nas várzeas e enchentes.

7.2 CONCEITOS GERAIS SOBRE ESCOAMENTOS SUPERFICIAIS E DRENAGEM

Para melhor esclarecer as questões descritas, é interessante relembrar a definição de alguns parâmetros como: ciclo hidrológico em uma bacia, escoamento superficial, drenagem urbana, tempo de concentração em uma bacia e tempo de retorno.

7.2.1 O ciclo hidrológico em uma bacia pode ser representado em unidades de altura (mm ou polegadas) pela equação do balanço hídrico (Figura 7.1):

$$P - R - G - E - T = \Delta S \quad [7.1]$$

sendo:

P = Precipitação de água da chuva;

R = Escoamento superficial;

G1 e G2 = Escoamento subterrâneo no início e fim da bacia;

E = Evaporação;

T = Transpiração;

ΔS = Armazenamento.

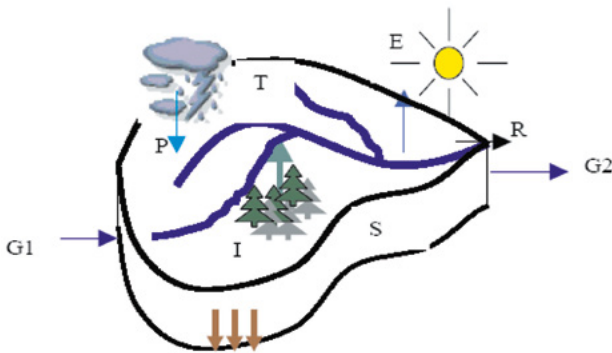


Figura 7.1 – Esquema do Balanço hídrico (TUCCI, 1997).

7.2.2 Escoamento superficial é o segmento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento das águas na superfície da terra.

7.2.3 Drenagem urbana é o termo empregado para o conjunto de medidas de infraestrutura urbana a serem tomadas, visando a reduzir os riscos e prejuízos decorrentes de inundações às quais a sociedade está sujeita.

7.2.4 Tempo de concentração de uma bacia (t_c) é o tempo que leva para que toda uma bacia comece a contribuir para a vazão em certa seção, conforme equação 7.2:

$$t_c = (t_a + t_s), \quad [7.2]$$

sendo:

t_a = tempo que leva uma gota de água caindo de um ponto extremo da bacia até chegar ao vale da bacia de maior extensão (talvegue) – em projeto de sistemas urbanos, $t_a = 10$ min;

t_s = tempo que leva uma gota de água para percorrer o vale da bacia de maior extensão (BOTELHO, 1998).

7.2.4 Tempo de retorno (T) é o tempo de uma chuva ser igualada ou superada em anos. A probabilidade (P) da vazão de projeto ser igualada ou superada é inversa ao tempo de retorno, $P = (1/T)$.

7.3 QUESTÕES ASSOCIADAS À DRENAGEM E INUNDAÇÕES

Os principais problemas observados nas cidades onde não está implantada adequadamente uma infraestrutura de drenagem são:

a) uso do sistema de drenagem para esgotamento sanitário doméstico e industrial: ligação inadequada das águas pluviais no sistema de esgoto cloacal urbano;

b) ocupação das áreas de inundação pela população depois de anos de cheias menores: invasão de áreas públicas de forma inadequadas pela população de baixa renda para uso habitacional;

c) aumento da produção de sedimentos nos riachos;

d) inexistência de tradição em medidas preventivas nas áreas de inundação;

e) concepção antiquada nos projetos de drenagem.

A ocupação de áreas transforma o comportamento hidrológico, como se pode visualizar na figura 7.2.

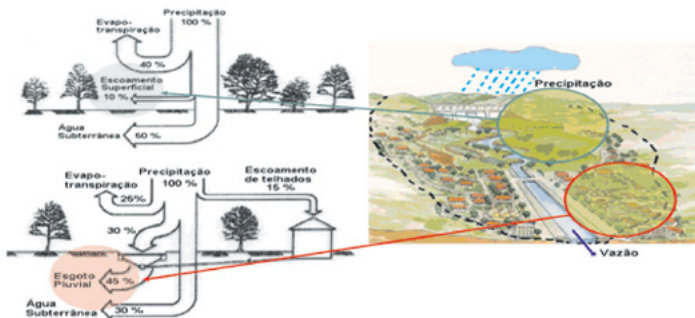


Figura 7.2 – Efeito da urbanização sobre o comportamento hidrológico (CORDEIRO, 2004).

Observa-se, na figura 7.2, que, nas áreas rurais, existe uma maior infiltração da água no solo, diminuindo, assim, o fluxo da água nas superfícies, isto é, o escoamento superficial (CORDEIRO, 2004). A tabela 7.1 apresenta, em percentagem, as diferenças do fluxo da águas pluviais em zonas ocupadas e não ocupadas pela população.

Tabela 7.1 – Diferenças em percentagens do fluxo das águas pluviais em zonas rurais e urbanas.

Sem ocupação do solo: precipitação 100%	Com ocupação do solo: precipitação 100%
Evaporação 40%	Evapotranspiração 25%
Água subterrânea 50%	Água subterrânea 30%
Escoamento superficial 10%	Esgoto pluvial 45%

Nas áreas urbanizadas, devido ao aumento de superfícies impermeabilizadas (ruas, calçadas, casas e prédios), há um aumento do fluxo das águas que, em geral, vai para rede de esgoto.

Em caso de aproveitamento da água de chuva, usando a captação em telhados, poderão ser aproveitadas 15% da precipitação para uso em fins não potáveis da água.

Nos histogramas da figura 7.3, vê-se o efeito da ocupação do solo urbano diretamente no tempo de recorrência. Na situação de urbanização, há um acréscimo da vazão nos córregos devido ao menor tempo de recorrência, ocasionando, muitas vezes, inundações.

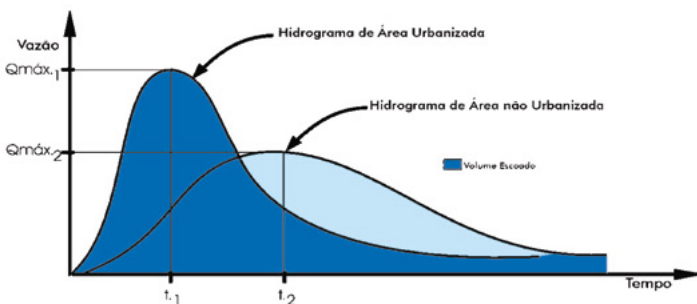


Figura 7.3 - Hidrogramas: áreas urbanizadas e não urbanizadas (CORDEIRO, 2004).

7.4 FORMA DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES E DE APROVEITAMENTO DA AGUA DE CHUVA

7.4.1 Aproveitamento da água de chuva em telhados

Lotes residenciais

Nos lotes urbanos, a retenção e o aproveitamento das águas de chuva se fazem da seguinte forma (ACQUA SAVE, 2006):

a) a água de chuva é recolhida do telhado (1) por meio de calhas (2) por condutores horizontais e verticais;

b) passa por filtro primário (3), retendo sólidos maiores;

c) é armazenada e filtrada novamente (resíduos menores) em reservatório inferior (4);

d) é bombeada para reservatório superior (5);

e) é distribuída através de rede independente (6), para ser utilizada de forma adequada (vasos sanitários, irrigação de jardins e hortas, lavagem de pisos, de roupas, etc.);

Essas etapas estão mostradas na figura 7.4.

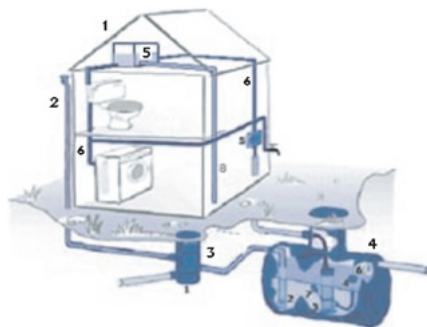


Figura 7.4 - Caminho da água da chuva em telhado residencial (ACQUA SAVE, 2006).

7.4.2 Lotes industriais, instalações comerciais, rurais e clubes

Em áreas de maior porte, aproveitar a água de chuva é unir os benefícios ecológicos aos econômicos. A água pode ser usada para resfriar equipamentos e máquinas, em serviços de limpeza, para descarga de banheiros, no reservatório contra incêndio, na irrigação de áreas verdes.

Nos dias de chuva intensa, as cisternas podem funcionar como *buffers* (áreas de contenção), para diminuir ou até evitar alagamentos e a sobrecarga da rede pluvial.

A figura 7.5 mostra um exemplo dessa instalação.

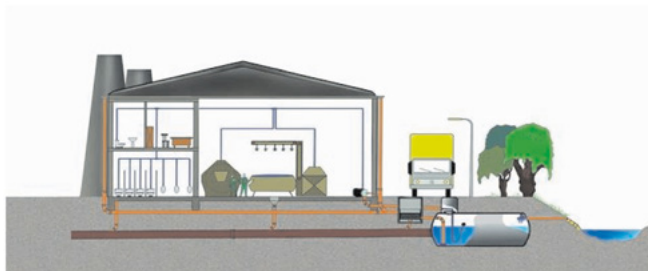


Figura 7.5 – Aproveitamento de água da chuva em área industrial (ACQUA SAVE, 2006).

7.4.3 Potencial de captação de água de chuva: aspectos quantitativos e qualitativos

De maneira simples, são quatro as variáveis básicas para se calcular o potencial de captação de água de chuva: precipitação, área de captação, eficiência do telhado e eficiência na filtragem.

Com relação à precipitação (x), a quantidade de chuva que cai é o primeiro fator determinante do potencial de captação. O índice anual de chuva do local em que se deseja instalar o sistema é uma informação fundamental.

O índice pluviométrico mede quantos milímetros chove por ano em um metro quadrado (m^2) (BOTELHO, 1998). Por exemplo, numa região que chove, em média por ano 1.350 mm/ m^2 equivalem a 1.350 L/ano ou 1,35 m^3 /ano.

A área de captação (y) é a superfície do telhado ou qualquer outra superfície impermeável em que a água será captada para ser armazenada. Mede-se essa área em metros quadrados (m^2), calculando-se sua superfície projetada (y).

Conforme se visualiza na figura 7.6, a água poderá ser captada em uma ou mais faces do telhado, dependendo do sistema de calhas e da quantidade de água que se quer armazenar.

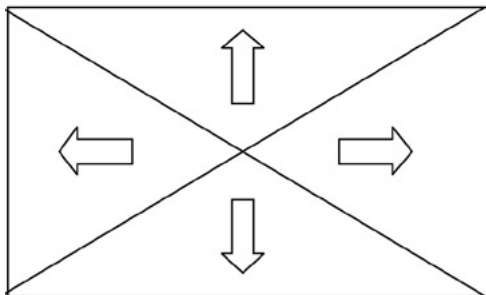


Figura 7.6 – Escoamento da água em telhado.

Quanto à eficiência do telhado (w), considera-se o material de que é feito o telhado (ou outra superfície de captação), a porosidade, a inclinação e mesmo o estado de conservação, pois esses afetam a eficiência da drenagem. Por exemplo, telhados lisos e metálicos são mais impermeáveis do que telhados de sapé, facilitando o escoamento da água para a calha. De modo a simplificar o cálculo, assume-se que sejam perdidos 15% da água que caiu no telhado e 85% dessa água poderia ser utilizada.

A eficiência na filtragem (z) se dá por meio do uso de um filtro de boa qualidade e em bom estado de conservação, o qual, normalmente, retém até 10% da água com a sujeira, ou seja, cerca de 90% de água "limpa" segue para o reservatório.

Por exemplo, se o estabelecimento está numa região em que chove 1.500mm/ano (x) e seu telhado tem uma superfície de 300m² (y), o seu potencial de captação será:

X (chuva anual) = 1.500mm ou 1,5m³;

Y (área do telhado) = 300m²;

W(eficiência do telhado) = 85%;

Z (eficiência do filtro) = 90%;

Potencial = 1,5 x 300 x 85% x 90% = 344m³/ano ou 344.000 L/ano.

$$\text{Pot} = X.Y.W.Z \quad [7.3]$$

O aproveitamento efetivo desse potencial depende da capacidade de armazenagem e de uma análise de custo-benefício do projeto como um todo.

A água de chuva serve, principalmente, para usos não potáveis. Para assegurar sua potabilidade, é necessário um tratamento mais complexo, o que é uma alternativa viável em locais onde não há a possibilidade de abastecimento com água tratada.

Em uma residência padrão, a água de chuva pode substituir a água tratada ou potável da rede pública em diversas aplicações, tais como: em vasos sanitários, máquinas de lavar, irrigação de jardins, lavagens de carro, limpeza de pisos e piscinas, representando, em média, 50% do consumo físico, como indica a (tabela 7.2).

Tabela 7.2 – Consumo em equipamentos hidráulicos.

Uso interno e externo	% do consumo	Água de chuva
Descargas na bacia sanitárias	20 a 25%	Sim
Chuveiros e banheiras	15 a 20%	Não
Máquinas de lavar roupas	10 a 15%	Sim
Máquinas de lavar pratos	2 a 5%	Não
Torneiras internas	5 a 10%	Não
Jardim	25 a 30%	Sim
Piscina	0 a 5%	Sim
Lavagem de carro	0 a 5%	Sim
Lavagem de área externa	0 a 2%	Sim

Fonte: Fendrich (2002), citando Group Raindrops (1995).

O uso de água para fins não potáveis em estabelecimentos comerciais, escolas, prédios públicos e mesmo em indústrias, onde for utilizada no processo produtivo, ela pode responder por mais de 50% do consumo. É necessária uma inspeção cuidadosa no local do empreendimento para uma avaliação bem precisa. A utilização das águas pluviais classifica-se por graus de pureza, de acordo com os locais de sua coleta, conforme a tabela 7.3.

Tabela 7.3 – Graus de pureza e utilização das águas pluviais (adaptado de FENDRICH, 2002).

Grau de pureza	Área de coleta das águas pluviais	Utilização das águas pluviais
A	Telhados (locais não usados por pessoas e animais)	Vaso sanitário, regar plantas, outros usos. Se purificadas por tratamentos simples, são potáveis para o consumo.
B	Coberturas, sacadas (locais usados por pessoas e animais)	Vaso sanitário, regar plantas, outros usos, mas imprópria para beber, higiene e preparo de alimentos (necessário tratamento).
C	Estacionamentos, jardins artificiais	
D	Vias elevadas, estradas de ferro e rodovias	

Segundo dados da tabela 7.3, a utilização mais predominante das águas pluviais é em vasos sanitários, jardins e outros usos não potáveis. Demonstram também que, caso se queira realizar o uso dessa água para fins nobres, como higiene pessoal, preparo de alimentos, entre outros, é necessário tratamento, conforme as exigências de seu grau de pureza.

A presença de substâncias nocivas no ar, provenientes dos veículos automotores e das indústrias, fica constatada nas águas pluviais das áreas urbanas. Esse fenômeno ocorre, quando as gotas das precipitações agregam as partículas suspensas no ar, causando a contaminação das águas. A contaminação também pode ser proveniente de poeira e fuligem depositadas nas áreas de coleta.

As concentrações de poluentes nas águas pluviais são predominantes nos primeiros milímetros da chuva, uma vez que limpam o ar e as áreas de coleta. Por isso, recomenda-se o descarte dos primeiros milímetros de chuvas, liberando-os diretamente para as galerias de águas pluviais. As tubulações de águas pluviais não devem conter ligações com as de água tratada (rede pública), para evitar uma possível contaminação. Recomenda-se a remoção de sujeiras agregadas na água de chuva, como folhas e outros materiais do gênero provenientes das superfícies de coletas, antes de entrarem em contato com o reservatório de armazenamento. Essa retenção pode ser feita de várias maneiras, como a instalação de tela filtrante ou grelha filtrante (FENDRICH, 2002).

É muito importante a conscientização da população quanto à utilização racional da água tratada que chega pela rede pública até as nossas residências. Deve-se redu-

zir o consumo indevido desse recurso natural e incentivar o uso da água de chuva para usos não potáveis, minimizando, assim, os problemas de escassez de água e os impactos causados pelas chuvas, como enchentes e erosões (FENDRICH, 2002).

A tabela 7.4, divulgada pelo Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), do Ministério das Cidades, do Governo Federal, mostra a estimativa da distribuição do consumo domiciliar por ponto de consumo.

Tabela 7.4 – Distribuição do consumo domiciliar de água potável por ponto de consumo.

Pontos de consumo	Porcentagem da distribuição do consumo
Bacia sanitária	38%
Banho / chuveiro	29%
Lavatório	5%
Lavagem de roupa	17%
Lavagem de louça	6%
Beber, cozinhar	5%
Total	100%

Fonte: Fendrich (2002) citando PNCDA (1998).

Nesses estudos, é interessante prever a utilização do telhado e das calhas como captadores da água de chuva, pelos quais ela é dirigida para um filtro autolimpante e levada para uma cisterna ou tanque subterrâneo.

A tabela 7.5 fornece a estimativa do consumo de água potável que pode ser substituída pelo uso da água de chuva.

Tabela 7.5 - Substituição do consumo de água potável pela utilização das águas pluviais.

Uso interno	Parâmetros de consumo
Bacia sanitária (5 descargas por dia.hab)	*6 L a 15 L por descarga 30 L a 75 L por dia.hab (= 40 % do consumo diário)
Uso externo	Parâmetros de consumo
Lavagem de calçadas, garagens e pátios de estacionamento.	2 L (dia.m ²) ⁻¹ a 5 L (dia.m ²) ⁻¹
Lavagem de carro (1 a 2 vezes por semana)	150 L a 300 L (semana) ⁻¹
Lavagem de carro em lava-jato	150 L a 300 L (carro) ⁻¹
Irrigação de jardins e plantas ornamentais	2 L (dia.m ²) ⁻¹ a 5 L (dia.m ²) ⁻¹
Manutenção de piscina	2,5 L (m ²) ⁻¹ a 6 L (dia.m ²) ⁻¹

(*) Consumo de 6 L /descarga em bacia sanitária acoplada a caixa de descarga.

Fonte: Fendrich (2002) citando TOMAZ (1998).

7.4.4 Retenção de água em áreas públicas: sistema viário urbano

A ocupação urbana por meio de áreas impermeáveis, como telhados, passeios, vias, estacionamentos, dentre outras, altera as características de volume e qualidade do ciclo hidrológico. O resultado tem sido o aumento das enchentes urbanas e a degradação da qualidade das águas pluviais.

A drenagem urbana é desenvolvida para drenar a água das precipitações o mais rápido possível para jusante. Dessa forma, as enchentes aumentam de magnitude e de frequência, trazendo consigo o acréscimo da produção de lixo e a deterioração da qualidade da água.

As ações públicas para solução desses problemas no Brasil estão voltadas, na maioria das vezes, somente para medidas estruturais. A solução geralmente encontrada tem sido as redes de drenagem, que simplesmente

transferem a inundação de um ponto para outro a jusante na bacia, sem que se avaliem os reais benefícios da obra pública. Essas ações de visão local atuam sobre o efeito e não sobre as causas do aumento da vazão, que é o aumento das superfícies impermeáveis.

A tendência moderna na área de drenagem urbana é a busca da manutenção das condições de pré-desenvolvimento, atuando na sua fonte de geração. Para tanto, devem-se utilizar dispositivos de acréscimo de infiltração e aumento de retardo do escoamento.

Um dos dispositivos utilizados com esse fim são os pavimentos permeáveis, capazes de reduzir volumes de escoamento superficial e vazões de pico para níveis iguais ou até inferiores aos observados antes da urbanização, bem como reduzir o impacto da qualidade da água e dos sedimentos.

A instalação experimental e as simulações utilizadas com o objetivo de analisar a eficiência de pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial, em comparação com solo compactado e também com pavimentos impermeáveis e semipermeáveis, têm apresentado bons resultados.

O pavimento permeável é um dispositivo de infiltração, no qual o escoamento superficial é desviado por meio de uma superfície permeável para dentro de um reservatório localizado sob a superfície do terreno (URBONAS; STAHERE, 1993). Os pavimentos permeáveis são compostos por duas camadas de agregados (uma de agregado fino ou médio e outra de agregado graúdo) mais a camada do pavimento permeável propriamente dita.

A água infiltra rapidamente na capa ou no revestimento poroso (espessura de 5 a 10 cm), passa por um filtro de agregado de 1,25 cm de diâmetro e espessura de, aproximadamente, 2,5 cm e vai para uma câmara ou reservatório de pedras mais profundo, com agregados de 3,8 a 7,6 cm de diâmetro. A capa de revestimento permeável somente age como um conduto rápido para o escoamento chegar ao reservatório de pedras. A água escoada nesse reservatório poderá então ser infiltrada para o subsolo ou ser coletada por tubos de drenagem e transportada para uma saída em um curso d'água próximo. Assim, a capacidade de armazenamento dos pavimentos porosos é determinada pela profundidade do reservatório de pedras subterrâneo mais o escoamento perdido por infiltração para o subsolo.

Os pavimentos permeáveis classificam-se, basicamente, em seis tipos: de solo compactado, de paralelepípedo, de bloco de concreto, de concreto, de bloco vazado, de concreto poroso como mostra a figura 7.7.

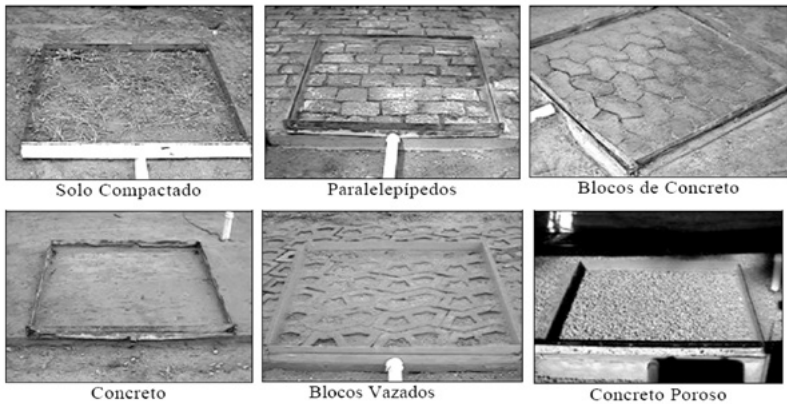


Figura 7.7 – Tipos de pavimentos permeáveis.

As referidas permeabilidades podem ser expressas conforme o gráfico da figura 7.8.

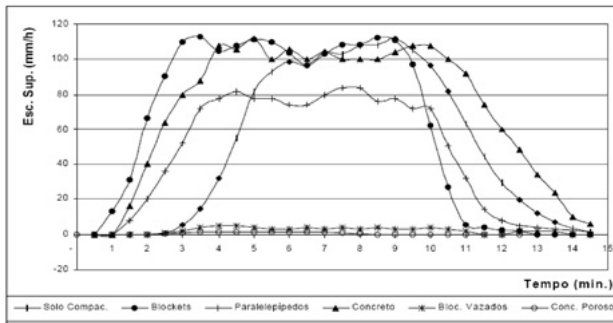


Figura 7.8 – Escoamento superficial observado nas diversas superfícies ensaiadas (URBONAS; STAHRÉ, 1993).

A camada superior dos pavimentos porosos (asfalto ou concreto) é construída de forma similar aos pavimentos convencionais, mas com a retirada da parte da areia fina da mistura dos agregados do pavimento. Os blocos de concreto vazados são colocados acima de uma camada de areia. Filtros geotêxteis (mantas) são colocados sob a camada de areia fina para prevenir a migração de finos da areia para a camada granular.

Não existem limitações para o uso do pavimento permeável, exceto quando o tipo de solo não permite a infiltração da água, devido à sua baixa permeabilidade ou ao alto nível do lençol freático. Nesse caso, o pavimento permeável poderá ser utilizado como um poço de detenção. Para isso, utiliza-se uma membrana impermeável entre o reservatório e solo existente. O sistema de drenagem, com tubos perfurados, espaçados de 3 a 8 m, deve completar esse dispositivo. O sistema deverá prever o esgotamento do volume num período de 6 a 12 horas.

A utilização dos pavimentos permeáveis pode proporcionar uma redução dos volumes escoados e do tempo de resposta na bacia. Seu uso depende das características do subsolo de melhores condições que as de pré-desenvolvimento, da utilização racional, do respeito aos limites físicos e da conservação periódica (trimestralmente) com uma manutenção preventiva, evitando, assim, o seu entupimento. A figura 7.9 mostra o perfil de pavimentos permeáveis.

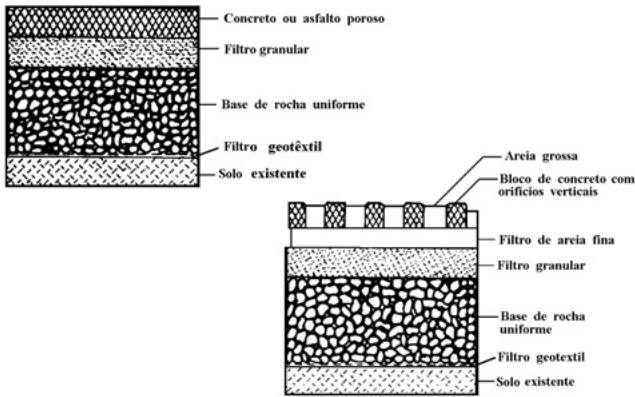


Figura 7.9 – Pavimentos permeáveis (CORDEIRO, 2004).

As principais limitações desses dispositivos podem ser o impacto sobre o lençol freático e escoamento subterrâneo quando a água drenada é fortemente contaminada; ou falta de controle na construção e manutenção, o que pode provocar entupimento dos dispositivos, tornando ineficiente o sistema.

7.5 SUGESTÕES (PARA ESTUDOS) DE OUTRAS FORMAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA EM ÁREAS PÚBLICAS

Novos equipamentos urbanos estão sendo estudados, ainda em fase de pesquisa, para aumentar não só a retenção

de águas em áreas públicas, como também o tempo de concentração de uma bacia (tempo que leva para que toda uma bacia comece a contribuir para a vazão em certa seção considerada do talvegue). Alguns, como os “piscinões”, em São Paulo, já representam um papel importante para reduzir as inundações urbanas, pois retêm grande volume de água, correspondente a um tempo significativo de precipitação, liberando, por infiltração no solo, porções gradativas e lentas, aumentando o tempo de concentração.

Porém, o sistema viário urbano representa uma área que ainda não foi explorada e que tem potencial significativo. Destacam-se os passeios públicos (calçadas) e as interseções viárias (cruzamentos). Cada lote e o próprio leito viário poderia se constituir numa microbacia para contribuir na retenção de águas e, ainda, numa reserva para uso em itens que não necessitassem de água potável, conforme esquematizado na figura 7.10.

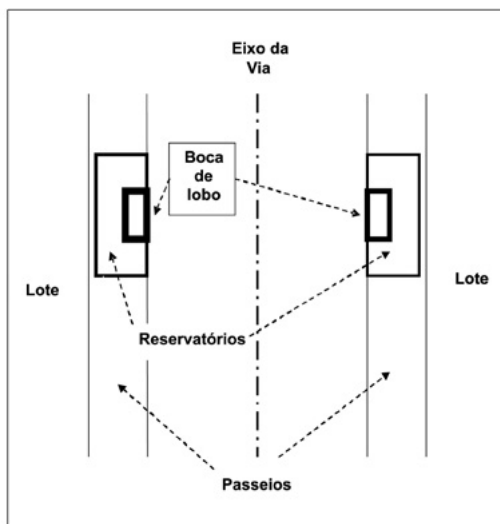


Figura 7.10 – Reservatórios nos passeios públicos.

Outros reservatórios poderiam ser construídos nas áreas de interseções viárias urbanas e ligados nas “bocas de lobo”, que são equipamentos de captação de águas das chuvas nas vias, conforme se visualiza na figura 7.11.

Portanto, diante de todos os problemas demonstrados, aliado à má utilização da água potável nas residências, observa-se a grande importância da captação da água de chuva para fins não-potáveis. O armazenamento da água de chuva também traz a redução de enchentes nos centros urbanos, onde a permeabilização do solo propiciava um rápido escoamento das águas pluviais.

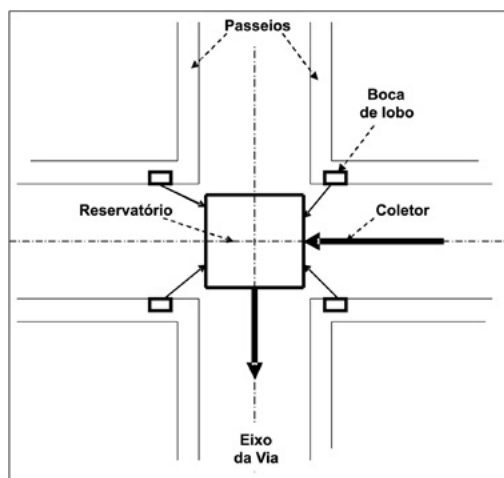


Figura 7.11 – Reservatórios nas interseções urbanas.

No entanto, essas novas propostas estão em fase de pesquisa para uma posterior regulamentação em nível de legislação municipal. Mesmo que evolua para uma situação regulamentada, seus efeitos de retenção de água e redução de inundações, serão de longo prazo, tendo em vista a lenta alteração da ocupação e do desenho urbano.

REFERÊNCIAS

ACQUA SAVE – Sistema de Captação e Reaproveitamento da Água de Chuva. **Tecnologia para reciclagem de água da chuva**. Disponível em: <http://www.acquasave.com.br>. Acesso em: 04 jun. 2006.

BOTELHO, M. H. C. **Água de chuva**: engenharia de águas pluviais nas cidades. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/Institucional/Legislação/leis/Lei9433.htm>. Acesso em: 04 out. 2007.

CORDEIRO NETTO, O. M. **Técnicas de minimização da drenagem de águas pluviais**: Gerenciamento do Saneamento em Comunidades Organizadas. Curso realizado em São Paulo. 4 e 5 maio 2004.

FENDRINCH, R. **Coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana**. 2002. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

TUCCI, C. E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: princípios e concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.

URBONAS, B; STAHR, D. **Stormwater**: Best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.

Capítulo VIII

ÁGUA E SAÚDE: DOENÇAS VEICULADAS PELA ÁGUA

Marlene da Silva Mello Dockhorn
marlene@dockhorn.com.br

8.1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização, a humanidade reconhece a água como um elemento poderoso da natureza. Água, em contínuo movimento e transformação, é ora líquido, ora vapor, ora geleira, ora em movimentos tranquilos, ora com assombrosa força, numa demonstração constante do dinamismo de sua presença.

Por outro lado, a água, com sua beleza, magnitude e pureza, além de fazer parte da natureza, é fonte de vida para todos os seres vivos. No entanto, ao longo dos anos, a água vem sofrendo o descaso e as consequências de agressões realizadas ao meio ambiente pelo homem. Em decorrência disso, a água é contaminada por agentes biológicos e químicos, prejudicando direta ou indiretamente a saúde e a vida humana.

Nesse contexto, o capítulo aborda o efeito das ações antrópicas, na interface água, saúde humana e meio ambiente, bem como, as doenças relacionadas com a água poluída e aspectos de prevenção.

8.2 A AÇÃO DO HOMEM MODIFICANDO O AMBIENTE

Nos últimos anos, em praticamente todas as regiões da terra, têm sido observadas mudanças climáticas naturais que, juntamente com os efeitos das ações antrópicas na natureza, tem provocado eventos desastrosos, como enxurradas, enchentes e inundações. Em nosso país não tem sido diferente, contribuindo com o aumento de casos de doenças relacionadas à água, além de outros impactos causados à comunidade. Além disso, por desconhecimento, falta de planejamento urbano ou mesmo descaso da população, com frequência ocorrem lançamentos de esgotos e despejo de outros materiais poluentes nos mananciais, fazendo com que a água ao invés de ser fonte de saúde, seja fonte de contaminação (MELLO et al., 1996).

Dados da Organização Mundial de Saúde (2003) revelam que mais de três milhões de pessoas por ano morrem em decorrência de doenças veiculadas pela água. Kofi Anann, Secretário das Nações Unidas, em seu discurso no Dia Mundial do Meio Ambiente, em 2003, mencionou que as doenças veiculadas pela água matam 1 (uma) criança a cada 8 segundos e são responsáveis por 80% do total de doenças e mortes registradas no mundo em desenvolvimento. Em nosso país, conforme a Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente (ABEMA), 65% das internações hospitalares pediátricas e 80% das consultas ambulatoriais do mesmo grupo etário é devida a doenças veiculadas pela água (ABEMA, 2001). Segundo Novaes (2003), no Brasil, morrem diariamente seis mil crianças por doenças veiculadas pela água, e cerca de 40% dos alimentos são produzidos com irrigação. Constatase, que muitas doenças, que já haviam sido controladas, como a leptospi-

rose e dengue, entre outras (doenças re-emergentes), as clássicas (cólera e febre tifóide) são as responsáveis por tão elevados índices de morbi-mortalidade (WHO, 2004; MINAYO; MIRANDA, 2002).

Os conhecimentos sobre a interface água, saúde humana e ambiente foram observados em meados do século XIX, embora a identificação dos agentes microbianos tenham ocorrido somente no final daquele século e início do século XX. Em 1854, em Londres, ocorreu uma epidemia de cólera, doença cujo agente e forma de contaminação não se conhecia. O médico, John Snow, realizou um estudo, indicando no mapa da cidade a localização dos doentes de cólera e dos poços de água. Cabe esclarecer, que naquele tempo os poços eram a principal fonte de água dos habitantes da cidade. Com o mapeamento realizado, ele verificou que a maioria dos casos endêmicos estava concentrada em torno do poço da "Broad Street". A ordenação e lacração do poço contribuiu para debelar a epidemia (CÂMARA; MEDEIROS, 1996). Esse caso, forneceu a evidência empírica para a hipótese (comprovada mais tarde) de que a doença denominada cólera é transmitida por ingestão de água contaminada. Também, segundo Câmara e Medeiros (1996), o mapeamento realizado pelo Dr. Snow passou para a história como um dos primeiros exemplos que ilustra o poder explicativo da análise espacial, atualmente utilizado como procedimento que faz parte da metodologia em projetos ambientais.

No final do século XIX, em 1893, Oswaldo Cruz preocupado com a saúde das populações, em sua tese de doutoramento intitulada *A veiculação microbiana pelas águas*, apresentou minucioso estudo sobre as doenças veiculadas pela água. Conhecido como o patrono da Saúde Pública brasileira, Oswaldo Cruz pesquisou os micróbios

patógenos presentes na água, nos estados líquido, sólido e gasoso, em diferentes locais, na cidade do Rio de Janeiro.

Ao longo do século XX, com o avanço do conhecimento científico na área da saúde, foram identificados os agentes etiológicos de várias doenças e, também, suas formas de prevenção. Houve uma significativa mudança dos hábitos de higiene das populações e uma queda nas taxas de morbimortalidade. Nas questões de saúde ambiental, não se deve supervalorizar o agente, que é importante, mas é tão importante quanto seu determinante. É necessário preocupar-se com a multicausalidade das doenças, tendo em vista o equilíbrio entre os agentes ambientais e outros determinantes, que se constituem elementos decisivos para sua erradicação (MINAYO; MIRANDA, 2002; PHILIPPI JR et al., 2000).

No contexto brasileiro, as políticas de saúde pública se voltavam para o sujeito e os agentes das doenças, ou seja, a doença. Assim, somente na década de 1970 foi criada, em nível governamental, a Secretaria de Vigilância Sanitária, Ministério da Saúde, órgão regulador das questões ambientais e da à saúde.

8.3 ÁGUA, SAÚDE HUMANA E AMBIENTE

O ser humano, ao nascer, é o ser vivo mais dependente do meio. Embora, durante seu ciclo vital, seja o que mais interfira nesse mesmo meio, muitas vezes de maneira irresponsável e predatória. Para sobreviver, o homem, além de um bom potencial genético, tem necessidades básicas, sem as quais não poderia viver. Essas necessidades, fornecidas pelo meio ambiente, são o oxigênio, a água e a nutrição, comuns a todos os seres vivos, e ainda o calor e afeto humano, pela sua natureza bio-psico-social.

O oxigênio, inspirado no primeiro instante da vida extra-uterina, é fundamental para dar início e continuidade à reação química com a glicose, fornecida pela alimentação, que produzirá energia – a força da vida. Mas só o oxigênio não basta para a manutenção da vida; em ordem de necessidade vital, vem a água e só bem depois a alimentação.

Ao se analisar a composição corporal de uma pessoa, verifica-se que o corpo pode ser considerado como uma solução distribuída em compartimentos. Ao nascer, 74% da composição corporal são constituídos por água; 12% por proteínas; 12% por gorduras e 2% por minerais (Figura 8.1).

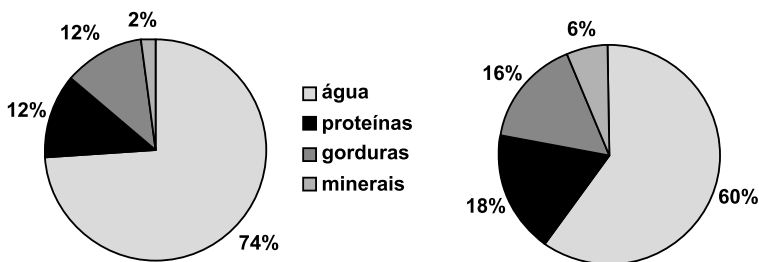


Figura 8.1 – Distribuição percentual da água, proteínas, gorduras e minerais no corpo humano.

Ao longo da vida, essa relação vai se modificando, mas sempre a água é o principal componente, ficando entre 70% e 60%, conforme o grupo etário, quanto maior for a idade, menor será a percentagem de água (CARRAZZA; MARCONDES, 1991).

A água intracorporal está em todos os tecidos; é o meio no qual transitam os elementos biológicos e químicos do organismo. O sangue é um bom exemplo para ser observado, pois ele está ao nosso alcance. É constituído por elementos biológicos (glóbulos vermelhos, glóbulos brancos, plaquetas, e demais elementos) e sais minerais que têm a

água como veículo para se transportarem a todas as partes do organismo.

Por outro lado, muitas das substâncias resultantes das reações químicas que ocorrem permanentemente no organismo seriam tóxicas se permanecessem nele e, por isso, devem ser eliminadas pela água, por meio de vários sistemas e funções: suor, urina, fezes e expiração. Para manter o equilíbrio entre o que é eliminado e o que deve ficar no organismo, a pessoa deve repor quantidades de água, que variam de acordo com a idade e o peso, variando de 6 a 8 copos de água por dia. Como visto acima, a água é a principal substância que compõe o organismo humano. Conforme a Declaração Universal dos Direitos da Água:

Art. 2º - A água é a seiva do nosso planeta. Ela é a condição essencial de vida de todo ser vegetal, animal ou humano. Sem ela, não poderíamos conceber como são a atmosfera, o clima, a vegetação, a cultura ou a agricultura. O direito à água é um dos direitos fundamentais do ser humano: o direito à vida, tal qual é estipulado do Art. 3º da Declaração dos Direitos do Homem.

A água é fundamental para a manutenção e conquista da saúde, pois é pela higiene pessoal, dos alimentos e do ambiente que a pessoa poderá preservar sua saúde.

Somente a água pura, tal como a natureza nos oferece, com todas suas características resguardadas, é direta ou indiretamente benéfica ao homem. O ser humano, na sua terceira necessidade básica – a alimentação – necessita dos demais seres vivos (vegetais e animais) que também necessitam da água, como expressado anteriormente (ONU, 1992).

A vida depende da existência de água e esta, por sua vez, está presente praticamente em todas as atividades humanas: transporte, lazer, processos industriais, comerciais e agrícolas, que demandam água em qualidade e quantidade diferenciadas.

8.4 DOENÇAS RELACIONADAS À ÁGUA POLUÍDA

De todos nossos recursos naturais, a água tornou-se o mais precioso... Em uma era em que a humanidade se esqueceu de suas origens e cegou-se até mesmo para as necessidades mais básicas de sobrevivência, a água junto com outros recursos tornou-se vítima de nossa indiferença (CARSON, 2003, p. 24).

Ao longo da história, a humanidade tem passado por períodos nos quais se poderia pensar que seriam resolvidos problemas que afetavam sua qualidade de vida, como, por exemplo, a descoberta dos agentes microbianos, responsáveis pelas epidemias e suas formas de transmissão, muitas veiculadas pela água. Nos dois últimos séculos, a Ciência demonstrou avanços inquestionáveis em relação a tecnologias e métodos de diagnósticos e na descoberta de medicamentos para a cura de praticamente todas as doenças.

No entanto, a água, um dos elementos mais preciosos da natureza, tem sido um bem com que o homem não tem se preocupado o suficiente para controlar de forma global todos os fatores que influenciam sua preservação. Pelo contrário, o homem tem agido de forma, muitas vezes, inconseqüente, causando impacto desastroso, o que leva à manutenção ou ao ressurgimento de problemas já enfrentados pelos povos da Antiguidade.

Com a crescente urbanização e aumento da densidade populacional, as doenças infecciosas relacionadas à água são, atualmente, a maior causa de morbi-mortalidade em todo o mundo (MINAYO; MIRANDA, 2002; WHO, 2004). Embora sua prevenção seja largamente conhecida nos meios científicos, essas doenças assumem, atualmente, proporções inaceitáveis, demonstrando a dissociação entre a academia e a qualidade de vida das populações. A água, o saneamento e a higiene têm importante impacto tanto na saúde quanto na doença e dependem não só dos profissionais de saúde, mas de todas as áreas que, direta ou indiretamente, possam interferir no equilíbrio ambiental.

Além dos agentes biológicos que se manifestam, na maioria das vezes por gastroenterite (diarréia e vômitos) pela contaminação fecal-oral, cresce a contaminação do homem por agentes químicos. Esses agentes, muitas vezes, se acumulam paulatinamente no organismo, apresentando evolução insidiosa, tendo sido relacionados com aumento da prevalência de câncer, abortos, doenças congênitas, depressão, entre outras (MINAYO; MIRANDA, 2002; ABEMA, 2004; CALLIARI, 1994). As doenças causadas por agentes biológicos podem variar quanto à sua gravidade: desde sintomas leves e autolimitados até consequências graves, como óbito, dependendo do agente, da idade e do estado prévio de higidez da pessoa. Em países em desenvolvimento, como o Brasil, em regiões pobres, sem saneamento básico, carência alimentar, as crianças menores de dois anos, principalmente após o desmame, têm sido mais afetadas, elevando a taxa de morbidade e mortalidade.

8.4.1 Transmissão

A disseminação das doenças infecciosas, causadas por agentes biológicos, e as doenças tóxicas, causadas por agentes químicos, podem ocorrer de forma direta ou indireta. Na forma direta, ocorre pela ingestão de água ou alimentos contaminados por fezes, vômitos de doentes, urina de animais infectados como ratos, cães e animais silvestres, bem como por agentes químicos (BRASIL 2006a).

A transmissão pode se dar por:

a) via oral – ingestão de água contaminada e/ou de alimentos contaminados pela água, alimentos contaminados pelas fezes de portadores, ou pela urina de animais infectados contaminados (ratos, cães, animais silvestres, como raposas, gambás) no caso da leptospirose;

b) via pele e mucosas – no contato com água contaminada, o agente passa através da pele e das mucosas, especialmente de pessoas que trabalham na água, nadadores ou banhistas.

Na forma indireta, a água tem um importante papel nas doenças transmitidas por insetos, cujo ciclo evolutivo necessariamente se processa na água. Assim, pode-se considerar que a água participa indiretamente na veiculação de doenças como dengue, febre amarela, filariose e malária.

8.4.2 Doenças e seus agentes

A seguir, são apresentadas as doenças mais frequentes ocasionadas por agentes veiculados pela água e suas características. São elas: infecção por Rotavírus, cólera, disenteria amebiana, disenteria bacilar, febre tifóide e paratifóide, giardíase, hepatite infecciosa e leptospirose.

a) Infecção por Rotavírus

Em geral, o quadro clínico clássico se caracteriza

pelo início abrupto com vômitos e febre alta, sobrevivendo diarréia profusa, podendo levar ao óbito, principalmente quando atinge crianças. Em nosso país, estudos em hospitais brasileiros verificaram a prevalência de diarréia por rotavírus de 12% e 42% (LINHARES, 2000). Pesquisas realizadas em várias partes do Mundo indicam os tipos e formas de contaminação, havendo a hipótese de propagação via hídrica. Atualmente, já se dispõe de vacina contra o Rotavírus, fazendo parte do calendário vacinal obrigatório para crianças no 2º e 4º mês de vida (BRASIL, 2006a).

b) Cólera

O cólera pode se apresentar desde formas benignas e assintomáticas, que são as mais freqüentes, até formas graves. Nos casos graves, apresenta-se como uma infecção intestinal aguda, grave, de início súbito, diarréia aquosa profusa, com ou sem vômitos e desidratação rápida, podendo levar ao óbito em poucas horas após o início da doença. Não há febre. O agente é *Vibrio cholerae*.

c) Desintéria amebiana

A desintéria amebiana é uma infecção causada por protozoário, que se apresenta sob duas formas: trofozoíto e cisto. Pode se apresentar assintomática (quando comensal) ou manifestar-se sob a forma de desconforto abdominal de leve a moderado, com evacuações com muco e/ou sangue, a uma diarréia fulminante, podendo ser acompanhada de calafrios, e ter um caráter fulminante. Quando ganham a corrente circulatória, os trofozoítas podem se localizar no fígado, no cérebro ou nos pulmões, causando abscessos. Quando não diagnosticado a tempo, podem levar ao óbito (BRASIL, 2006b). O agente é *Entamoeba histolytica*.

d) Shigelose ou desintéria bacilar

A shigelose ou desintéria bacilar é uma infecção

bacteriana intestinal que pode se manifestar de forma assintomática ou subclínica, ou de forma grave e tóxica. Nesse caso, a shigelose se manifesta de forma aguda e toxêmica e se caracteriza por diarréia aquosa, febre, frequentemente vômitos, dores abdominais e cólicas. As evacuações, nos casos graves, podem se apresentar mucosanguinolentas. Os agentes são *Shigella dysenteriae*, *S. flexneri*, *S. boydii* e *Sonnei*.

e) Febre tifóide

A febre tifóide é doença bacteriana generalizada que se caracteriza por febre alta, contínua, mal-estar e falta de apetite, tosse seca, bradicardia relativa (dissociação pulso temperatura, sinal de Faget), manchas róseas no tronco (roséola tífica), esplenomegalia. Pode ocasionar constipação ou diarréia e comprometimento do sistema nervoso central. Pode levar ao óbito (2% a 3%). O agente é a *Salmonella typhi*.

f) Febre paratifóide

Semelhante à febre tifóide, a febre paratifóide apresenta um quadro mais leve, às vezes somente uma diarréia transitória. O agente é a *Salmonella Paratypi*.

g) Giardíase

Giardíase ocorre em crianças. A infecção é causada por protozoário localizado na porção superior do intestino delgado, freqüentemente assintomática, porém, pode se manifestar muitas vezes por inapetência, dor abdominal, diarréia e falta de desenvolvimento. O agente é a *Giardia lamblia*.

h) Leptospirose

O quadro clínico da leptospirose pode variar desde leve, moderado à grave. É uma doença infecciosa que se caracteriza clinicamente por início agudo, febre, cefaléia,

calafrios, intenso mal-estar, vômitos, mialgias, conjuntivite e, ocasionalmente, reação meningéia. A forma mais grave apresenta icterícia, insuficiência renal, anemia hemolítica e hemorragia da pele e das mucosas, hemoptise. A taxa de letalidade (óbito) varia conforme a forma da doença, mas aumenta com a idade do paciente. Os agentes são a *Leptospira icterohaemorrhagiae* e outras *leptospiras*.

A transmissão ocorre pelo contato com a água contaminada pela urina de animais infectados (principalmente o rato doméstico e o rato de esgoto). O agente infeccioso penetra através de solução de continuidade da pele ou das mucosas, ou, possivelmente, por ingestão. Outros reservatórios de menor importância são os caninos, suínos, bovinos, equinos, ovinos e caprinos.

i) Hepatite A e Hepatite E

A hepatite consiste numa doença viral aguda, podendo ser benigna ou apresentar-se em forma mais grave. O quadro clínico é tanto mais intenso quanto maior a idade do paciente. Tem início súbito, com febre, mal-estar, astenia, fadiga intensa, artralgia, anorexia, náuseas, dores abdominais, colúria (urina escura), seguidas de alguns dias por icterícia. Pode ocorrer hipocolia (fezes claras). Os agentes são vírus da Hepatite A e E.

A transmissão se dá por via fecal-oral, veiculação hídrica, pessoa-pessoa, alimentos contaminados e objetos inanimados. As transmissões percutânea (inoculação acidental) e parenteral (transusão) são muito raras.

Como visto anteriormente, a transmissão/contaminação pode ocorrer também via pele e mucosas – por meio de contato com água contaminada, o agente passa através da pele e das mucosas. Pessoas que correm mais riscos são as que trabalham na água, nadadores ou banhistas.

j) Esquistossomíase

A esquistossomíase é uma infecção causada por um trematódeo. Os sintomas da doença estão relacionados com o ciclo evolutivo do parasita e também em relação ao tecido infectado. Os agentes são *Schistosoma mansoni*, *S. japonicum* e *S. haematobium*. O *Schistosoma mansoni* e o *S. japonicum* apresentam principalmente manifestações intestinais e comprometimento hepático, e o *S. haematobium* apresenta sintomas relacionados ao aparelho urinário. Em nosso país, o *S. mansoni* é o responsável pela esquistossomíase.

A transmissão ocorre do seguinte modo: os ovos do *S. mansoni* são eliminados com as fezes do hospedeiro infectado (o homem); na água, eles eclodem, liberando uma larva ciliada que infecta o caramujo (hospedeiro intermediário) e, mais tarde, o abandonam, permanecendo na água. Essas larvas do parasita passam através da pele e das mucosas do indivíduo que entra em contato com água contaminada.

A seguir, são descritas as doenças veiculadas pela água de forma indireta, nas quais a água participa no ciclo evolutivo dos mosquitos transmissores do agente etiológico da doença.

k) Dengue

A dengue se caracteriza por infecção febril de início súbito, que pode ter curso benigno ou grave. Pode se apresentar na forma de infecção inaparente, dengue clássico (DC), febre hemorrágica da dengue (FHD) ou síndrome do choque da dengue (SCD). A DC, em geral, inicia abruptamente, com febre elevada (39-40°C), cefaléia (dores de cabeça) intensa, mialgias (dores musculares) e artralgias (articulares), prostração, anorexia, náuseas e vômitos. Alguns casos apresentam eritema (vermelhidão) generalizada,

petéquias (pontos vermelhos) e até pequenas hemorragias. Na FHD e SCD, os sintomas iniciais são semelhantes aos da DC, mas no terceiro ou quarto dia o quadro clínico se agrava, com dor abdominal intensa, agitação ou letargia, hemorragias, hipotensão postural ou diminuição da pressão diferencial, queda brusca de temperatura, pulso rápido e débil, choque. A evolução é rápida, podendo levar ao óbito em 12 a 24 horas ou à rápida recuperação, se diagnosticada e tratada de imediato (BRASIL, 2006b).

Em nosso país, está havendo um surto desta enfermidade que é causada pelo Vírus da Dengue. A transmissão de uma pessoa para outra ocorre pela picada de mosquito, o *Aedes aegypti* que, ao picar uma pessoa doente, se contamina pelo vírus, e ao picar a pessoa sadia, transmite-lhe o vírus, disseminando, assim a doença.

l) Febre amarela

A febre amarela consiste numa doença infecciosa aguda de curta duração e de gravidade variável, com início súbito, ocasionando febre, dor de cabeça, prostração, náuseas e vômitos. Pode se apresentar desde a forma subclínica e/ou leve até formas graves que podem levar ao óbito. Podem ocorrer hemorragias: epistaxes (sangue pelo nariz), hemorragia bucal, hematêmese (vômito de sangue) e melena (fezes hemorrágicas). Icterícia (amarelão) também pode se manifestar. O agente é o vírus da febre amarela, e o modo de transmissão se dá pelo mosquito *Aedes aegypti*.

m) Filariose ou filariase

A filariose ou filariase é uma infecção causada por um nematóide que vive nos vasos linfáticos do indivíduo contaminado, cujas manifestações são febre, linfangite e linfadenite (vergões, ínguas). A filariose é conhecida vulgarmente pelo nome de Elefantíase. O agente é *Wuchereria bancrofti*.

A transmissão ocorre pela picada de mosquitos infectados por larvas infectantes. São numerosas as espécies de mosquitos transmissores. Um exemplo é *Culex fatigans*.

n) Malária

São várias formas de malária. A forma grave apresenta febre, calafrios, suores, dores de cabeça, icterícia, hemorragias, encefalite aguda, insuficiência renal e coma. Como ocorre em regiões tropicais, é coerente pensar em malária em pessoa que apresenta esses sintomas e que tenha estado em região tropical. A doença na forma benigna apresenta sintomas leves e não leva ao óbito. Os agentes são *Plasmodium falciparum* e *Plasmodium vivax*.

A transmissão ocorre pela picada do mosquito *Anopheles* infectado. Pode também ser transmitida por injeções ou transfusão de sangue por indivíduo infectado, por meio de seringas contaminadas.

o) Doenças químicas de veiculação hídrica

A água pode, ainda, pela ação do homem, veicular doenças químicas, pela contaminação do solo e/ou águas subterrâneas, por disposição inadequada de resíduos sólidos ou líquidos e reutilização de vasilhames, intoxicações por mercúrio, chumbo, alumínio, solventes (tricloroetano, dicloroetileno), agrotóxicos, herbicidas, ocasionando doenças neurológicas e teratogênicas (abortos espontâneos e anomalias congênitas).

8.4.3 Prevenção das doenças veiculadas pela água

De acordo com Anann (2003, p.12),

O acesso à água potável é uma necessidade humana fundamental e, assim, um direito

básico. Água contaminada põe em risco a saúde física e social de toda a população. É uma afronta à dignidade humana.

As medidas em relação à natureza incluem estas ações: proteger, purificar e clorar a água; não contaminar o solo e/ou águas subterrâneas, colocando resíduos sólidos ou líquidos; combater os mosquitos, eliminar vasilhames contendo água parada, eliminando seus criadouros; manter limpo o ambiente doméstico e de trabalho.

As medidas pessoais incluem: usar água tratada, ferver a água ou usar filtro; realizar a higiene das mãos antes das refeições e após ir ao banheiro; usar calçados; não tomar banho em águas de zonas que possam estar contaminadas; não reutilizar vasilhames que tivessem produtos químicos e eliminar vasilhames contendo água parada.

Na higiene dos alimentos, é importante lavar as mãos antes de tocar nos alimentos, lavá-los muito bem, protegê-los, cobrindo ou acondicionando devidamente.

No âmbito de saúde pública, são fundamentais: purificação do abastecimento de água, remoção sanitária das fezes humanas, inspeção sanitária da preparação, manipulação e distribuição de alimentos, principalmente os que são consumidos crus e úmidos.

Como se pode constatar, este tema, apesar de ser de extrema relevância, não tem merecido a atenção devida. Por outro lado, as doenças veiculadas pela água extrapolam o âmbito da saúde pública, fazem parte das ciências ambientais que, por sua pluridimensionalidade, requerem condições de vida para a população atual e futura. Assim, cientistas da área da saúde e das ciências ambientais (MINAYO & MIRANDA, 2002; WHO, 2004) são unânimes ao enfatizar

a importância da formação de uma consciência coletiva, de forma integrada, participativa e descentralizada. Isso poderá ser atingido por meio da educação em saúde ambiental, a fim de promover a conscientização da população e de seus gestores sobre uma postura ambiental, tendo em vista a sustentabilidade da água em zonas rurais e urbanas, para o bem-estar desta e das gerações futuras.

8.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As doenças ocasionadas por agentes biológicos (bactérias, vírus, espiroquetas, protozoários e helmintos) e agentes químicos estão relacionadas diretamente aos hábitos pessoais de higiene, ao saneamento básico, à consciência ecológica, à educação ambiental e à educação para a saúde.

REFERÊNCIAS

ABEMA. CARTA DE VITÓRIA / 2001.05 de Março de 2001. **Proposição de diretrizes para elaboração do Programa integrado de recuperação de passivo ambiental de poluição das águas por esgotos e lixo** (REPAPA). Disponível em: www.abema.org.br/content/publicacoes/publicacao. Acesso em: 02 de maio de 2008.

ANANN, K. **Mensagem do Secretário-geral da ONU Kofi Annan, por ocasião do Dia mundial do ambiente - 05 de Junho de 2003**
Fonte: Centro Regional de Informação da ONU em Bruxelas, RUNIC. Disponível em: <http://www.onuportugal/pt>. Acesso em 02 de maio de 2008.

_____. **Emerging Issues in Water and Infections Diseases**. Genebra: WHO, 2003.

BRASIL. DIVISÃO DE CONTROLE DE DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA. Disponível em: www.cve.saude.sp.gov.br/htn/hidrica. Acesso em 17 de janeiro de 2004.

_____. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SOCIEDADE BRASILEIRA DE PEDIATRIA. **Calendário Vacinal**, 2006a.

_____. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Doenças infecciosas e parasitárias**. 6. ed. rev. Brasília, DF, 2006b.

_____. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 1991.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos, São Paulo: INPE, 1996.

CARRAZZA, F.; MARCONDES, E. **Nutrição Clínica em Pediatria**. São Paulo: Sarvier, 1991.

CRUZ, O. G. **A veiculação microbiana pelas águas**. 199 p. Tese (Doutorado em Medicina) - Rio de Janeiro, Typ. Pap. e Impr. Successora de Carlos Gaspar da Silva. 1893.

CALLIARI, M. R. T. **Levantamento da ocorrência de anomalias congênitas na região de Passo Fundo**. Associação dos ex-Bolsistas da Alemanha/RS: Saúde Ambiental Responsabilidade de Todos. Porto Alegre: Editora Dubus, 1994.

CARSON, R. **Silent Spring in Emerging Issues in Water and Infections Diseases**. WHO, Genebra 2003.

JOCKYMAN, V. **As cidades e a doença ambiental**. Associação dos ex-Bolsistas da Alemanha/RS: Saúde Ambiental Responsabilidade de Todos. Porto Alegre: Dubus, 1994.

LINHARES, A. C. Epidemiologia das infecções por rotavírus no Brasil e os desafios para seu controle. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, p. 629-646, 2000.

MELLO, L. F. S. et al. **Proposições para restauração e reurbanização de áreas limítrofes ao Arroio Cadena**. Projeto de Extensão. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria e Prefeitura Municipal de Santa Maria. 1996.

MINAYO, M. C. S.; MIRANDA, A. C. **Saúde e ambiente sustentável: estreitando nós**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2002.

NOVAES, W. **Depois do Rio+10**. Disponível em: www.ct-tmar.univali.br/~sba/washington_novaes.pdf . Acesso em 17 de janeiro de 2004.

PHILIPPI JR., A. et al. A interdisciplinaridade como atributo da ciência e tecnologia. **In: Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais**. São Paulo: Signus, 2000.

WHO. **Declaração Universal dos Direitos da Água**. Histoire de L'Eau, Georges Ifrah, Paris, 1992

WHO. **Water Sanitation and Health (WSH)**. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/en. Acesso em: 17 jan. 2004.

Capítulo IX

A ÁGUA NOS CONTEÚDOS ESCOLARES: SABERES E POSSIBILIDADES DE ENSINO

Noemi Boer

nboer@terra.com.br

9.1 INTRODUÇÃO

A aquisição do conhecimento ao longo da vida está associada às diferentes experiências e situações de aprendizagem vivenciadas, desde cedo, no âmbito familiar, social e escolar. Os processos educativos escolares envolvem, necessariamente, a relação professor-aluno-conhecimento. A partir dessas interações, o sujeito se apropria do saber escolarizado, da linguagem e dos padrões de comportamento que dão significado à sua vida.

Nesse contexto, a partir das informações de ordem geral e específica sobre a água no planeta e da sua importância como fonte de vida, apresentadas e discutidas no decorrer do Curso de Capacitação de Professores, descrito na introdução deste livro, três pontos de discussão são levantados na abordagem do tema água pela escola. Inicialmente, considera-se importante identificar a relevância da adequação do conhecimento científico em saber escolar, necessária à compreensão do aluno que, em última instância, é a principal razão do trabalho docente. Esse item compreende também a construção do conhecimento

na perspectiva bachelardiana. Na sequência, faz-se necessário situar a água na organização curricular. Tradicionalmente, a água é um tema de estudo das Ciências Naturais, mas, na atualidade, insere-se também como um conteúdo transversal trabalhado pela Educação Ambiental. Por último, apresentam-se alternativas pedagógicas viáveis para a abordagem do tema águas e que foram discutidas com os professores participantes do Curso de Capacitação.

9.2 SABER CIENTÍFICO E SABER ESCOLAR

O conhecimento científico, também chamado por Chevallard (1991) de saber sábio, é resultado do trabalho de um grupo de profissionais, os pesquisadores e cientistas, das diversas áreas, que desempenham um importante papel na geração de novos conhecimentos e de novas tecnologias. Considera-se que os novos conhecimentos gerados pela ciência e pela tecnologia têm implicações na tomada de decisões em políticas públicas e para o ensino de modo geral. Por exemplo, a ciência pode e deve suprir o *deficit* de conhecimentos a respeito dos problemas ambientais, como a contaminação das águas, as mudanças climáticas, a diminuição dos recursos renováveis, entre outros. Nesse caso, o conhecimento científico adquire características específicas, voltadas à sustentabilidade do meio ambiente. Cabe lembrar, aqui, que a educação ambiental, a partir da década de 1990, incorporou também a incumbência de trabalhar as questões relativas a sustentabilidade.

Os novos conhecimentos gerados pela ciência são, gradativamente, incorporados no fazer humano. Uma parcela desses conhecimentos, são transformados em saber escolar e, posteriormente, incorporados ao currículo de

uma disciplina ou, então, trabalhados de forma transversal como é o tema meio ambiente.

Desse modo, o conjunto de conteúdos do currículo escolar tem como principal aval de consulta o saber produzido pela comunidade científica. No entanto, para que se transforme em saber escolar, o conhecimento científico passa por uma série de adaptações que compreende modificações de estatuto teórico dos conceitos e de ordem metodológica. A essas adaptações, Chevallard (1991), Astolfi e Develay (1991) chamam de transposição didática. A transposição didática é feita por cientistas, professores, especialistas, autores de livros e outros agentes da educação que fazem a mediação entre o conhecimento científico e o saber escolar. Esses profissionais constituem um círculo de pensamento intermediário entre a pesquisa e o ensino que Astolfi e Develay (1991) chamam de noosfera.

Portanto, se considerarmos o contexto escolar, observa-se que há uma distância muito grande entre o meio, no qual o conhecimento científico foi gerado e o meio, no qual o aluno aprende esse conhecimento. O professor, ao preparar suas aulas, dificilmente tem acesso a fontes primárias da produção científica. Normalmente, lança mão das criações didáticas, como os livros didáticos, que apresentam uma adaptação do saber científico ao universo escolar. Apesar de se constituírem no principal recurso disponível ao professor, as criações didáticas, muitas vezes, advêm de conceitos malelaborados ou de transposições que, ao longo dos anos, foram se modificando tanto a ponto que a textualização do saber já não representar o real.

Do ponto de vista epistemológico, as modificações do conhecimento científico, quando malelaboradas, constituem-se em obstáculo pedagógico tanto para o professor

que ensina como para o aluno que, como aprendiz, se encontra como que no “fim da linha” do processo de apropriação do conhecimento.

Os aspectos referentes à produção do conhecimento e sua transformação em saber escolar são relevantes porque a água, como foco central deste livro, integra o rol de temas trabalhados pela disciplina de Ciências Naturais e também pela Educação Ambiental. Por isso, o domínio do conhecimento científico é necessário para a compreensão correta do tema e para estabelecer relações com situações de vida cotidiana em que são identificados os processos que envolvem as mudanças de estado físico da água, as relações entre qualidade da água e saúde humana, as relações entre água e seres vivos, entre outros (BRASIL, 1997).

Quando a água é abordada na perspectiva de relação com situações de vida, a aprendizagem se torna significativa à vida dos estudantes. Considera-se também que os fundamentos científicos trabalhados pela escola devem subsidiar a formação de atitudes dos estudantes em relação às questões do meio ambiente e à água em particular.

Estudo realizado por Nascimento e Boer (2007)¹ sobre as percepções de estudantes das séries finais do ensino fundamental sobre a procedência e o destino da água que chega até suas residências mostra que acima de 90% dos participantes têm compreensão equivocada ou incompleta do tema. Do universo estudado, poucos estudantes conseguem estabelecer relações entre a água da torneira de sua casa e o ciclo hidrológico. Dos estudantes de zona urbana, a grande

¹ Participaram da pesquisa 227 estudantes do 5º ao 9º ano, em duas escolas da rede municipal de ensino de Santa Maria, RS. Uma das escolas é de zona rural e outra de zona urbana.

maioria identifica como origem da água que chega até as suas residências a empresa concessionária e, dos estudantes de zona rural, o poço. Nos dois grupos em que o estudo foi realizado, o esgoto foi apontado como destino final da água servida nas residências por 97% dos participantes.

Ao se dar ênfase ao conhecimento científico, na abordagem do tema água, considera-se que os estudantes possuem concepções prévias, elaboradas a partir de suas vivências, da sua cultura e, muitas vezes, do senso comum. Entende-se, aqui, que a escola precisa romper concepções de senso comum para que o aluno se aproprie do conhecimento científico por meio de aprendizagens por mudança conceitual. Essa ideia pode ser explicitada a partir da concepção bachelardiana de ruptura como uma descontinuidade entre o conhecimento vulgar e o científico. No item a seguir, apresenta-se uma sistematização sobre a construção do conhecimento, fundamentada no pensamento bachelardiano.

9.3 A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

A visão bachelardiana nos dá a convicção de que é em termos de obstáculos epistemológicos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado. Esses obstáculos estão no âmago do próprio ato de conhecer e geram estagnação, inércia e até regressão. A experiência inicial é, para Bachelard (1971), o primeiro obstáculo que deve ser superado, pois aquela está situada antes e acima da crítica, que é um elemento integrante do espírito científico. Nesse sentido, o autor afirma que “o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo à espiritualização” (BACHELARD, 2001, p.17).

A noção de obstáculo epistemológico pode ser estudada tanto pelo viés do desenvolvimento histórico do pensamento científico, como pela prática pedagógica. A opção, neste texto, é pela prática pedagógica que, segundo Lopes (1993), para ser entendida, é preciso se reportar a dois pontos fundamentais em Bachelard: o processo ensino-aprendizagem e a função do professor.

Nos processos de ensino, a aprendizagem não ocorre pelo acúmulo de informações, uma vez que, para Bachelard, as informações só se transformam em conhecimento na medida em que modificam o espírito do aprendiz. Para ele, “não existem respostas prontas para perguntas previsíveis, mas a constante aplicação do pensamento para a elaboração de um intertexto” (BACHELARD apud LOPES, 1993).

Quanto à função do professor, Lopes (1993), com base em Bachelard, aponta que um dos maiores obstáculos ocorre quando o professor se prende a um dogmatismo aniquilador da cultura, na medida em que impõe aquilo que deve ser absorvido como dado absoluto e distribui conhecimentos efêmeros e desordenados, de forma autoritária. Por outro lado, o professor terá um importante papel se trabalhar para a mobilização permanente da cultura.

Na educação de crianças e adolescentes, deve haver uma severidade que se justifica pelas experiências, pelos encadeamentos tradicionais e pelas realizações estéticas. Cabe ao professor trabalhar esses três níveis para promover a aprendizagem sem a imposição do saber. Dessa forma, os obstáculos pedagógicos dizem respeito à figura do professor que, na sua ânsia por ensinar, coloca-se como pai intelectual do aluno. Esse paternalismo, segundo o autor, acaba tendo um sabor insuportável de irracionalidade (BACHELARD, 2001).

Na educação, “a noção de obstáculo pedagógico também é desconhecida”, afirma Bachelard (2001, p.23). O autor considera surpreendente que determinados professores não compreendam que alguém não compreenda. Por essa razão, os obstáculos pedagógicos referem-se ao desconhecimento ou desinteresse docente pelo conhecimento anterior do aluno e aos entraves existentes nesse conhecimento. Bachelard (2001) parte do princípio de que é preciso desfazer, derrubar os obstáculos sedimentados na vida cotidiana para iniciar uma cultura científica. A esse fato chamou de psicanálise dos erros iniciais. Para ele, toda cultura científica deve começar por uma catarse intelectual e afetiva. Depois, é possível colocar a cultura científica em estado de mobilidade permanente, substituir o saber fechado e estático por um conhecimento aberto e dinâmico. Esse argumento nos dá a ideia de que, no processo pedagógico, é preciso destruir conhecimentos já estabelecidos para construir conhecimentos novos que, de certa forma, serão contra os conhecimentos elaborados a partir do senso comum.

Como estratégia de ensino, Bachelard (1990) defende uma metodologia que parte da prática, faz a teorização e volta novamente à prática. Essa abordagem tem similaridade com a proposta de ação-reflexão-ação, de Paulo Freire.

Se Bachelard (1990) parte do princípio de que é preciso desfazer os obstáculos sedimentados para iniciar uma cultura científica, Snyders (1988) refere-se à ruptura de uma cultura primeira para a aquisição de uma cultura elaborada.

A cultura primeira, está associada ao senso comum, a uma cultura que se criou sem ensinamentos e busca valores reais, fundamentais que, em parte, ela os atinge e, em parte, não. A cultura elaborada está relacionada aos conhe-

cimentos científico, artístico ou cultural, trabalhados pela escola, mas não apenas por esta. A cultura elaborada tem maior chance de viver com plenitude os mesmos valores da cultura primeira, porque, pela ruptura da cultura primeira, ela permite avançar, ir mais longe. A relação entre essas duas categorias de cultura colocá-las como síntese de continuidade e de ruptura no conhecimento (SNYDERS, 1988).

Esse autor refere-se também à cultura primeira como algo que se impõe a nós, que nos persegue e que nos acompanha e à cultura elaborada como algo a ser conquistado e que nos compete chegarmos até ela.

A interpretação que se faz aqui é que Snyders (1988) levanta dois aspectos interessantes e que nem sempre se os tem presentes no processo pedagógico. O primeiro refere-se à força dos estereótipos elaborados e interiorizados a partir de conhecimentos de senso comum e que acompanham o indivíduo nas suas formas de pensar e conceber o mundo. O segundo remete à responsabilidade pessoal em transcender a cultura primeira e buscar, na cultura elaborada, novos conhecimentos que possibilitam novas visões de mundo. Neste segundo aspecto, a função da educação e do professor como mediador do processo de ruptura da cultura primeira é fundamental para o aluno se apropriar da cultura elaborada. No entanto, será com o consentimento do aluno que o professor fará essa mediação. Dito em outras palavras, na apropriação da cultura elaborada, o aluno deve ser e sentir-se sujeito de seu próprio conhecimento com a mediação do professor. A esse respeito, Snyders (1988) afirma: "o progresso do conhecimento científico e a intervenção daquele que já sabe é indispensável para suscitar essa ruptura, o que não significa, de modo algum, introduzir noções totalmente prontas, totalmente feitas" (p. 102).

Outro autor que se alinha ao pensamento de Snyders é Paulo Freire, porém com algumas particularidades a respeito da construção do conhecimento. Freire (1998) refere-se à construção do conhecimento novo como algo que não se dissocia do conhecimento já existente, e Snyders (1988) considera necessária a ruptura, no caso, da cultura primeira do aluno para a sua apropriação da cultura elaborada. Por outro lado, ambos os autores reafirmam a idéia bachelardiana de que o conhecimento novo é sempre uma reconstrução.

Na perspectiva epistemológica de Freire (1986), a origem do conhecimento está na pergunta, nos problemas e nos seus enfrentamentos. Esses três aspectos, apontados pelo autor, são indicativos de uma linha metodológica de ação que podem orientar o planejamento de estudos relativos à água no contexto escolar. Em vista disso, apresenta-se, no item a seguir, o tema água no currículo escolar.

9.4 O TEMA ÁGUA EM NO CURRÍCULO ESCOLAR

Devido a importância e à abrangência, a água como tema de estudo no currículo escolar pode ser trabalhada a partir de diferentes enfoques e por diferentes disciplinas. Neste texto, apresenta-se a água na inserção da disciplina de Ciências Naturais e no campo da Educação Ambiental, bem como questão teórico-prática decorrente dessas abordagens.

9.4.1 A água em Ciências Naturais

Os conteúdos de Ciências Naturais são apresentados pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) em quatro blocos temáticos: Ambiente, Ser Humano e Saúde, Recursos Tecnológicos, Terra e Universo (BRASIL, 1997).

Mesmo que apresentados separados, os blocos temáticos contêm conexões, de maneira que seus conteúdos não são isolados.

A água, como tema de estudo, está relacionada principalmente ao bloco temático Ambiente, podendo ser abordada também pelos demais blocos. O bloco temático Ser Humano e Saúde ao tratar, por exemplo, do saneamento básico, relaciona à água ao lixo e à preservação da saúde. Ao discutir a preservação da saúde, as doenças humanas que têm como causa a contaminação pela água devem ser estudadas a partir de agentes ou vetores, sintomas e medidas profiláticas. É importante observar que esse tema está relacionado às condições de moradia, de trabalho e alimentação da população e às políticas públicas de saúde e educação.

No bloco, temático Ambiente, as relações entre água e seres vivos merecem um espaço amplo de estudo, porque a água é condição básica para que os diferentes processos biológicos ocorram. Incluem-se o metabolismo dos seres vivos, os processos de reprodução em animais, plantas e demais espécimes que dependem da água para a reprodução. É importante também para a determinação do *habitat* e do nicho ecológico, em seres vivos aquáticos (BRASIL, 1997).

Nesse mesmo bloco de ensino, as noções de ambiente se ampliam por meio do estudo das relações entre seus elementos constituintes, principalmente o solo e a água. A água, como um dos componentes do ambiente, pode ser investigada nas formas como é encontrada nos mares, rios, lagos, poços, geleiras, chuvas, e no corpo dos seres vivos (BRASIL, 1997).

Os parâmetros ressaltam a importância de se trabalharem as propriedades e características da água, como

solvente e seus estados físicos. A compreensão da troca de calor entre a água e o meio possibilita o entendimento dos estudantes de que a água é a mesma, mas o seu estado físico muda. Esse conhecimento é básico para a compreensão de como a água se transforma em diferentes estados físicos, formando o ciclo hidrológico.

É desejável também que os estudantes entendam que a água na natureza se encontra misturada a outros materiais. O mar, por exemplo, é uma mistura de água, vários tipos de sais e outros elementos. Desse modo, o estudo da água como solvente pode ser entendido a partir da abordagem dos ambientes aquáticos em que se observam diferentes formas de vida e diferentes tipos de relação entre os seres. A presença de determinadas espécies depende da incidência de luz e dos elementos presentes na água, como quantidade de sais dissolvidos, constituição do fundo dos rios, lagos e mares. A água como solvente também é exemplificada em um suco vegetal que contém água, sais minerais e outras substâncias dissolvidas (BRASIL, 1997).

A água como solvente pode ser verificável por meio de processos simples de separação de misturas, como a filtração e decantação da água lodosa; evaporação da água de sucos vegetais e da água salgada, entre outras possibilidades. Ainda, relacionando a qualidade da água como solvente, estuda-se sua importância para a higiene pessoal e ambiental, as formas de obtenção e tratamento da água, bem como o destino das águas servidas (BRASIL, 1997).

A água também pode ser estudada na sua relação com a luz, como na formação do arco-íris, entre outras possibilidades de ensino. Essas diversas possibilidades pressupõem flexibilidade de conteúdos e inovação metodológica, garantidas pela Lei de Diretrizes e Bases

da Educação Nacional (LDBN), Nº 9.394/96, que assegura autonomia pedagógica à escola, para planejar e desenvolver a sua proposta de ensino (BRASIL, 1996).

9.4.2 A água na educação ambiental

O enquadramento pedagógico da educação ambiental para todo o território nacional está inspirado nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), editados após a reforma educacional de 1996, como referência às escolas brasileiras. Os PCN destinados ao Ensino Fundamental, elaborados pelo Ministério da Educação, (MEC) em 1996, propõem uma educação comprometida com a cidadania e apontam para a necessidade de se resgatarem os princípios de convivência, baseados na liberdade, no diálogo e na responsabilidade. Elegeram, assim, trabalhar quatro pontos básicos: a dignidade da pessoa humana, a igualdade de direito, a participação e a corresponsabilidade pela vida social e coletiva (BRASIL, 1998).

A versão final dos Parâmetros para a 1ª a 4ª séries foi apresentada pelo MEC em 1997, e a versão final para o ensino de 5ª a 8ª séries, em 1998. O volume que apresenta os Temas Transversais trata de questões sociais referentes à Ética, Saúde, Orientação Sexual, Meio Ambiente, Trabalho e Consumo e Pluralidade Cultural. Para eleger os Temas Transversais, foram quatro os critérios adotados: urgência social, abrangência nacional, possibilidade de ensino e aprendizagem no Ensino Fundamental e, por último, a compreensão da realidade e da participação social (BRASIL, 1998).

Nesse documento, a perspectiva ambiental tem por justificativa um modo de ver o mundo em que se evidenciam as inter-relações e a interdependência dos elementos da constituição e manutenção da vida. Os objetivos e os princípios da educação ambiental, apresentados pelos PCN,

seguem as mesmas orientações estabelecidas na Conferência de Tbilisi, em 1977 (UNESCO, 1998), e corroboradas na Conferência de Tessalônica, em 1997 (UNESCO, 1999).

Para atingir seus fins, os PCN – Tema Transversal Meio Ambiente (BRASIL, 1998) apresentam como características básicas da educação ambiental a transversalidade e a interdisciplinaridade. Essas características estão fundamentadas na crítica de uma concepção de conhecimento que toma a realidade como um conjunto de dados estáveis.

Segundo esse documento, a perspectiva transversal nos processos educativos diz respeito, principalmente, à dimensão didática. Essa perspectiva aponta para adequação da prática pedagógica que deverá ser voltada à possibilidade de se estabelecerem relações entre a aprendizagem de conhecimentos sistematizados e as questões de vida cotidiana e sua transformação (BRASIL, 1998). Desse modo, entende-se que, para viabilizar a transversalidade do tema meio ambiente, as escolas necessitam discutir sua relevância, determinar que valores e atitudes desejam alçar com o trabalho escolar como um todo e proporcionar a integração entre alunos, professores e comunidade numa dimensão socioambiental. O esforço para concretizar esses fins exige um trabalho contínuo e sistemático na vida escolar com a participação de professores e de estudantes.

A interdisciplinaridade refere-se à abordagem epistemológica dos objetos do conhecimento e questiona a segmentação entre os diferentes campos do conhecimento como a visão compartimentada (disciplinar) na organização da estrutura escolar (BRASIL, 1998).

A origem e o conceito de interdisciplinaridade nos remetem ao pensamento de Sócrates, para quem

“todo conhecimento o é em sua totalidade” (FAZENDA, 2005, p. 6). Segundo esta autora, para fazer um trabalho interdisciplinar, é necessário que o professor tenha disciplina no sentido de ordem e de organização do conhecimento. Isso requer habilitar o professor na origem da sua disciplina, ou seja, ele deve saber e entender a história, os conceitos fundamentais e por que abraçou essa disciplina. Ele “só vai poder dialogar com outras disciplinas quando dialogar com a própria”, argumenta Fazenda (2005, p. 6).

A interdisciplinaridade também pode ser concebida como princípio metodológico na educação ambiental, porque a análise das questões ambientais transcende a dimensão ecológica. Desse modo, a educação ambiental exige o aporte e a incorporação de saberes de diferentes áreas que permitem a construção de um conhecimento mais complexo (NOVO, 1996). Essa autora argumenta que a interdisciplinaridade se impõe como uma exigência que parte da natureza complexa do meio ambiente, de maneira que o trabalho em educação ambiental terá mais sentido e será mais rico quando realizado por equipes multidisciplinares. Assim, ao se considerar a água um tema que deve ser trabalhado pela educação ambiental, tem-se presente que os problemas relacionados à água são apenas uma parte do conjunto de problemas que afetam o planeta.

Argumentamos que, desde tempos imemoráveis, a água tem sido usada como um recurso natural inesgotável. Na atualidade, a água doce está se tornando cada vez mais escassa em função da multiplicidade de seus usos, especialmente por setores produtivos, como a agricultura. Outros fatores também contribuem para a diminuição da quantidade de água disponível como o crescimento populacional e a poluição de rios e lagos (BOER, 2006).

A gradativa sofisticação do mundo nos últimos séculos modificou a relação do homem com a água, o que levou a um aumento vertiginoso de seu consumo (MAGALHÃES, 2004). Em apenas dois séculos, afirma o autor, a maioria dos lugares habitados era capaz de satisfazer toda a necessidade de água da sociedade local e de absorver a poluição lançada no meio ambiente sem deixar danos muitos significativos. Atualmente, poucos lugares habitados têm uma relação despreocupada com a água devido à sua escassez.

Considera-se, ainda, que a água é uma questão de prioridade, porque ela está na base da produção de alimentos, serve para a higiene, para a saúde e para o lazer do homem. A água é fundamental para a vida dos ecossistemas terrestres e aquáticos, para a navegação, para geração de energia, para a produção e desenvolvimento industrial e econômico dos povos.

Em vista disso, é necessário que a educação escolar contemple atividades que auxiliem os estudantes de todos os níveis a terem posturas corretas a respeito do uso e da conservação da água. Defende-se, aqui, que a água, como tema de estudo, tem característica transversal, de maneira que pode ser trabalhada tanto em atividades de educação ambiental, como em uma disciplina específica.

9.4.3 Questões teórico-práticas decorrentes da inserção da educação ambiental no ensino de Ciências Naturais

Ao se colocar o tema água como um conteúdo que pode ser trabalhado tanto pelo ensino de Ciências Naturais como pela educação ambiental, algumas considerações são necessárias, uma vez que existem críticas e diferentes posições relacionadas à inserção da educação ambiental

no ensino de Ciências Naturais e/ou de Biologia, como se pode observar nos argumentos de autores contemporâneos apresentados a seguir.

Selles e Ferreira (2005) argumentam que, nas disciplinas de Ciências e de Biologia, reside a expectativa de que os conhecimentos trabalhados pela escola possam auxiliar o aluno a enfrentar as questões das sociedades contemporâneas. Nessa perspectiva, esses autores defendem que as pesquisas de cunho biológico não podem prescindir de uma reflexão no âmbito social e citam, entre outros tópicos, as questões ambientais como tema de debate nas ciências biológicas.

Carvalho (2005) aponta que as questões ambientais escolares poderão ser um desafio para o ensino de Ciências e de Biologia, porque essas disciplinas têm características próprias que, de certo modo, se contrapõem à abordagem ambiental. O autor cita aspectos importantes, como a perspectiva descritiva e classificatória na apresentação do meio natural pelo ensino tanto de Ciências como de Biologia. Essa particularidade “acaba por dificultar uma visão mais geral e uma compreensão de conjunto” (CARVALHO, 2005, p. 91). Esse autor aponta também a necessidade de a escola trabalhar a produção do conhecimento científico como conteúdo, para evitar a crítica da mistificação do conhecimento científico levantada pelo movimento ambientalista. Alerta, ainda, que as práticas pedagógicas relacionadas ao meio natural devem cuidar para não cair no reducionismo biológico, ou seja, considerar que a relação sociedade/natureza possa ser explicada a partir da relação que as demais espécies biológicas mantêm com o meio.

Krasilchick (2001) argumenta que, no início, a pesquisa em educação ambiental foi influenciada pelos métodos experimentais, com uso de controle, próprio das Ciências

Naturais. Os projetos de primeira geração, como refere a autora, tinham cunho ecológico, davam atenção primordial a medidas do rendimento educacional de cursos para professores e alunos. No entanto, a discussão sobre a natureza da pesquisa científica influenciou no conteúdo dos projetos, de forma que os trabalhos feitos no Brasil, na atualidade, apresentam opções por diferentes linhas de pesquisa, o que corresponde à evolução do conceito de educação ambiental.

Trivelato (2001) argumenta que, principalmente na falta de uma tradição de trabalhos conjuntos e interdisciplinares na escola, a educação ambiental, quando presente, faz-se associada a uma disciplina, e a de Ciências tem sido uma delas. A autora se refere também à consolidação da educação ambiental a partir da década de 1970, período em que o ensino de Ciências também passou por transformações. Os problemas decorrentes dessas transformações atingiram todas as disciplinas e se constituíram em desafios para o ensino de Ciências, que, paralelamente, incorporou as mesmas questões relevantes à educação ambiental.

As interfaces ensino de Ciências e educação ambiental estariam nos temas que se referem “à compreensão e apreciação das inter-relações, entre os seres humanos, suas culturas e seus meios biofísicos” (TRIVELATO, 2001, p. 58).

Amaral (2001), referindo-se às controvérsias e concepções acerca da educação ambiental, questiona o direcionamento dado pelos PCN ao proporem o tema transversal Meio Ambiente. O autor argumenta que a inserção dos conteúdos relativos ao ambiente na educação escolar não encerrou as divergências relativas à educação ambiental. Considera que os PCN, ao colocarem o Meio Ambiente como um tema transversal, esvaziaram o conteúdo ambiental dos demais. Destaca-se, aqui, que, por natureza, os conteúdos

trabalhados em Ciências Naturais dizem respeito ao meio ambiente. No entanto, o entendimento é de que a simples abordagem desses conteúdos não garante a reflexão necessária à compreensão dos diferentes modos de a sociedade humana se relacionar ao meio físico-natural e ao desenvolvimento de um conjunto de valores e habilidades ao qual se refere a educação ambiental.

A educação ambiental, quando associada aos conteúdos de Ciências Naturais, aproxima-se muito das correntes conservacionista/recursista e científica, descritas por Sauvè (2005).

Na corrente conservacionista/recursista, a educação ambiental agrupa proposições centradas na “conservação” da quantidade e qualidade dos recursos naturais como a água, o solo, a energia, as plantas, os animais, o patrimônio genético, patrimônio construído, entre outros recursos (SAUVÉ, 2005). Segundo essa autora, quando se menciona a conservação da natureza, como a biodiversidade, trata-se, sobretudo de uma natureza-recurso, o que exige uma administração do meio ambiente.

Na corrente científica, Sauvè (2005) afirma que algumas proposições de educação ambiental dão ênfase a processos científicos que compreendem observações, verificação de hipóteses e experimentação. Ela propõe que, nessa corrente, “a educação ambiental está associada ao desenvolvimento de conhecimentos e habilidades relativas às ciências do meio ambiente” (SAUVÉ, 2005, p. 23). Argumenta também que a associação entre educação ambiental e a educação científica situa-se no contexto do ensino das ciências da natureza ou biofísicas.

Boer (2007) constata que professores de Ciências Naturais, em sua grande maioria, percebem a

questão ambiental como algo inerente aos conteúdos trabalhados na área biológica. Em vista disso, a educação ambiental continua biologicista e longe de atingir o caráter socioambiental e interdisciplinar como características próprias e necessárias para ultrapassar a especialização do saber.

Os argumentos apresentados neste item mostram que não existe consenso sobre as concepções de meio ambiente e de educação ambiental. Isso tem se refletido de maneira diferenciada nos currículos escolares e nas práticas pedagógicas. Assim, a partir da análise do papel desempenhado pelo ambiente no currículo de Ciências Naturais, Amaral (2001) distingue três concepções ou modalidades de educação ambiental, nas quais poderá estar intrínseco o componente interdisciplinar em diferentes graus.

Na primeira concepção, a educação ambiental é concebida como um **apêndice** do ensino de Ciências Naturais. Ambiente é um tópico do programa da disciplina que envolve o estudo de conceitos, de componentes e de problemas relativos ao meio.

Na segunda concepção, a educação ambiental é entendida como um **eixo paralelo** ao ensino de Ciências Naturais. Os conteúdos tradicionais da disciplina são abordados de maneira teórica e não associados à realidade. Já os conteúdos ambientais são vinculados e trabalhados na relação com a realidade natural e social. Nessa concepção, os projetos são a abordagem metodológica predominante.

Na terceira concepção, a educação ambiental funciona como **eixo integrador**, perpassando o ensino de Ciências Naturais. Todos os conteúdos da disciplina recebem uma abordagem ambiental e, por isso, não há separação entre conteúdos do programa de Ciências e conteúdos da

educação ambiental. Nesse caso, o ambiente passa a ser “tema gerador, articulador e unificador” (AMARAL, 2001, p. 90) do currículo de Ciências Naturais.

As três concepções descritas por Amaral (2001) foram utilizadas por Boer (2007b) como categorias para análise de relatos de pesquisas acadêmicas que tratam da inserção da educação ambiental nas disciplinas de Ciências Naturais e Biologia.

O estudo mostra que há prevalência de concepções e de práticas pedagógicas centradas nas categorias **apêndice** e **eixo paralelo**, definidas por Amaral (2001). Os aspectos da transversalidade e da interdisciplinaridade são mais claramente observados nos casos em que a educação ambiental é eixo integrador dos conteúdos das disciplinas em questão.

Essas constatações corroboram o argumento de Amaral (2001) de que a simples abordagem dos conteúdos biológicos não garantem a reflexão necessária à compreensão dos diferentes modos de a sociedade humana se relacionar ao meio físico-natural e o desenvolvimento de valores e habilidades aos quais se refere a educação ambiental. Corroboram também o argumento de Carvalho (2005) de que a perspectiva descritiva e classificatória na apresentação do meio natural, principalmente pelo ensino de Ciências Naturais e Biologia, dificulta uma visão mais geral e uma compreensão de conjunto, nas quais fenômenos e processos têm dinâmicas próprias. Portanto, a inserção da educação ambiental ao ensino das disciplinas aqui discutidas é uma questão relativa determinada pela natureza dos conteúdos biológicos. Uma possível contribuição para alcançar os objetivos da educação ambiental é trabalhar o meio ambiente de modo integrado e relacional aos conteúdos de Ciências Naturais.

9.5 ALTERNATIVA PEDAGÓGICA PARA TRABALHAR O TEMA ÁGUA

Ao se trabalhar com formação continuada de professores, como ocorreu no Curso de Capacitação, citado na introdução deste livro, constata-se um desejo quase natural dos participantes em se apropriarem de conhecimentos e metodologias aplicáveis as suas aulas. A posição que se assume é que não existem “receitas” prontas para se trabalhar com educação ambiental. Neste campo, somos todos aprendizes e professores ao mesmo tempo.

Em relação ao estudo do tema água, recomenda-se utilizar a Abordagem Relacional, proposta inicialmente por Moraes (2001) e que compreende a construção de **esquemas relacionais**, conforme figura 9.1. Essa abordagem foi discutida com os professores em formação e poderá ser utilizada em diferentes práticas escolares (Figura 9.2).

Na abordagem relacional, considera-se que o atual paradigma educacional está intrinsecamente associado às origens das questões a serem enfrentadas pelas sociedades contemporâneas. Esse reconhecimento conduz à necessidade de se considerar que ações educacionais fundamentadas nesse paradigma são ineficientes ou até mesmo reproduzem e reforçam as condições das quais emergem as referidas questões (MORAES; COLOMBI, 2004).

Segundo esses autores, a Abordagem Relacional é uma proposta educacional comprometida com a criação de condições para que as pessoas percebam, compreendam e apreendam a possibilidade da existência de outras formas de visões de mundo além daquela imposta pelo paradigma educacional vigente. Visa a estimular o confronto dessas diferentes visões de mundo principalmente no que se refere às suas

consequências em relação aos modos como os seres humanos têm exercido as suas atividades e construído as diversas formas de organização humana (MORAES; COLOMBI, 2004).

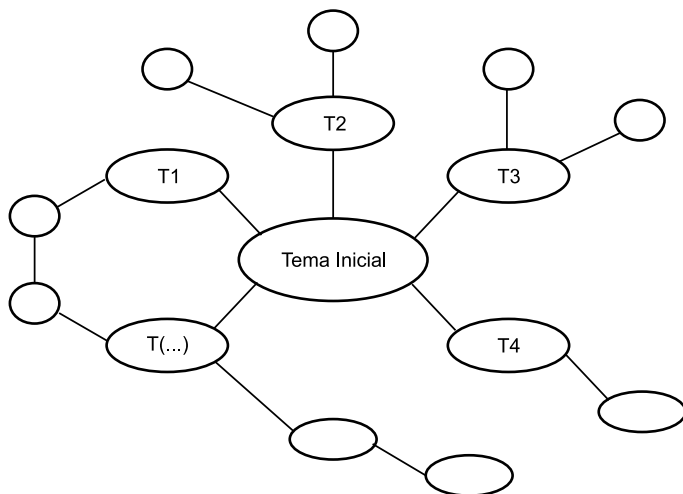


Figura 9.1 - Modelo do Esquema Relacional proposto por MORAES (2001).

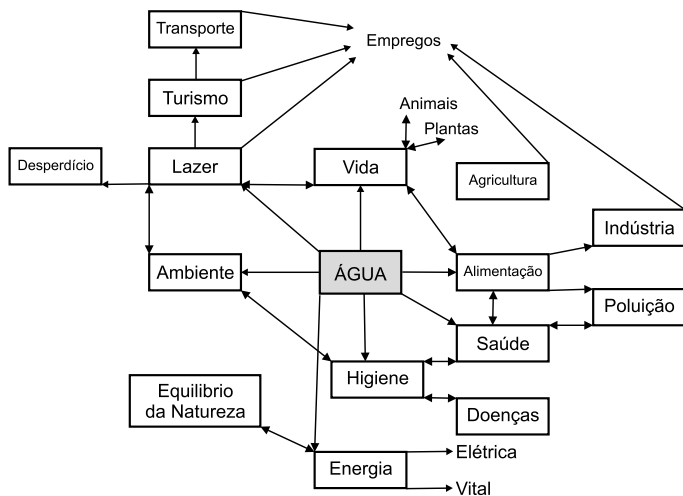


Figura 9.2 - Esquema Relacional construído por professores.

O conhecimento da multidimensionalidade relacional deve “permitir aos seres humanos reconhecer o seu pertencimento (condição de ser integrante) à Humanidade (conjunto de seres humanos que existiram, existem e existirão) e ao planeta em que vivemos” (MORAES; COLOMBI, 2004). Os autores defendem, ainda, que o sentimento consciente de pertencer à humanidade deverá permitir o conhecimento de novos modos de os seres humanos se relacionarem entre si, e o reconhecimento de pertencer ao planeta Terra deverá permitir o conhecimento de novos modos de os seres humanos se relacionarem com os demais componentes do planeta.

Dessa maneira, o estudo das relações, previsto na proposta da Abordagem Relacional, deverá criar condições para o questionamento e o confronto dos pressupostos que constituem as visões de mundo fragmentárias. O conhecimento da integração entre os diferentes componentes da realidade poderá proporcionar o desenvolvimento de visões de mundo integradas que contemplem devidamente as relações espaciais e temporais.

Moraes (2001, 2003) refere-se à natureza do conhecimento, o qual denominou conhecimento da integração. Este seria a base para a superação de visões de mundo fragmentárias e a construção de visões de mundo integradas. Afirma que “o conhecimento da integração vai além da integração do conhecimento, que lhe é necessária, mas não é suficiente” (MORAES, 2001, p. 4). Isso significa que, na educação escolar, não basta integrarem-se conhecimentos entre as diferentes disciplinas. É preciso construir a partir desses conhecimentos, mas não somente deles, um conhecimento integrado do mundo.

9.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inicialmente, deseja-se reforçar a ideia de que é importante alcançar a eficácia na educação escolar. Para isso, é necessário reconhecer que todas as dimensões educacionais, do currículo escolar ao comportamento humano, afetam-se mutuamente e precisam ser vistos como um todo integrado no desenvolvimento da pessoa humana. Os processos educativos devem considerar as concepções prévias dos estudantes e proporcionar as rupturas necessárias à aquisição de novos conhecimentos, que ocorrem por mediação do professor.

Quanto aos aspectos epistemológicos, seria importante considerar a visão integrativa da educação, que tem por base a abordagem interdisciplinar do conhecimento, admitindo que nada existe isoladamente. Portanto, exige a superação das tradições disciplinares para dar novos significados, entendimentos e modos de trabalhar temas comuns que ultrapassam a própria disciplina. Serve de exemplo o tema água, discutido neste texto.

Tendo presente que a educação ambiental situa-se na confluência do campo ambiental com as ciências humanas (CARVALHO, 2004), sua abordagem exige o aporte de conhecimentos de diversas áreas. Essa característica dificulta sua inserção dentro de uma estrutura conceitual de currículo disciplinar. Em decorrência disso, suas práticas são frequentemente entendidas pelos professores como atividades extracurriculares, desenvolvidas na forma de projetos e outras atividades ao ar livre.

Com base na abordagem aqui realizada, é importante que as atividades de educação sejam fundamentadas em visões de mundo integradas, independentemente do tipo ou da modalidade de ensino. Entende-se que existe a necessidade de superação de visões fragmentárias especialmente na área educacional. Essa ideia não é totalmente nova, porque determinadas concepções de educação, propostas ainda no século passado, já indicavam, por exemplo, a integração horizontal e vertical dos conteúdos no currículo escolar. No entanto, a partir dos últimos anos, observa-se um movimento para que os processos educativos sejam fundamentados em princípios que contemplam visões de mundo integradas. Isso indica que essa compreensão foi evoluindo por meio de um amadurecimento reflexivo e também pedagógico.

Acredita-se, assim, que o tema água, quando trabalhado como eixo integrador ou numa perspectiva relacional, possibilita a construção de um conhecimento integrado tanto do professor quanto do aluno.

REFERÊNCIAS

AMARAL, I. M. do. Educação ambiental e ensino de ciências: uma história de controvérsias. **Pro-posições**. Campinas, v. 12, n. 1. p. 73 – 93. mar. 2001.

ASTOLFI, J. P.; DEVELAY, M. **A didática das ciências**. Campinas, SP: Papirus, 1991.

BACHELARD, G. **A epistemologia**. Lisboa: Edições 70, 1971.

_____. **O materialismo racional**. Lisboa: Edições 70, 1990.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. 3. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 2001.

BOER, N. A água não é uma ladra: uma reflexão pedagógica. **Vidya**. Santa Maria, v. 24, n. 41, p. 23 – 36, jan./jun. 2004. Santa Maria, 2006.

_____. **Educação ambiental e visões de mundo: um análise pedagógica e epistemológica**. 2007. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Centro de Ciências Físicas e Matemática; Centro de Ciências da Educação; Centro de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007a.

_____. Inserção da educação ambiental nas disciplinas Ciências Naturais e Biologia: uma análise a partir de pesquisas publicadas em anais de eventos. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO E CIÊNCIA, 6, 2007. **Anais...** Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007b. 1 CD-ROM.

BRASIL, Secretaria de Ensino Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências Naturais**. Brasília: MEC/SEF, 1997.

BRASIL, Secretaria de Ensino Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental – Temas Transversais. Brasília: MEC/SEF, 1998.

CARVALHO, I. C. M. **Educação ambiental**: a formação do sujeito ecológico. São Paulo: Cortez, 2004.

CARVALHO, L. M. A temática ambiental e o ensino de biologia: compreender, valorizar e defender a vida. In: MARANDINO M. et al. (Orgs.). **Ensino de biologia: conhecimentos e valores em disputa**. p. 85-99. Niterói, RJ: Eduff, 2005.

CHEVALLARD, Y. **La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado**. Buenos Aires: Pensée Sauvage Editions, 1991.

FAZENDA, I. Interdisciplinaridade exige acima de tudo disciplina. **ABC Educatio**. São Paulo. v. 6. n. 43, p. 5 – 9, mar. 2005. Entrevista.

FAZENDA, I. **Didática e interdisciplinaridade**. São Paulo: Papirus, 1998.

FREIRE, P. ; FAUNDEZ, A . **Por uma pedagogia da pergunta**. 2. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1986.

KRASILCHICK, M. Pesquisa em educação ambiental: tendências e perspectivas. **Educação: teoria e prática**. Rio Claro, v. 9, n. 16, p. 43 – 45, jan./jun. 2001; jul./dez. 2001.

LOPES, A. R. C. Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências. **Enseñanza de las ciências**, Barcelona, v. 11, n. 3. p. 324-330, nov. 1993.

MORAES, E. C. **Ações pedagógicas relacionais**. Laboratório de Pesquisa para um Conhecimento Integrado. Centro de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MORAES, E. C. Abordagem relacional: uma estratégia pedagógica para a educação científica na construção de um conhecimento integrado. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2003. Bauru, SP. **Anais...** Bauru, SP: ABRAPEC, 2003. 1 CD-ROM.

MORAES, E. C.; COLOMBI, A. N. K. Sustentabilidade e educação biológica: Uma perspectiva relacional. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO BIOLÓGICA, DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, ÉTICA E CIDADANIA, 2004. Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ: FIOCRUZ, 2004 .

NASCIMENTO, D. C. R.; BOER, N. Percepções de estudantes das séries finais do ensino fundamental sobre a procedência e o destino da água utilizada em suas residências. In: SEMINÁRIO DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO, 10, 2007, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UNIFRA, 2007. 1 CD-ROM.

SAUVÉ, L. Uma cartografia das correntes em educação ambiental. In: SATO, M; CARVALHO, I. C. de M. (Orgs.). **Educação ambiental: pesquisa e desafios**. Porto Alegre: Artmed, 2005. p. 11 - 44.

SELLES, S. E. ; FERREIRA, M. S. Disciplina escolar biologia: entre a retórica unificadora e as questões sociais. In: MARANDINO M. et al. (Orgs.). **Ensino de biologia: conhecimentos e valores em disputa**. p. 50-62. Niterói, RJ: Eduff, 2005.

SNYDERS, G. **A alegria na escola**. São Paulo: Manole, 1988.

TRIVELATO, S. L. F. O currículo de ciências e a pesquisa em educação ambiental. **Educação**: teoria e prática. Rio Claro, v. 9, n. 16 e 17, p. 57 – 61, jan./jun. 2001; jul./dez. 2001.

UNESCO. **Educação ambiental**: as grandes orientações da conferência de Tbilisi. Brasília: IBAMA, 1998.

_____. **Educação para um futuro sustentável**: uma visão transdisciplinar para ações compartilhadas. Brasília: IBAMA, 1999.

SOBRE OS AUTORES

Afranio Almir Righes

Engenheiro Agrônomo. Mestre em Agronomia - Solos (UFRGS), Ph.D em Engenharia de Água e Solo (Iowa State University - EUA). Docente e pesquisador no Centro Universitário Franciscano (UNIFRA).

Galileo Adeli Buriol

Engenheiro Agrônomo. Mestre em Agronomia – Biodinâmica e Produtividade do solo (UFSM) e Doutor em Bioclimatologia (Université Paris VII - França). Docente e pesquisador no Centro Universitário Franciscano (UNIFRA).

Ildomar Schneider Tavares

Licenciado em Matemática. Engenheiro Civil. Mestre em Engenharia Civil – Construção Civil (UFSM). Docente e pesquisador no Centro Universitário Franciscano (UNIFRA).

Maria Isabel Pimenta Lopes

Engenheira Civil. Mestrado em Engenharia: Mecânica das Estruturas Université de Poitiers - França. Doutorado em Engenharia: Mecânica das Estruturas Université de Tours – França. Docente e pesquisadora no Centro Universitário Franciscano (UNIFRA).

Marlene Dockhor

Médica. Mestre em Medicina – Pediatria (UFRJ) e Doutor em Ciências do Movimento Humano – Desenvolvimento Humano (UFSM). Docente e pesquisadora no Centro Universitário Franciscano (UNIFRA).

Noemi Boer

Licenciada em Ciências com Habilitação em Biologia. Licenciada em Pedagogia. Mestre em Educação (UFSM) e Doutora em Educação Científica e Tecnológica (UFSC). Docente e pesquisadora no Centro Universitário Franciscano (UNIFRA).

Rafael Cabral Cruz

Oceanólogo. Mestre e Doutor em Ecologia (UFRGS). Docente do Campus São Gabriel da Fundação Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) e do PPG em Engenharia Civil (UFSM).

Rodrigo Ferreira da Silva

Engenheiro Agrônomo. Mestre em Agronomia – Biodinâmica e Produtividade do solo (UFSM) e Doutor em Ciência do Solo (UFSM). Docente e pesquisador no Centro Universitário Franciscano (UNIFRA).

Sérgio Renato de Medeiros

Engenheiro Civil (UFSM). Mestre em Engenharia de Produção (Área de concentração: Sistemas de Transportes – PUC-RIO). Responsável Técnico pela MGT - Consultoria em Sistemas de Transporte Ltda.

Sergio Roberto Mortari

Químico Industrial. Licenciado em Química. Mestre em Química (UFSM) e Doutor em Química – Química Analítica (PUC-RJ). Docente e pesquisador no Centro Universitário Franciscano (UNIFRA)

