



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Curso de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos

[Modalidade a distância]

QUALIDADE DA ÁGUA E CONTROLE DE POLUIÇÃO

Parceria Acadêmica:



Universidade Federal de Alagoas

Campus Virtual e Tutoria a Distância:



Financiamento



ÍNDICE

1. A DINÂMICA DA ÁGUA NA NATUREZA E OS PADRÕES DE QUALIDADE	1
1.1 Disponibilidade hídrica no Brasil	4
1.2 Os usos da água	6
1.3 Classificação das águas em função dos diferentes usos	7
2. MANANCIAS DE ABASTECIMENTO	13
2.1 Principais processos poluidores dos mananciais	17
2.2 Possíveis técnicas de controle da poluição da água dos mananciais	17
2.3 Quantidade e qualidade da água nos diferentes mananciais	20
3. CONTROLE DE QUALIDADE X FONTES DE POLUIÇÃO	25
3.1 Considerações iniciais	25
3.2 Usos da água e controle de sua qualidade	28
3.2.1 Abastecimento Público - Água Potável	28
3.2.2 Recreação Primária - Balneabilidade	50
4. AUTODEPURAÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA	57
5. DINÂMICA DE LAGOS E RESERVATÓRIOS	71
5.1 Origem e formação dos lagos	71
5.2 Dinâmica ambiental dos lagos	78
5.3 O processo de eutrofização	81
6. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	89
6.1 Tipos de aquíferos	90

6.2	O caminho subterrâneo da água	91
6.3	Poluição da água subterrânea	93
6.4	Captação de águas subterrâneas para fins de abastecimento	96
7.	BIBLIOGRAFIA.....	103

Qualidade da Água e Controle de Poluição

Pablo Heleno Sezerino, MSc.

Doutorando do PPG em Engenharia Ambiental da
Universidade Federal de Santa Catarina

Alessandra Pillizzaro Bento, MSc.

Doutoranda do PPG em Engenharia Ambiental da
Universidade Federal de Santa Catarina

1 A DINÂMICA DA ÁGUA NA NATUREZA E OS PADRÕES DE QUALIDADE

OBJETIVOS



Destacar as diferentes formas em que a água pode ser encontrada na natureza e apresentar a classificação desta em relação aos múltiplos usos.

Desde o surgimento da vida no planeta terra (estimado em torno de 3,5 bilhões de anos atrás), modificações são constantes na biosfera. Tanto as modificações naturais como aquelas induzidas pelo homem vêm influenciando na formação e dinâmica da água no globo. Modificações naturais como as variações de temperatura e pressão promovem acúmulos de água na superfície terrestre. Estas águas formadas são encontradas no estado líquido - oceanos, rios, lagos e água subterrânea (hidrosfera),

no estado sólido - na forma de gelo, granizo e neve (criosfera) e no estado gasoso - no vapor de água contido nas massas de ar (atmosfera) (Figura 1.1).

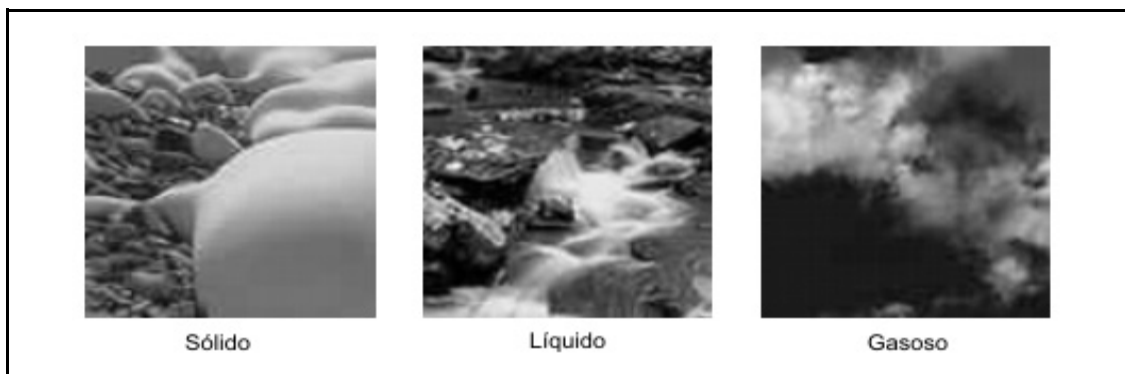


Figura 1.1 Representação dos três estados em que a água se encontra na biosfera (Fonte: adaptado de www.bragancanet.pt/agua. Consultado em 25 de novembro de 2004).

A água é a substância mais abundante nos sistemas vivos perfazendo 70% ou mais do peso da maioria das formas de vida. O planeta Terra possui $\frac{3}{4}$ da superfície coberta por água, destes, 97,5% são salgadas e apenas 2,5% doce (Figura 1.2). Contudo, do percentual total da água doce existente, a maior parte encontra-se sob a forma de gelo nas calotas polares e geleiras, parte é gasosa e parte é líquida - representada pelas fontes subterrâneas e superficiais. Já os rios e lagos, que são as principais formas de abastecimento, correspondem a aproximadamente 0,3% desse percentual.

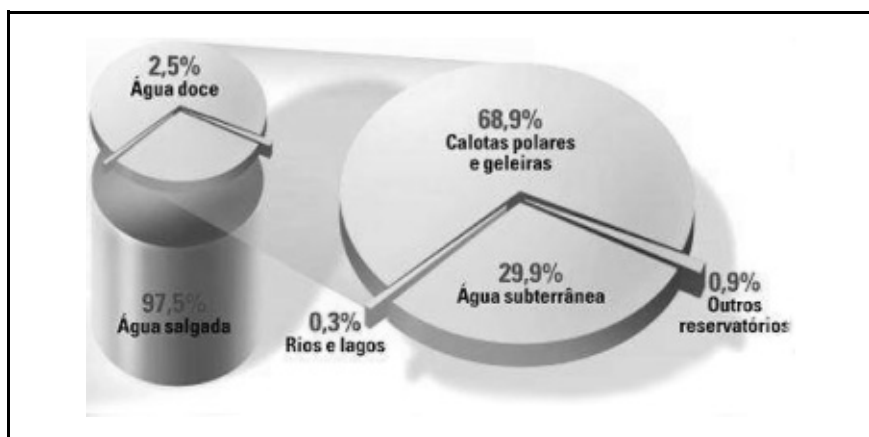


Figura 1.2 Distribuição da água no planeta (Fonte: adaptado de www.soaresoliveira.br/projetoagua. Consultado em 25 de novembro de 2004).

BRAGA *et al* (2004) destacam, ainda, que esta água doce é distribuída de maneira bastante heterogênea no espaço e no tempo. Essa distribuição heterogênea no espaço pode ser observada pela existência dos desertos, caracterizados por baixa umidade, e das florestas tropicais, caracterizadas por alta umidade. Existe também a variabilidade temporal da precipitação em função das condições climáticas, que se alteram devido ao movimento de translação da terra.

Esta água presente no planeta encontra-se, portanto, em constante movimento. Os processos de transporte de massa têm lugar na atmosfera, em terra e nos oceanos. O conjunto desses processos é chamado de ciclo hidrológico (Figura 1.3) e a energia necessária para seu funcionamento é de origem solar - mais precisamente, a diferença entre a radiação emitida pelo sol e a refletida pela atmosfera terrestre. O insumo básico, em termos hídricos, constitui-se pela precipitação pluviométrica (SETTI, 1996).

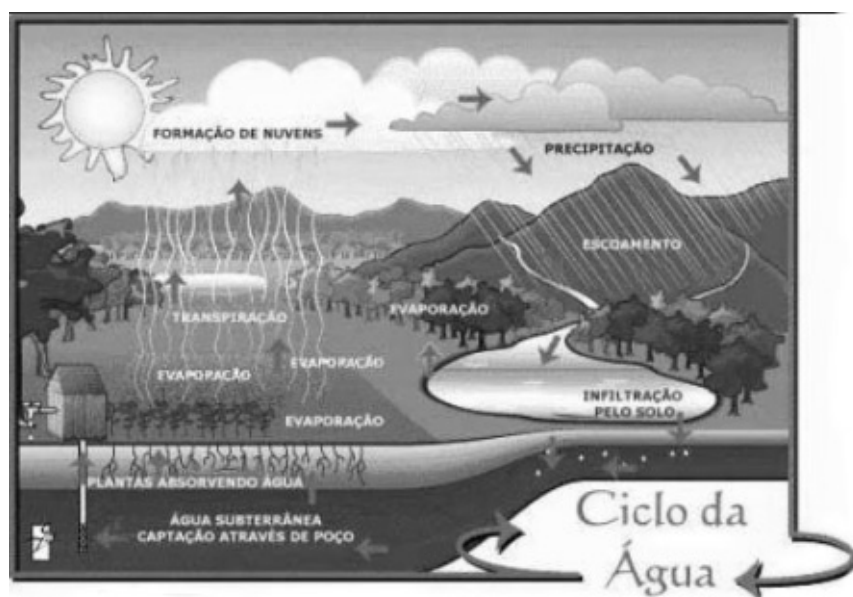


Figura 1.3 Esquema representativo do ciclo hidrológico. (Fonte: adaptado de www.geocities.com/~esabio/agua/agua.htm. Consultado em 25 de novembro de 2004).

Resumidamente, BASSOI e GUAZELLI *apud* PHILIPPI JR. *et al* (2004) destacam que a atuação da radiação solar promove a evaporação da água do mar formando as nuvens de vapor de água que movem-se sobre áreas terrestres; a precipitação desta água contida nas nuvens ocorre sobre a terra como neve, granizo e chuva, iniciando

assim a sua trajetória de volta ao mar. Parte dessa água oriunda da precipitação infiltra-se no solo e por percolação atinge a zona saturada do solo abaixo do nível do lençol freático, ou superfície freática. A água nessa zona flui vagarosamente através de aquíferos para os canais dos rios ou, algumas vezes, diretamente para o mar. A água infiltrada também alimenta a vida das plantas superficiais; parte dela é absorvida pelas raízes dessas plantas e depois assimilada e transpirada a partir da superfície das folhas. A água remanescente na superfície do solo se evapora parcialmente, transformando-se em vapor d'água, mas a maior parte aglutina-se em arroios, riachos ou regados e corre como escoamento superficial para os canais dos rios. As superfícies dos rios e lagos também passam pelo processo de evaporação e daí mais água é removida. Finalmente, a água remanescente que não se infiltrou nem se evaporou volta ao mar através dos canais dos rios. A água subterrânea, que se move muito mais lentamente, emerge nos canais dos rios ou chega à linha costeira e adentra-se ao mar, reiniciando assim o ciclo.

Ao longo do ciclo hidrológico, a água sofre alterações na sua qualidade. Setti (1996) destaca que isso ocorre nas condições naturais, em razão das inter-relações dos componentes do meio ambiente, quando os recursos hídricos são influenciados devido ao uso para suprimentos das demandas dos núcleos urbanos, das indústrias, da agricultura e das alterações do solo, urbano e rural. Quando há baixa densidade demográfica, ocupação rarefeita do solo e pouco desenvolvimento industrial, afirma o mesmo autor, o uso da água não exige maiores cuidados quanto ao controle. Na medida em que o uso é mais intensivo, é necessária atenção para a proteção dos recursos hídricos, visando ao seu aproveitamento racional.

**PROCURE SABER**

É possível fazer medições das entradas e saídas das águas no ciclo hidrológico?

1.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL

O Brasil é dividido, segundo o IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em 9 grandes bacias hidrográficas (Figura 1.4). Setti (1996) destaca que a disponibilidade hídrica no Brasil é de $177.900\text{m}^3/\text{s}$, se for considerada somente a

contribuição do território brasileiro, e de 251.000m³/s, se for levada em conta toda a vazão da Bacia Amazônica, estimada em 202.000m³/s. Esse potencial hídrico corresponde a 53% do total referente à América do Sul e a 12% do total mundial.



Figura 1.4 Mapa ilustrativo das grandes bacias hidrográficas do Brasil. (Fonte: adaptado de www.soaresoliveira.br/projetoagua. Consultado em 25 de novembro de 2004).

A Bacia Amazônica, portanto, corresponde a 73% do potencial hídrico brasileiro. A distribuição das disponibilidades hídricas das Bacias Hidrográficas, pode ser visualizada na **Tabela 1.1**.

BACIA HIDROGRÁFICA	VAZÃO MÉDIA	
	(m ³ /s)	(%)
Amazonas	128.900	72
Tocantins	11.300	6
Atlântico Norte	6.000	3
Atlântico Nordeste	3.130	2
São Francisco	3.040	2
Atlântico Leste	4.380	2
Paraná	12.540	7
Uruguai	4.040	2
Atlântico Sul	4.570	3
Total	177.900	100
Fonte: adaptado de Setti (1996).		

Tabela 1.1 Produção hídrica das bacias hidrográficas brasileiras.

1.2 OS USOS DA ÁGUA

Basicamente, destacam Von SPERLING e MÖLLER *apud* BARROS *et al* (1995), três grandes aspectos vinculados à água promovem diferentes usos, quais sejam:

- I- elemento ou componente físico da natureza: promove a manutenção da umidade do ar, da relativa estabilidade do clima na Terra e da beleza de algumas paisagens; geração de energia; meio para navegação, pesca e lazer; transporte de resíduos, despejos líquidos e sedimentos;
- II- ambiente para a vida aquática: promove o ambiente para a vida dos organismos aquáticos;
- III- fator indispensável à manutenção da vida terrestre: promove a irrigação dos solos, dessedentação de animais, abastecimento público e industrial.

1.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS EM FUNÇÃO DOS DIFERENTES USOS

No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (Resolução Nº 20 de 1986) classifica as águas doces, salinas e salobras em 9 diferentes classes estabelecidas em função de diferentes destinações, conforme segue:

- **Águas doces:**
 - **Classe Especial:** águas destinadas a:
 - a) abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção;
 - b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
 - **Classe 1:** águas destinadas a:
 - a) abastecimento doméstico após tratamento simplificado;
 - b) proteção das comunidades aquáticas;
 - c) recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho);
 - d) irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;
 - e) criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
 - **Classe 2:** águas destinadas a:
 - a) abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
 - b) proteção das comunidades aquáticas;
 - c) recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho);
 - d) irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;
 - e) criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
 - **Classe 3:** águas destinadas a:
 - a) abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
 - b) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
 - c) dessedentação de animais.
 - **Classe 4:** águas destinadas a:

- a) navegação;
 - b) harmonia paisagística;
 - c) usos menos nobres.
- **Águas salinas:**
- **Classe 5:** águas destinadas a:
 - a) recreação de contato primário;
 - b) proteção das comunidades aquáticas;
 - c) criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
 - **Classe 6:** águas destinadas a:
 - a) navegação comercial;
 - b) harmonia paisagística;
 - c) recreação de contato secundário.
- **Águas salobras:**
- **Classe 7:** águas destinadas a:
 - a) recreação de contato primário;
 - b) proteção das comunidades aquáticas;
 - c) criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
 - **Classe 8:** águas destinadas a:
 - a) navegação comercial;
 - b) harmonia paisagística;
 - c) recreação de contato secundário.

Bassoi e Guazelli *apud* Philippi Jr. *et al* (2004) ressaltam que o fato de um trecho de rio ser enquadrado em uma determinada classe, não significa necessariamente que esse seja o nível de qualidade que ele apresenta, mas sim aquele que se busca alcançar ou manter ao longo do tempo. Para cada uma das classes são estabelecidos parâmetros de qualidade físicos, químicos e biológicos, com seus respectivos valores, que devem ser seguidos para assegurar os usos preestabelecidos das águas. No **Capítulo 3** apresenta-se estes valores.



PROCURE SABER

Quais são as classes de águas encontradas no seu município?



REFLITA

A ONU - Organizações das Nações Unidas redigiu em 22 de março de 1992 o documento intitulado "Declaração Universal dos Direitos da Água" onde 10 premissas foram apresentadas, dentre elas destaca-se: "... a água faz parte do patrimônio do planeta. Cada continente, cada povo, cada nação, cada região, cada cidade, cada cidadão, é plenamente responsável aos olhos de todos".

PONTOS A DESTACAR

- 1.- A água é a substância mais abundante dos seres vivos perfazendo 70% ou mais da maioria das formas de vida.
- 2.- O planeta Terra possui $\frac{3}{4}$ da superfície coberta por água, destes, 97,5% são salgadas e apenas 2,5% doce.
- 3.- Os rios e lagos, principais formas de abastecimento de água, correspondem a somente 0,3% da disponibilidade de água doce.
- 4.- A água presente no planeta encontra-se em constante movimento - ciclo hidrológico.
- 5.- Ao longo do ciclo hidrológico a água sofre alterações na sua qualidade, em razão das inter-relações dos componentes do meio ambiente.
- 6.- O Brasil é dividido em 9 grandes bacias hidrográficas (Amazonas, Tocantins, Atlântico Norte, Atlântico Nordeste, São Francisco, Atlântico Leste, Paraná, Uruguai, Atlântico Sul).
- 7.- No Brasil, o CONAMA classifica as águas doces, salinas e salobras em 9 diferentes classes, estabelecidas em função de diferentes destinações.

RESUMO

2 MANANCIAS DE ABASTECIMENTO

OBJETIVOS



Apresentar os diferentes tipos de mananciais utilizados para o abastecimento humano bem como as ações empregadas para o controle da poluição dos mesmos.

Conforme destacam HELLER e CASSEB *apud* Barros *et al* (1995), os mananciais utilizados para abastecimento humano são divididos em três grandes grupos, quais sejam:

I- manancial subterrâneo:

é aquele cuja água vem do subsolo, podendo aflorar à superfície (nascentes, minas etc.), ou ser elevado à superfície através de obras de captação (poços rasos, poços profundos, galerias de infiltração) (Figura 2.1). As reservas de água subterrânea provêm de dois tipos de lençol d'água ou aquífero, conforme segue:

- **lençol freático:** é aquele em que a água se encontra livre, com sua superfície sob a ação da pressão atmosférica. Em um poço perfurado nesse tipo de aquífero, a água no seu interior terá o nível coincidente com o nível do lençol. A alimentação do lençol freático ocorre geralmente ao longo do próprio lençol;
- **lençol confinado:** é aquele em que a água encontra-se confinada por camadas impermeáveis e sujeita a uma pressão maior que a pressão atmosférica. Em um poço profundo, que atinge esse lençol, a água subirá acima do nível do lençol. Poderá, às vezes, atingir a boca do poço e produzir uma descarga contínua, jorrante. A alimentação do lençol confinado verifica-se somente no contato da formação geológica com a superfície do solo, podendo ocorrer a uma distância considerável do local do poço. As condições climáticas ou o regime de chuvas, observados na área de perfuração do poço, pouco ou nada afetam as características do aquífero.

As principais vantagens da utilização das águas subterrâneas são:

- potencialmente apresentam boa qualidade para o consumo humano, embora o lençol freático seja muito vulnerável à contaminação;
- relativa facilidade de obtenção, embora nem sempre em quantidade suficiente;
- possibilidade de localização de obras de captação nas proximidades das áreas de consumo.

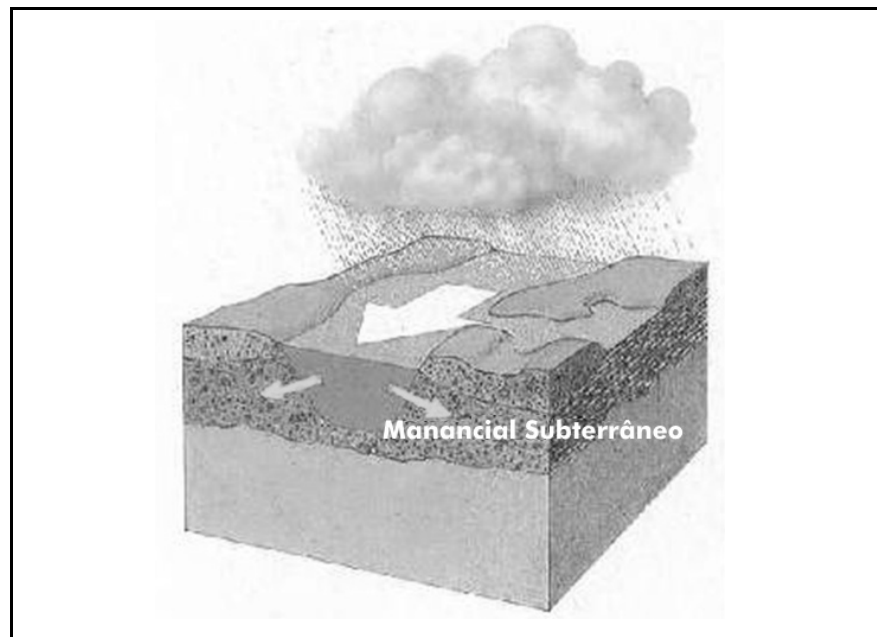


Figura 2.1 Manancial subterrâneo. (Fonte: adaptado de Bavarian State Ministry for Regional Development and Environmental Affairs, 2002).

II- manancial superficial:

é constituído pelos cursos d'água (córregos, ribeirões, rios, lagos, represas, etc.) e, como o nome indica, tem o espelho d'água na superfície do terreno;

as precipitações atmosféricas, logo que atingem o solo, podem se armazenar nas depressões do terreno, nos lagos e represas, ou alimentar os cursos d'água, se transformando em escoamento superficial. Outra parcela se infiltra no solo;

os lagos e represas podem ser também artificiais, isto é, formados a partir de obras executadas em um rio ou córrego, com a finalidade de reter o volume necessário para a proteção de captações ou garantir o abastecimento em tempo de estiagem (Figura 2.2).



Figura 2.2 Manancial de superfície do tipo artificial. Barragem de Pilões - sistema de abastecimento da Grande Florianópolis. (Fonte: www.casan.com.br. Acesso em: 28/01/05).

III- água de chuvas:

a água de chuva pode ser utilizada como manancial abastecedor, sendo armazenada em cacimbas. As cacimbas são reservatórios, que acumulam a água de chuva captada na superfície dos telhados e prédios, ou a que escoam pelo terreno (Figura 2.3);

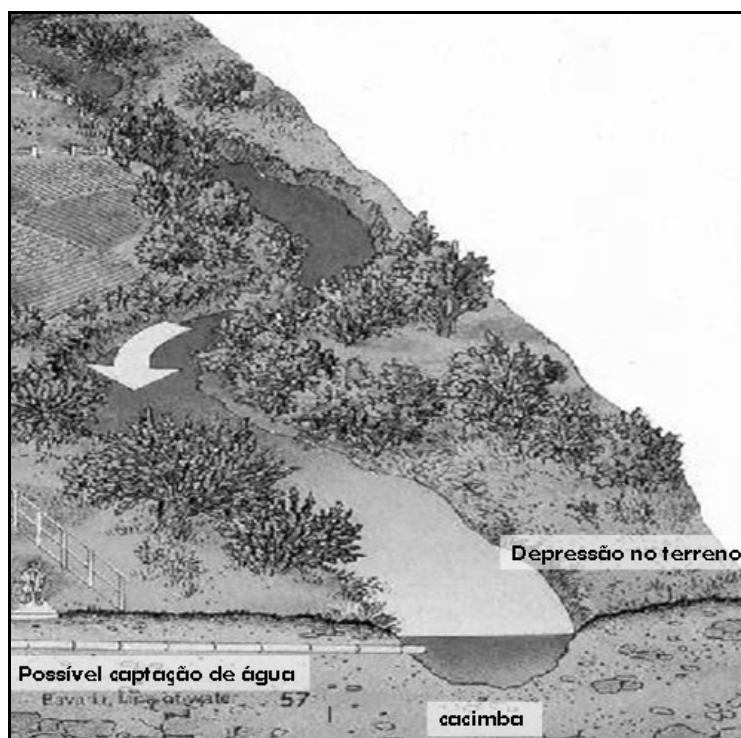


Figura 2.3 Manancial tipo cacimba. (Fonte: adaptado de Bavarian State Ministry for Regional Development and Environmental Affairs, 2002).

- a cacimba tem sua aplicação em áreas de grande pluviosidade, ou em casos extremos, em áreas de seca onde se procura acumular a água da época de chuva para a época de seca;
- Heller e Casseb *apud* Barros *et al* (1995) também ressaltam que o processo de escolha de um manancial deve levar em conta diversos aspectos, como a qualidade e quantidade de água disponível, acesso, disponibilidade de energia elétrica, desnível e distância ao ponto de consumo, entre outros.



PROCURE SABER

Qual é o tipo do principal manancial de abastecimento público utilizado em seu município?

2.1 PRINCIPAIS PROCESSOS POLUIDORES DOS MANANCIAIS

As águas dos mananciais, e de uma forma geral as demais águas, estão submetidas a diversas formas de poluição, sendo estas tanto de origens naturais ou oriundas das atividades humanas. Os principais processos poluidores são a contaminação, o assoreamento, a eutrofização e a acidificação (Tabela 2.1).

PROCESSOS	DEFINIÇÃO
Contaminação	Introdução na água de substâncias ou microrganismos nocivos à saúde e às espécies da vida aquática (ex.: patogênicos e metais pesados).
Assoreamento	Acúmulo de substâncias minerais (areia, argila) ou orgânicas (lodo) no fundo de um corpo d'água, provocando a redução de sua profundidade e de seu volume útil.
Eutrofização	Fertilização excessiva da água por recebimento de nutrientes (nitrogênio, fósforo), causando o crescimento descontrolado (excessivo) de algas e plantas aquáticas.
Acidificação	Abaixamento do pH, como decorrência da chuva ácida (chuva com elevada concentração de íons H^+ , pela presença de substâncias químicas como dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, amônia e dióxido de carbono), que contribui para a degradação da vegetação e da vida aquática.
Fonte: von Sperling e Möller <i>apud</i> Barros <i>et al</i> (1995).	

Tabela 2.1 Definição dos principais processos poluidores das águas.

2.2 POSSÍVEIS TÉCNICAS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DA ÁGUA DOS MANANCIAIS

As atividades a serem empregadas no controle da poluição das águas devem ser aplicadas sob toda a bacia hidrográfica, e não somente no manancial em questão,

dado ao fato da dinâmica das águas, ou seja, um manancial de água está sujeito as modificações provocadas pelas atividades na bacia hidrográfica na qual está inserido. Von Sperling e Möller *apud* Barros *et al* (1995), descrevem as principais técnicas passíveis de serem aplicadas no controle da poluição, tais como:

- I- implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários e industriais;
- II- controle de focos de erosão;
- III- recuperação de rios, que objetiva o retorno de seu equilíbrio dinâmico, através da restauração de suas condições naturais (do sedimento, do escoamento, da geometria do canal, da vegetação ciliar e da biota nativa). São as seguintes as técnicas utilizadas na recuperação dos rios:
 - **técnicas não estruturais:** não requerem alterações físicas no curso d'água e incluem as políticas administrativas e legais e os procedimentos que limitam ou regulamentam alguma atividade, dentre os quais: regulação do fluxo, através de medidas de caráter administrativo e legal; controle de retirada de água dos rios; descarga seletiva de represas; disciplinamento dos usos e da ocupação do solo, através de medidas de caráter administrativo e legal; reflorestamento das margens dos rios, considerando a avaliação da área a ser reflorestada, a preparação do solo, a seleção de espécies, as técnicas utilizadas e a manutenção;
 - **técnicas estruturais:** requerem algum tipo de alteração física no corpo d'água e incluem reformas nas estruturas já existentes. São utilizadas para acelerar os processos naturais de recuperação dos rios, assim como: reconstrução de canais; represamento; descanalização; colocação de defletores, passagens e grades de peixes; revestimento das margens com gabiões; proteção do leito com rochas; construção de bacias de sedimentação; instalação de comportas.
- IV- recuperação de lagos e represas por processos mecânicos, químicos ou biológicos. A **Tabela 2.2** apresenta, resumidamente, as técnicas empregadas na recuperação de lagos e represas.

PROCESSOS	TÉCNICAS	CARACTERÍSTICAS
MECÂNICOS	Aeração do hipolimnio (parte inferior do lago)	- consiste na injeção de ar comprimido ou oxigênio nas camadas profundas do lago, promovendo a estabilização da matéria orgânica acumulada no fundo e impedindo ainda a liberação de nutrientes provenientes do sedimento; - apresenta altos custos operacionais e de aquisição de equipamentos especiais, mas é uma técnica de elevada eficiência e bastante difundida.
	Desestratificação	- consiste na injeção de ar comprimido ou oxigênio nas camadas profundas do lago, favorecendo a circulação de todo o corpo d'água; - utiliza equipamentos mais simples; - apresenta como inconveniente o transporte de compostos redutores até a camada superficial, provocando a fertilização do epilimnio (parte superior do lago).
	Retirada das águas profundas	- objetiva a retirada das águas profundas e a sua substituição por águas de camadas superiores, mais ricas em oxigênio, reduzindo o acúmulo de nutrientes no hipolimnio; - o volume líquido retirado, através de pressão hidrostática ou por bombeamento, pode ser utilizado na irrigação ou conduzido até uma estação de tratamento de esgotos.
	Adução de águas de melhor qualidade	- técnica de diluição que reduz a concentração de nutrientes no corpo d'água; - sua aplicação combate a formação de gás sulfídrico no hipolimnio, evitando a mortandade de peixes.
	Remoção do sedimento	- são removidas as camadas superficiais do sedimento, através de dragagem, favorecendo a exposição de camadas de menor potencial poluidor; - o lodo removido, após tratamento, pode ser utilizado como condicionador de solos.
	Cobertura do sedimento	- medida corretiva para impedir a liberação de nutrientes das camadas profundas; - o sedimento é isolado do restante do corpo d'água por meio de cobertura com material plástico ou substâncias finamente particuladas; - método caro que apresenta dificuldades de instalação.
	Remoção de macrófitas aquáticas (plantas de grande porte)	- as macrófitas aquáticas, cuja presença excessiva interfere nos diversos usos da água, podem ser removidas por processo natural ou mecânico.
	Remoção de biomassa plântônica (microscópicas)	- a biomassa plântônica, que apresenta grande capacidade de armazenamento de poluentes, pode ser removida através de centrifugação ou por meio de micropeneiras.
QUÍMICOS	Sombreamento	- possibilita o combate ao crescimento excessivo da vegetação, por meio da limitação do recebimento da radiação solar mediante arborização das margens de pequenos cursos d'água, instalação de anteparos nas margens e aplicação de material sobrenadante ou corantes leves na superfície da água.
	Precipitação química do fósforo	- recomendada no caso de fontes difusas de fósforo, que tornam impraticável a remoção de nutrientes dos afluentes.
	Oxidação do sedimento com nitrato	- eficiente para a redução do problema da fertilização interna; - impede a diminuição excessiva da concentração de oxigênio nas camadas profundas.
	Aplicação de herbicidas	- combate o crescimento excessivo da vegetação; - vinculada a problemas de toxicidade, sabor e odor e bioacumulação.
BIOLÓGICOS	Aplicação de cal	- utilizada para a desinfecção do sedimento e para a eliminação de algas e plantas submersas, em pequenos cursos d'água, e na neutralização da água em lagos acidificados.
	Utilização de peixes que se alimentam de plantas.	- reduz a comunidade vegetal, em função da atividade de peixes herbívoros.
	Utilização de cianófagos	- reduz a densidade de algas azuis, pelo ataque vírus específicos.
	Manipulação da cadeia alimentar (trófica)	- reduz a comunidade fitoplânctônica, em função do incentivo ao aumento da população zooplânctônica.
Fonte: Von Sperling e Möller apud Barros et al (1995).		

Tabela 2.2 Técnicas de recuperação de lagos e represas.

2.3 QUANTIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA NOS DIFERENTES MANANCIAS

Com o auxílio da **Tabela 2.3**, pode-se fazer uma comparação entre a quantidade e qualidade de água dos diferentes mananciais destacados.

Manancial	Quantidade de água	Qualidade da água
Superficial	Depende de fatores como: - área da bacia de contribuição - relevo da bacia - condições da superfície do solo - constituição geológica do solo - clima - existência de obras de controle e utilização da água a montante do local de captação.	Depende de fatores como: - grau de ocupação da bacia de contribuição - prática de atividades potencialmente poluidoras na área da bacia - existência de pontos de lançamento de esgotos a montante.
Subterrâneo Freático	- geralmente capaz de atender a uma família ou a um pequeno grupo de famílias	- água sofre filtração natural pelas camadas do solo - grande exposição à contaminação por organismos patogênicos, devido principalmente à proximidade de fossas, falta de higiene no manuseio ou entrada de água de chuva.
Subterrâneo Confinado	- pode atender a cidades de pequeno porte, médio ou grande porte, dependendo das características geológicas do subsolo, entre outros fatores	- pouca exposição à contaminação por atividades humanas, podendo haver presença de substâncias químicas nocivas ao homem
Água de chuva	- depende da pluviosidade do local	- por não possuir sais dissolvidos é insípida e pouco digestiva - pode sofrer contaminação nos telhados por partículas ou por fezes de pequenos animais

Fonte: Heller e Casseb *apud* Barros *et al* (1995).

Tabela 2.3 Comparação entre os diversos tipos de mananciais.



PROCURE SABER

Existem trabalhos relativos ao controle de qualidade do manancial ou dos mananciais que abastecem sua cidade?



REFLITA

Há a necessidade de água potável para usos menos nobres em uma residência, assim como: descarga de vaso sanitário, lavação de carros e calçadas, irrigação de jardim? Então, não parece lógico a utilização de água de chuva para estes fins?

PONTOS A DESTACAR:

- 1.- Os mananciais de abastecimento são classificados como: manancial superficial, manancial subterrâneo e água de chuva.
- 2.- Os principais processos poluidores das águas dos mananciais são: contaminação, assoreamento, eutrofização e acidificação.
- 3.- As atividades a serem empregadas no controle da poluição das águas devem ser aplicadas sob toda a bacia hidrográfica, e não somente no manancial em questão.
- 4.- As principais técnicas passíveis de serem aplicadas no controle da poluição das águas nos mananciais, são: implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos, controle de focos de erosão, recuperação de rios, lagos e represas.

RESUMO

3 CONTROLE DE QUALIDADE X FONTES DE POLUIÇÃO

OBJETIVOS



Apresentar os parâmetros empregados no controle da qualidade das águas e as regulamentações vinculadas, relacionando-as com as diferentes fontes de poluição existentes.

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A qualidade das águas está relacionada com as características físico-químicas e biológicas necessárias à sua utilização direta ou indireta nas atividades humanas. Dessa forma, os usos da água incluem o abastecimento doméstico, o abastecimento industrial, a irrigação, a dessedentação de animais, a preservação da flora e fauna, as

atividades de recreação e lazer, a geração de energia elétrica, entre outros. Para cada uma dessas atividades, um padrão de qualidade de água é requerido.

O controle da qualidade da água destinada a um fim específico visa, principalmente, a proteção da saúde humana. São inúmeras as doenças de veiculação hídrica causadas por vírus, bactérias, fungos, protozoários e animais microscópicos (vermes). O tratamento de água contribui significativamente no controle destas enfermidades. Neste sentido, os países desenvolvidos apresentam indicadores de saúde que demonstram o controle dessas doenças por ações de saúde pública e saneamento. Nos países em desenvolvimento ainda persistem índices que evidenciam a baixa qualidade de infra-estrutura sanitária.

Usualmente, o controle da qualidade das águas inclui a coleta de amostras e a realização de análises físico-químicas e bacteriológicas para detecção de possíveis substâncias, partículas e microrganismos que afetem o respectivo uso. Para a maioria dos tipos de usos da água existem leis que regulamentam as características que a água deve apresentar para ser utilizada e, em alguns casos, a organização mundial da saúde prescreve recomendações para determinadas finalidades, tais como o reúso na irrigação.

O controle da qualidade da água fornece um diagnóstico acerca das condições da água em um local específico permitindo a detecção de possíveis origens da poluição, caso esta seja percebida. No entanto, é de primordial importância, a manutenção das características da água através das ações voltadas à preservação e manutenção dos recursos hídricos na sua forma natural, tal como a conservação das matas ciliares, o tratamento dos esgotos domésticos e industriais, o uso restritivo de aditivos químicos na agricultura, entre outros. Diante disso, verifica-se que o controle de qualidade da água vincula-se, indubitavelmente, à proteção dos mananciais.

As alterações das características das águas decorrem, principalmente, das atividades antrópicas, tais como:

- o lançamento de esgotos domésticos brutos e/ou tratados ineficientemente nos corpos d'água, infiltrados nas fossas não impermeabilizadas e sumidouros;
- a infiltração de chorume nos lixões;
- o desmatamento;
- o rompimento de tubulações de esgotos;

- acidentes com veículos transportando cargas tóxicas e lixiviações dos solos agricultáveis carreando macro e micro-poluentes (Figura 3.1).



Figura 3.1 Poluição das águas pelo lançamento de esgotos.



PROCURE SABER

Quantas crianças no Brasil morrem diariamente de doenças veiculadas pela água?

Na seqüência, descreve-se os principais usos da água e os métodos e leis adotados para o controle de sua qualidade.

3.2 USOS DA ÁGUA E CONTROLE DE SUA QUALIDADE

3.2.1 ABASTECIMENTO PÚBLICO - ÁGUA POTÁVEL

Entende-se por água potável aquela "destinada ao consumo humano, cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde" (Brasil, 2000 - Portaria nº 1.469/2000). A água potável deve ser isenta de substância química prejudicial à saúde, adequada ao serviço doméstico, apresentar baixa agressividade e dureza, ser esteticamente agradável, ter baixa turbidez, cor, sabor e odor, ausência de microrganismos e baixos teores de sólidos em suspensão.

Além dos riscos biológicos associados ao uso da água, têm-se também os riscos relacionados às substâncias ou elementos químicos que podem estar presentes. Neste contexto, destacam-se os metais pesados que se dissolvem na água, tais como o arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e prata (Von Sperling, 1995). Vários desses metais se concentram na cadeia alimentar, resultando num grande perigo para os organismos situados nos degraus superiores. Normalmente, as concentrações dos metais tóxicos nos ambientes aquáticos naturais são baixas. Os metais pesados são oriundos, principalmente, de despejos industriais, atividades mineradoras, atividades de garimpo e agricultura. Além dos metais pesados, há outros micropoluentes inorgânicos de importância em termos de saúde pública, tais como os cianetos e o flúor entre outros.

A ingestão de metais através da água pode ser mais séria do que problemas com substâncias orgânicas, pois estes não são degradados por processos naturais. Muitos metais apresentam efeitos neurotóxicos em seres humanos.

Alguns materiais orgânicos são resistentes à degradação biológica, não integrando os ciclos biogeoquímicos, e acumulando-se em determinado ponto do ciclo (interrompido). Entre estes, destacam-se os defensivos agrícolas, alguns tipos de detergentes (ABS, com estrutura molecular fechada) e um grande número de produtos químicos (Von Sperling, 1995). Uma grande parte destes compostos, mesmo em reduzidas concentrações, está associada a problemas de toxicidade. As principais origens desses materiais são os despejos industriais, os detergentes, o processamento e refinamento do petróleo e os defensivos agrícolas.

Na **Tabela 3.1** descreve-se as variáveis que demonstram a qualidade das águas brutas coletadas de rios e lençol subterrâneo, da água tratada e alguns desses parâmetros, também, são comumente empregados na caracterização das águas residuárias brutas e tratadas.

TIPO DE VARIÁVEIS	PARÂMETROS
Físicas	Coloração, Frações de Sólidos Temperatura Turbidez
Químicas	Alumínio Bário Cádmio Chumbo Cloro Cobre Condutividade Cromo DDT Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) Demanda Química de Oxigênio (DQO) Fenóis Ferro Total Fluoreto Fósforo Total Manganês Mercúrio Níquel Óleos e Graxas Ortofostato Solúvel Oxigênio Dissolvido (OD) Potencial Hidrogeniônico (pH) Potássio Potencial de Formação de Trihalometanos Radioatividade a e b Série de Nitrogênio - (amônia, nitrato, nitrito e nitrogênio orgânico) Sódio Surfactantes Zinco
Microbiológicas	Coliformes totais, coliformes fecais Contagem de bactérias heterotróficas Cryptosporidium sp e Giardia sp
Hidrobiológicas	Clorofila a Comunidade fitoplanctônica Comunidade zooplanctônica Comunidade bentônica
Ecotoxicológicas	Ensaio de toxicidade aguda com a bactéria luminescente - Vibrio fischeri (Sistema Microtox) Ensaio de toxicidade aguda/crônica com o microcrustáceo Ceriodaphnia dubia Ensaio de toxicidade aguda/crônica com o anfípodo Hyalella azteca Ensaio de Genotoxicidade
Fonte: Adaptado de www.cetesb.sp.gov.br . Consultado em 04 de Janeiro de 2005.	

Tabela 3.1 Variáveis que caracterizam a qualidade das águas.

Sob responsabilidade dos órgãos públicos, o controle da qualidade da água está previsto na Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, do Ministério da Saúde, ainda em vigor. Seu conjunto visa garantir a qualidade da água para o consumo humano, definindo 78 parâmetros que devem ser controlados e estabelecendo os critérios para verificar a qualidade. A Portaria 1.469/2000 fixa um valor máximo permissível (VMP) para cada parâmetro e que não pode ser ultrapassado.



PROCURE SABER

Na sua cidade, a companhia distribuidora de água à população realiza o controle de qualidade exigido pela Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde?



REFLITA

Na veiculação hídrica, as doenças causadas por agentes biológicos são, na maioria dos casos, manifestadas logo após a exposição do homem ao microrganismos, enquanto que a contaminação química é cumulativa, manifestando-se após muitos anos de exposição ao agente químico na forma de doenças degenerativas, tais como o mal de Alzheimer, vários outros problemas neurológicos e muitos tipos de cânceres.

Na seqüência, apresenta-se uma breve descrição dos principais parâmetros utilizados na caracterização da qualidade das águas, conforme www.cetesb.sp.gov.br, e Von Sperling (1995):

a) Variáveis Físicas

- Coloração

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Dentre os colóides orgânicos pode-se mencionar os ácidos húmico e fúlvico, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos. Também os esgotos sanitários se caracterizam por apresentarem predominantemente matéria em estado coloidal, além de diversos efluentes industriais contendo taninos (efluentes de curtumes, por exemplo), anilinas (efluentes de indústrias têxteis, indústrias de pigmentos, etc.), lignina e celulose (efluentes de indústrias de celulose e papel, da madeira,

etc.). O problema maior de coloração na água, em geral, é o estético já que causa um efeito repulsivo aos consumidores.

- **Frações de sólidos**

Denomina-se por sólidos nas águas, toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura preestabelecida durante um tempo fixado. 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). Os métodos empregados para a determinação de sólidos são gravimétricos (utilizando-se balança analítica ou de precisão).

Nos estudos de controle de poluição das águas naturais e principalmente nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos).

- **Temperatura**

A temperatura indica a intensidade de calor. Ela desempenha um papel principal de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físico-químicos. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam as solubilidades com a elevação da temperatura. Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo.

- **Turbidez**

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (e esta redução se dá por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, etc. A erosão das margens dos rios em estações chuvosas é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas e que exigem manobras operacionais, como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas estações de tratamento de águas. A erosão pode decorrer do mau uso do solo em que se impede a fixação da vegetação. Este exemplo, mostra também o caráter sistêmico da poluição, ocorrendo inter-relações

ou transferência de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro.

Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Um exemplo típico deste fato ocorre em consequência das atividades de mineração, onde os aumentos excessivos de turbidez têm provocado formação de grandes bancos de lodo em rios e alterações no ecossistema aquático (Figura 3.2).



Figura 3.2 Extração em leito de rio - aumento de turbidez. (Fonte: www.casan.com.br. Acesso em: 11/02/05).

A elevada turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água.

b) Variáveis Químicas

- Alumínio

O alumínio é produzido e consumido em grandes quantidades em muitas nações, sendo o Brasil um grande produtor, em torno de 762.000 t/ano. É o principal constituinte de um grande número de componentes atmosféricos, particularmente de poeira derivada de solos e partículas originadas da combustão de carvão. Em áreas urbanas, a concentração de alumínio na poeira das ruas varia de 3,7 a 11,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$. No ar, a concentração varia de 0,5 ng/m^3 sobre a Antártica a mais de 1000 ng/m^3 em áreas industrializadas. Na água, o alumínio é complexado e influenciado pelo pH, temperatura e

a presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. A solubilidade é baixa em pH entre 5,5 e 6,0. O alumínio deve apresentar maiores concentrações em profundidade, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose.

A principal via de exposição humana não ocupacional é pela ingestão de alimentos e água. A toxicidade aguda por alumínio metálico e seus compostos é baixa, variando o LD50 (dose letal para 50% dos indivíduos) oral de algumas centenas a 1.000 mg de alumínio por kg peso corpóreo por dia. A osteomalacia é observada em humanos expostos ao alumínio. Há considerável evidência que o alumínio é neurotóxico. Em experimentos com animais, porém há uma grande variação desse efeito, dependendo da espécie analisada. O acúmulo de alumínio no homem tem sido associado ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer. BROWN (1989) *in* www.cetesb.sp.br correlacionou o aumento do risco relativo da ocorrência do Mal de Alzheimer com o nível de alumínio na água de abastecimento. Não há indicação de carcinogenicidade para o alumínio.

- **Bário**

O bário pode ocorrer naturalmente na água, na forma de carbonatos em algumas fontes minerais. Decorre principalmente das atividades industriais e da extração da bauxita. Não possui efeito cumulativo, sendo que a dose fatal para o homem é considerada de 550 a 600 mg. Provoca efeitos no coração, constrição dos vasos sanguíneos elevando a pressão arterial e efeitos sobre o sistema nervoso. O padrão de potabilidade é 1,0 mg/L (Brasil, 2000 - Portaria nº 1.469/2000). Os sais de bário são utilizados industrialmente na elaboração de cores, fogos de artifício, fabricação de vidro, inseticidas, etc. Em geral, ocorre nas águas naturais em concentrações muito baixas, de 0,7 a 900 µg/L.

- **Cádmio**

O cádmio se apresenta nas águas naturais devido às descargas de efluentes industriais, principalmente as galvanoplastias, produção de pigmentos, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes e acessórios fotográficos. É também usado como inseticida. A queima de combustíveis fósseis consiste também numa fonte de cádmio para o ambiente. Apresenta efeito crônico, pois concentra-se nos rins, no fígado, no pâncreas e na tireóide, e efeito agudo, sendo que uma única dose de 9,0 gramas pode levar à morte. O cádmio não apresenta nenhuma qualidade, pelo menos conhecida até o presente, que o torne benéfico ou essencial para os seres vivos. Estudos feitos com animais demonstram a possibilidade de causar anemia, retardamento de crescimento e morte. O padrão de potabilidade é fixado pela Portaria nº 1.469/2000 em 0,005 mg/L. O cádmio ocorre na forma inorgânica, pois seus compostos orgânicos são instáveis; além dos malefícios já mencionados, é um irritante gastrointestinal, causando intoxicação aguda ou crônica sob a forma de sais solúveis. Está presente em águas doces em concentrações traços, geralmente inferiores a 1 µg/L. É um

metal de elevado potencial tóxico, que se acumula em organismos aquáticos, possibilitando sua entrada na cadeia alimentar. O cádmio pode ser fator para vários processos patológicos no homem, incluindo disfunção renal, hipertensão, arteriosclerose, inibição no crescimento, doenças crônicas em idosos e câncer.

- **Chumbo**

O chumbo está presente no ar, no tabaco, nas bebidas e nos alimentos, nestes últimos, naturalmente, por contaminação e na embalagem. Está presente na água devido às descargas de efluentes industriais como por exemplo os efluentes das indústrias de acumuladores (baterias), bem como devido ao uso indevido de tintas, tubulações e acessórios a base de chumbo (materiais de construção). O chumbo e seus compostos também são utilizados em eletrodeposição e metalurgia. Constitui venenos cumulativos, provocando um envenenamento crônico denominado saturnismo, que consiste em efeito sobre o sistema nervoso central com conseqüências bastante sérias. Outros sintomas de uma exposição crônica ao chumbo, quando o efeito ocorre no sistema nervoso central, são: tontura, irritabilidade, dor de cabeça, perda de memória, entre outros. Quando o efeito ocorre no sistema periférico o sintoma é a deficiência dos músculos extensores. A toxicidade do chumbo, quando aguda, é caracterizado pela sede intensa, sabor metálico, inflamação gastrointestinal, vômitos e diarréias.

O chumbo é padrão de potabilidade, sendo fixado o valor máximo permissível de 0,03 mg/L pela Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde. Aos peixes, as doses fatais, no geral, variam de 0,1 a 0,4 mg/L, embora, em condições experimentais, alguns resistam até 10 mg/L. Outros organismos (moluscos, crustáceos, mosquitos quironomídeos e simulídeos, vermes oligoquetos, sanguessugas e insetos tricópteros), desaparecem após a morte dos peixes, em concentrações superiores a 0,3 mg/L. A ação sobre os peixes é semelhante à do níquel e do zinco.

- **Cloreto**

O cloreto é o ânion Cl⁻ que se apresenta nas águas subterrâneas através de solos e rochas. Nas águas superficiais são fontes importantes as descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 6 g de cloreto por dia, o que faz com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto que ultrapassam a 15 mg/L. Diversos são os efluentes industriais que apresentam concentrações de cloreto elevadas como os da indústria do petróleo, algumas indústrias farmacêuticas, curtumes, etc. Nas regiões costeiras, através da chamada intrusão da língua salina, são encontradas águas com níveis altos de cloreto. Nas águas tratadas, a adição de cloro puro ou em solução leva a uma elevação do nível de cloreto, resultante das reações de dissociação do cloro na água.

Para as águas de abastecimento público, a concentração de cloreto constitui-se em padrão de potabilidade, segundo a Portaria 1469 do

Ministério da Saúde. O cloreto provoca sabor "salgado" na água, sendo o cloreto de sódio o mais restritivo por provocar sabor em concentrações da ordem de 250 mg/L, valor este que é tomado como padrão de potabilidade. No caso do cloreto de cálcio, o sabor só é perceptível em concentrações de cloreto superior a 1.000 mg/L. Embora hajam populações árabes adaptadas no uso de águas contendo 2.000 mg/L de cloreto, são conhecidos também seus efeitos laxativos.

- **Cobre**

O cobre ocorre geralmente nas águas, naturalmente, em concentrações inferiores a 20 $\mu\text{g/L}$. Quando em concentrações elevadas, é prejudicial à saúde e confere sabor às águas. Segundo pesquisas efetuadas, é necessária uma concentração de 20 mg/L de cobre ou um teor total de 100 mg/L por dia na água para produzirem intoxicações humanas com lesões no fígado. No entanto, em concentrações de 5 mg/L a água adquire um gosto o qual inviabiliza seu consumo. Vários alimentos contém concentrações variáveis de cobre como por exemplo a aveia (40 a 200 mg/kg), a lentilha (110 a 150 mg/kg), a ervilha (13 a 110 mg/kg) e as ostras (até 2.000 mg/kg). O cobre, em pequenas quantidades é benéfico ao organismo humano, catalisando a assimilação do ferro e seu aproveitamento na síntese da hemoglobina do sangue humano.

As fontes de cobre para o meio ambiente incluem corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir de usos agrícolas do cobre como fungicida e pesticida no tratamento de solos e efluentes, e precipitação atmosférica de fontes industriais. As principais fontes industriais incluem indústrias de mineração, fundição e refinação.

- **Condutividade**

A condutividade é uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água, e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S/cm}$ indicam ambientes impactados.

- **Cromo**

As concentrações de cromo em água doce são muito baixas, normalmente inferiores a 1 $\mu\text{g/L}$. É comumente utilizado em aplicações industriais e domésticas, como na produção de alumínio anodizado, aço inoxidável, tintas, pigmentos, explosivos, papel, fotografia. Na forma trivalente o cromo é essencial ao metabolismo humano e, sua carência, causa doenças. Na forma hexavalente é tóxico e cancerígeno. Os limites máximos são estabelecidos basicamente em função do cromo hexavalente.

- **DDT**

É um inseticida persistente que tem seu uso restrito ou banido em vários países, exceto para campanhas de saúde pública no controle de doenças transmitidas por insetos. O DDT e seus metabólitos podem ser transportados de um meio para outro, no ambiente, por processos de solubilização, adsorção, bioacumulação ou volatilização. Na superfície do solo ocorre a foto-oxidação do DDT, sendo a fotodescloração a principal reação, que acontece em dois estágios: rápida redução do cloro alifático e lenta redução do cloro aromático. A reação tem como produtos primários o DDE, o DDD e o ácido clorídrico. Na água, a maior parte do DDT encontra-se firmemente ligada a partículas e assim, permanece, indo depositar-se no leito de rios e mares.

O DDT, DDE e DDD são altamente lipossolúveis. Esta propriedade, aliada à meia-vida extremamente longa, tem resultado em bioacumulação, onde os níveis presentes nos organismos excedem aqueles encontrados nos ambientes circundantes. O grau de acumulação varia com a espécie, duração da exposição, concentração da substância no meio e as condições ambientais. Quando presente na água, o DDT é bioconcentrado no plâncton marinho e de água doce, em insetos, moluscos, outros invertebrados e peixes.

Tipicamente, a exposição humana e animal não ocorre apenas ao DDT mas sim a uma mistura dos três compostos. Isto porque DDE e DDD aparecem como impurezas do DDT técnico, são produtos de degradação ambiental e são produzidos no processo de biotransformação do DDT. A via digestiva é considerada a mais significativa via de entrada do DDT no organismo humano, devido ao consumo de alimentos ou uso de utensílios contaminados. Os principais efeitos do DDT são: neurotoxicidade, hepatotoxicidade, efeitos metabólicos e efeitos reprodutivos e câncer. Nos seres humanos, como em outras espécies, o DDT se biotransforma em DDE, que é acumulado mais facilmente que o DDT.

- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)**

Conforme será melhor discutido em capítulos posteriores, a DBO₅ de uma água corresponde a Demanda Bioquímica de Oxigênio durante 5 dias a temperatura de 20°C. É a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável.

As elevadas concentrações de DBO₅ num corpo d'água são provocadas por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática.

- **Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

Conforme será melhor discutido posteriormente, a DQO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. A DQO indica todo o material orgânico oxidável, incluindo o não biodegradável.

- **Fenóis**

Os fenóis e seus derivados aparecem nas águas naturais através das descargas de efluentes industriais. Indústrias de processamento da borracha, de colas e adesivos, de resinas impregnantes, de componentes elétricos (plásticos) e as siderúrgicas, entre outras, são responsáveis pela presença de fenóis nas águas naturais. Os fenóis são tóxicos ao homem, aos organismos aquáticos e aos microrganismos.

Nas águas tratadas, os fenóis reagem com o cloro livre formando os clorofenóis que produzem sabor e odor na água. Por este motivo, os fenóis constituem-se em padrão de potabilidade, sendo imposto o limite máximo bastante restritivo de 0,001 mg/L pela Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde. O índice de fenóis constitui também padrão de emissão de esgotos diretamente no corpo receptor, sendo estipulado o limite de 0,5 mg/L pela Legislação Federal (Artigo 21 da Resolução n.º 20/86 do CONAMA).

- **Ferro Total**

O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água, resultando no carbonato ferroso. O carbonato ferroso é solúvel e frequentemente encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração de ferro. Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens (Figura 3.3). Também poderá ser importante a contribuição devida à efluentes industriais, pois muitas indústrias metalúrgicas desenvolvem atividades de remoção da camada oxidada (ferrugem) das peças antes de seu uso, processo conhecido por decapagem, que normalmente é procedida através da passagem da peça em banho ácido. Nas águas tratadas para abastecimento público, o emprego de coagulantes a base de ferro provoca elevação em seu teor.



Figura 3.3 Exemplos de poluição das águas devido a erosão. (Fonte: www.casan.com.br. Acesso em: 11/02/05).

O ferro, apesar de não se constituir em um tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição. Por estes motivos, o ferro constitui-se em padrão de potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de 0,3 mg/L na Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde.

- Fluoreto

O flúor é o mais eletronegativo de todos os elementos químicos, tão reativo que nunca é encontrado em sua forma elementar na natureza, sendo normalmente encontrado na sua forma combinada como fluoreto. O flúor é o 17º elemento em abundância na crosta terrestre representando de 0,06 a 0,9% e ocorrendo principalmente na forma de fluorita (CaF_2), Fluoroapatita ($\text{C}_{10}(\text{PO}_4)_6$) e criolita (Na_3AlF_6). Traços de fluoreto são normalmente encontrados em águas naturais e concentrações elevadas geralmente estão associadas com fontes subterrâneas. Em locais onde existem minerais ricos em flúor, tais como próximos a montanhas altas ou áreas com depósitos geológicos de origem marinha, concentrações de até 10 mg/L ou mais são encontradas. Alguns efluentes industriais também

descarregam fluoreto nas águas naturais. São os casos das indústrias de vidro e de fios condutores de eletricidade.

Todos os alimentos possuem ao menos traços de fluoreto. Os vegetais possuem concentrações maiores principalmente devido à absorção da água e do solo. Alguns alimentos tais como peixes, certos vegetais e chá, possuem altas concentrações de fluoreto. O uso da água fluoretada na preparação de alimentos pode dobrar a quantidade de fluoreto presente. Estima-se uma quantidade diária ingerida de 0,2 a 3,1 mg para adultos e 0,5 mg para crianças de 1 a 3 anos.

O fluoreto ingerido através da água é quase completamente absorvido pelo corpo humano, enquanto que o flúor presente nos alimentos não é totalmente absorvido; em alguns casos como através de peixes e outras carnes, chega apenas a 25%. Uma vez absorvido, o fluoreto é distribuído rapidamente pelo corpo humano, grande parte é retida nos ossos, enquanto que uma pequena parte é retida nos dentes. O fluoreto pode ser excretado pela urina e sua excreção é influenciada por uma série de fatores tais como o estado de saúde da pessoa e seu grau de exposição à esta substância. O fluoreto é adicionado às águas de abastecimento público para conferir-lhes proteção à cárie dentária. O fluoreto reduz a solubilidade da parte mineralizada do dente, tornando mais resistente à ação de bactérias e inibe processos enzimáticos que dissolvem a substância orgânica protéica e o material calcificante do dente.



PROCURE SABER

Por que a maioria dos dentistas é desfavorável a fluoretação das águas de abastecimento público? Quais os problemas relacionados com o excesso da ingestão de flúor?

- **Fósforo Total**

O fósforo aparece em águas naturais devido principalmente às descargas de esgotos sanitários. Nestes, os detergentes superfosfatados empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte, além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais.

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como a de um detergente, por exemplo. Os ortofosfatos, por outro lado, são representados pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas. Os polifosfatos ou fosfatos condensados são polímeros de ortofosfatos. No entanto, esta terceira forma

não é muito importante nos estudos de controle de qualidade das águas, porque os polifosfatos sofrem hidrólise se convertendo rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais.

O excesso de fosfatos nos corpos d'água é um dos principais fatores que conduz a eutrofização. Com a eutrofização, a qualidade da água torna-se comprometida pelo aumento da turbidez, sólidos suspensos, matéria orgânica e possível presença de toxinas produzidas por algas.

- **Manganês**

O comportamento do manganês nas águas é muito semelhante ao do ferro em seus aspectos os mais diversos, sendo que a sua ocorrência é mais rara. O manganês desenvolve coloração negra na água, podendo-se se apresentar nos estados de oxidação Mn^{+2} (forma mais solúvel) e Mn^{+4} (forma menos solúvel).

A concentração de manganês menor que 0,05 mg/L geralmente é aceitável em mananciais, devido ao fato de não ocorrerem, nesta faixa de concentração, manifestações de manchas negras ou depósitos de seu óxido nos sistemas de abastecimento de água. Raramente atinge-se concentrações de 1,0 mg/L em águas superficiais naturais e, normalmente, está presente em quantidades de 0,2 mg/L ou menos. É muito usado na indústria do aço, na fabricação de ligas metálicas e baterias e na indústria química em tintas, vernizes, fogos de artifícios e fertilizantes, entre outros.

- **Mercúrio**

O mercúrio é largamente utilizado no Brasil nos garimpos, no processo de extração do ouro (amálgama), sendo esse material é lançado nas águas (Figura 3.4). O mercúrio é também usado em células eletrolíticas para a produção de cloro e soda e em certos praguicidas ditos mercuriais. Pode ainda ser usado em indústrias de produtos medicinais, desinfetantes e pigmentos.



Figura 3.4 Mineração em leito de rio. (Fonte: www.casan.com.br. Acesso em: 11/02/05).

Esse elemento é altamente tóxico ao homem, sendo que doses de 3 a 30 gramas são fatais. Apresenta efeito cumulativo e provoca lesões cerebrais. O padrão de potabilidade fixado pela Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde é de 0,001 mg/L. Os efeitos sobre os ecossistemas aquáticos são igualmente sérios, de forma que os padrões de classificação das águas naturais são também bastante restritivos com relação a este parâmetro. As concentrações de mercúrio em águas doces não contaminadas estão normalmente em torno de 50 ng/L.

Entre as fontes antropogênicas de mercúrio no meio aquático destacam-se as indústrias cloro-álcali de células de mercúrio, vários processos de mineração e fundição, efluentes de estações de tratamento de esgotos, fabricação de certos produtos odontológicos e farmacêuticos, indústrias de tintas, etc.

O peixe é um dos maiores contribuintes para a carga de mercúrio no corpo humano, sendo que o mercúrio mostra-se mais tóxico na forma de compostos organo-metálicos. A intoxicação aguda pelo mercúrio, no homem, é caracterizada por náuseas, vômitos, dores abdominais, diarreia, danos nos ossos e morte. Esta intoxicação pode ser fatal em 10 dias. A intoxicação crônica afeta glândulas salivares, rins e altera as funções psicológicas e psicomotoras.

- Níquel

O níquel é também utilizado em galvanoplastias. Estudos recentes demonstram que é carcinogênico. Não existem muitas referências bibliográficas quanto à toxicidade do níquel; todavia, assim como para

outros íons metálicos, é possível mencionar que, em soluções diluídas, estes elementos podem precipitar a secreção da mucosa produzida pelas brânquias dos peixes. Assim, o espaço inter-lamelar é obstruído e o movimento normal dos filamentos branquias é bloqueado. O peixe, impedido de realizar as trocas gasosas entre a água e os tecidos branquias, morre por asfixia. Por outro lado, o níquel complexado (níquelcianeto) é tóxico quando em baixos valores de pH. Concentrações de 1,0 mg/L desse complexo são tóxicas aos organismos de água doce.

Concentrações de níquel em águas superficiais naturais podem chegar a aproximadamente 0,1 mg/L, embora concentrações de mais de 11,0 mg/L possam ser encontradas, principalmente em áreas de mineração. A maior contribuição para o meio ambiente, pela atividade humana, é a queima de combustíveis fósseis. Como contribuintes principais tem-se também fundição do metal, fusão e modelagem de ligas, indústrias de eletrodeposição e, como fontes secundárias, a fabricação de alimentos, artigos de panificadoras, refrigerantes e sorvetes aromatizados. Doses elevadas de níquel podem causar dermatites nos indivíduos mais sensíveis e afetar nervos cardíacos e respiratórios.

- **Óleos e Graxas**

Óleos e graxas, de acordo com o procedimento analítico empregado, consiste no conjunto de substâncias que em determinado solvente consegue extrair da amostra e que não se volatiliza durante a evaporação do solvente a 100°C. Estas substâncias solúveis em n-hexano, compreendem ácidos graxos, gorduras animais, sabões, graxas, óleos vegetais, ceras, óleos minerais, etc. Este parâmetro costuma ser identificado também por MSH - material solúvel em hexano.

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Estas substâncias geralmente são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros. São raramente encontrados em águas naturais, normalmente oriundos de despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, estradas e vias públicas.

Os despejos de origem industrial são os que mais contribuem para o aumento de matérias graxas no corpos d'água. Dentre os despejos pode-se citar os de refinarias, frigoríficos, saboarias, etc. A pequena solubilidade dos óleos e graxas constitui um fator negativo no que se refere à sua degradação em unidades de tratamento de despejos por processos biológicos e, quando presentes em mananciais utilizados para abastecimento público, causam problemas no tratamento d'água. 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.

Os óleos e graxas em seu processo de decomposição reduzem o oxigênio dissolvido elevando a DBO₅ e a DQO, causando alteração no ecossistema aquático. Na legislação brasileira não existe limite estabelecido para esse parâmetro; a recomendação é de que os óleos e as graxas sejam virtualmente ausentes para as classes de rio 1, 2 e 3.

- **Potencial de Formação de Trihalometanos (THMs)**

A possibilidade de formação de compostos organoclorados leves (como por exemplo, clorofórmio) durante o processo de cloração, chamados trihalometanos, torna necessária uma avaliação do manancial em relação à quantidade de precursores destes compostos.

Os THMs constituem um grupo de compostos orgânicos derivados do metano (CH₄) em cuja molécula três de seus quatro átomos de hidrogênio foram substituídos por um igual número de átomos dos elementos halógenos (cloro, bromo e iodo). Estes três átomos de hidrogênio podem estar substituídos por uma só classe de halógenos como é o caso do triclorometano ou clorofórmio, ou por dois diferentes elementos formando o bromodichlorometano ou por cada um dos três, como se observa no iodobromoclorometano. Alguns do grupo possuem nomes especiais: clorofórmio, bromofórmio e iodofórmio. Esses compostos são originados a partir de produtos orgânicos muito mais complexos que o metanol, que são de ocorrência comum nas águas superficiais, os chamados ácidos húmicos e fúlvicos. Estas substâncias são derivadas da decomposição da matéria orgânica vegetal, sendo constituídas de mistura de polímeros com estruturas aromáticas heterocíclicas, grupos carboxila e nitrogênio. São denominadas "precursores de trihalometanos" e em geral só tem significado sanitário devido à formação dos THMs.

Os THMs constituem num risco à saúde humana em períodos de exposição com longa duração. Os efeitos incluem alterações na bexiga, no intestino grosso e efeitos carcinogênicos (www.sanepar.com.br).

- **Série de Nitrogênio - (amônia, nitrato, nitrito e nitrogênio orgânico)**

São diversas as fontes de nitrogênio nas águas naturais. Os esgotos sanitários constituem em geral a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico devido à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal, devido à hidrólise sofrida pela uréia na água. Alguns efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio orgânico e amoniacal nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, de conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes. A atmosfera é outra fonte importante devido a diversos mecanismos: fixação biológica desempenhada por bactérias e algas, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; a fixação química, reação que depende da presença de luz, concorre para as presenças de amônia e nitratos nas águas, as lavagens da atmosfera poluída pelas águas pluviais concorrem para as presenças de partículas contendo nitrogênio orgânico

bem como para a dissolução de amônia e nitratos. Nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio. Também nas áreas urbanas, as drenagens de águas pluviais associadas às deficiências do sistema de limpeza pública, constituem fonte difusa de difícil caracterização.

Como visto, o nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. As duas primeiras, formas reduzidas e as duas últimas, formas oxidadas. Pode-se associar a idade da poluição com a relação entre as formas de nitrogênio. Ou seja, se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas significa que o foco de poluição se encontra próximo. Se prevalecer nitrito e nitrato, ao contrário, significa que as descargas de esgotos se encontram distantes. Nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas.

O nitrogênio é um macronutriente para todos os seres vivos e quando lançado nos corpos d'água podem promover o desenvolvimento excessivo de algas - a eutrofização. Este processo afeta todo o sistema hídrico e compromete a qualidade da água (Figura 3.5).



Figura 3.5 Canal eutrofizado. (Fonte: www.mma.gov.br/port/conama/processos. Acesso em 11/02/05).

Pela legislação federal em vigor, a resolução N° 20 do CONAMA/1986, o nitrogênio amoniacal é padrão de classificação das águas naturais e padrão

de emissão de esgotos. A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg/L. Além disso, como visto anteriormente, a amônia provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidada biologicamente. Por estes motivos, a concentração de nitrogênio amoniacal é importante parâmetro de classificação das águas naturais e normalmente utilizado na constituição de índices de qualidade das águas.

Os nitratos são tóxicos, causando uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças (o nitrato se reduz a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul). Por isso, o nitrato é padrão de potabilidade, sendo 10 mgN/L o valor máximo permitido pela Portaria 1469/2000.

- **Surfactantes**

Detergentes ou surfactantes são definidos como compostos que reagem com o azul de metileno sob certas condições especificadas. Estes compostos são designados "substâncias ativas ao azul de metileno" (MBAS - Metilene Blue Active Substances) e suas concentrações são relativas ao sulfonato de alquil benzeno linear (LAS) que é utilizado como padrão na análise.

Os esgotos sanitários possuem de 3 a 6 mg/L de detergentes. As indústrias de detergentes descarregam efluentes líquidos com cerca de 2000 mg/L do princípio ativo. Outras indústrias, incluindo as que processam peças metálicas, empregam detergentes especiais com a função de desengraxante, como é o caso do percloroetileno.

As descargas indiscriminadas de detergentes nas águas naturais levam a prejuízos de ordem estética provocados pela formação de espumas. Além disso, os detergentes podem exercer efeitos tóxicos sobre os ecossistemas aquáticos. Os sulfonatos de alquil benzeno de cadeia linear (LAS) têm substituído progressivamente os sulfonatos de alquil benzeno de cadeia ramificada (ABS), por serem considerados biodegradáveis. No Brasil esta substituição ocorreu a partir do início da década de 80, século passado, e embora tenham sido desenvolvidos testes padrão de biodegradabilidade, este efeito não é ainda conhecido de forma segura.

Os detergentes têm sido responsabilizados também pela aceleração da eutrofização. Além de a maioria dos detergentes comerciais empregados ser rica em fósforo, sabe-se que exercem efeito tóxico sobre o zooplâncton, predador natural das algas.

- **Zinco**

O zinco é também bastante utilizado em galvanoplastias na forma metálica e de sais tais como cloreto, sulfato, cianeto, etc. A presença de zinco é comum nas águas naturais. O zinco é um elemento essencial para o crescimento, porém, em concentrações acima de 5,0 mg/L, confere sabor à água. Os efeitos tóxicos do zinco sobre os peixes são muito conhecidos, assim como sobre as algas. A ação desse íon metálico sobre o sistema

respiratório dos peixes é semelhante à do níquel, anteriormente citada. Entretanto, é preciso ressaltar que o zinco em quantidades adequadas é um elemento essencial e benéfico para o metabolismo humano, sendo que a atividade da insulina e diversos compostos enzimáticos dependem da sua presença. A deficiência do zinco nos animais pode conduzir ao atraso no crescimento. Os padrões para águas reservadas ao abastecimento público indicam 5,0 mg/L como o valor máximo permissível.

Em águas superficiais, normalmente as concentrações estão na faixa de <0,001 a 0,10 mg/L. É largamente utilizado na indústria e pode entrar no meio ambiente através de processos naturais e antropogênicos, entre os quais destacam-se a produção de zinco primário, combustão de madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço, efluentes domésticos. A água com alta concentração de zinco tem uma aparência leitosa e produz um sabor metálico ou adstringente quando aquecida. O zinco, por ser um elemento essencial para o ser humano, só se torna prejudicial à saúde quando ingerido em concentrações muito altas, o que é extremamente raro.

c) **Variáveis microbiológicas e hidrobiológicas**

- **Coliformes Totais, coliformes fecais e Escherichia coli**

Conforme será visto em capítulos posteriores, há uma grande diversidade de microrganismos causadores de doenças de veiculação hídrica, que em sua maioria são provenientes dos esgotos sanitários.

O grupo de bactérias mais utilizado como organismo indicador de contaminação fecal é o grupo coliformes, pelas seguintes razões (Von Sperling, 1995):

- Estão presentes em grande densidade nas fezes (cada indivíduo elimina em média 10^{10} a 10^{11} coliformes/dia);
- De 1/3 a 1/5 do peso das fezes humanas é constituído por coliformes. Com isto, a probabilidade de que sejam detectados após o lançamento é incomparavelmente superior à dos organismos patogênicos;
- Estão presentes apenas no intestino de animais endotermos;
- Apresentam resistência similar a maioria das bactérias intestinais patogênicas;
- As técnicas bacteriológicas de detecção de coliformes são rápidas e econômicas.

Entretanto, os coliformes totais englobam uma grande variedade de espécies que são encontradas em ambientes naturais, não sendo por isso um indicativo preciso de contaminação fecal. Um subgrupo, os coliformes fecais, são bactérias exclusivamente intestinais presentes somente no trato digestivo do homem e de outros animais endotermos. A bactéria

Escherichia coli é uma das espécies mais abundantes de coliformes fecais e ultimamente vem sendo empregada como indicadora de contaminação fecal.

Segundo definições descritas na portaria 1469/2000 os coliformes totais "são bacilos gram-negativos aeróbios ou anaeróbios facultativos não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ em 24-48 horas, podem apresentar atividade da enzima β - galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários gêneros e espécies pertençam ao grupo" (Art. 4° VI). Coliformes fecais ou termotolerantes "subgrupo das bactérias do grupo coliformes que fermentam a lactose a $44,4 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em 24 horas; tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal" (Art. 4° VII). E a *Escherichia coli* é a " bactéria do grupo coliformes que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a $44,4 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidade negativa, não hidrolisa a uréia e apresenta atividade das enzimas β - galactosidase e β - glucoronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos" (Art. 4° VIII).

Na **Tabela 3.2**, descreve-se os valores máximos permitidos para a densidade de organismos indicadores de contaminação fecal nas águas destinadas ao abastecimento humano.

PARÂMETRO	VMP (1)
Água para consumo humano (2).	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes (3).	Ausência em 100mL.
Água na saída do tratamento.	
Coliformes totais.	Ausência em 100mL.
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede).	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes (3).	Ausência em 100mL.
Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês: Ausência em 100mL em 95% das amostras examinadas no mês; Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês: Apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100mL
(1) Valor Máximo Permitido.	
(2) água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras.	
(3) a detecção de <i>Escherichia coli</i> deve ser preferencialmente adotada.	
Fonte: Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde.	

Tabela 3.2 Padrão microbiológico de potabilidade de água para consumo humano.

- **Contagem de bactérias heterotróficas**

As bactérias heterotróficas englobam uma ampla variedade de espécies que utilizam-se da matéria orgânica carbonácea (DBO_5) para a obtenção de energia. Segundo a portaria 1469/2000, a contagem de bactérias heterotróficas consiste na "determinação da densidade de bactérias que são capazes de produzir unidades formadoras de colônias (UFC), na presença de compostos orgânicos contidos em meio de cultura apropriada, sob condições pré-estabelecidas de incubação: $35,0, \pm 0,5^\circ\text{C}$ por 48 horas" (Art. 4º IX).

Em 20% das amostras mensais para análise de coliformes totais nos sistemas de distribuição, deve ser efetuada a contagem de bactérias heterotróficas e, uma vez excedidas 500 unidades formadoras de colônia (UFC) por mL, devem ser providenciadas imediata coleta, inspeção local e, se constatada irregularidade, outras providências cabíveis (Art. 11 § 6º). A presença dessas bactérias indica a contaminação da água com matéria orgânica.

- **Comunidade fitoplanctônica**

A comunidade fitoplanctônica pode ser utilizada como indicadora da qualidade da água, principalmente em reservatórios, e, a análise da sua estrutura permite avaliar alguns efeitos decorrentes alterações ambientais. Esta comunidade é a base da cadeia alimentar e, portanto, a produtividade dos elos seguintes depende da sua biomassa.

Os organismos fitoplanctônicos respondem rapidamente (em dias) às alterações ambientais decorrentes da interferência antrópica ou natural. É uma comunidade indicadora do estado trófico, podendo ainda ser utilizada como indicador de poluição por pesticidas ou metais pesados (presença de espécies resistentes ao cobre) em reservatórios utilizados para abastecimento.

A presença de algumas espécies em altas densidades pode comprometer a qualidade das águas, causando restrições ao seu tratamento e distribuição. Atenção especial é dada ao grupo das Cianobactérias, que possui espécies potencialmente tóxicas. A ocorrência destas algas tem sido relacionada a eventos de mortandade de animais e com danos à saúde humana (CHORUS & BARTRAN, 1999).

- **Algas e cianobactérias tóxicas**

Muitas espécies de algas e cianobactérias são conhecidas por causarem problemas durante a captação, tratamento e distribuição de água, tais como a obstrução de filtros, a produção de odor e cor na água, entre outros.

Cerca de 75 espécies de microalgas já foram reportadas como produtoras de toxinas (MATTHIENSEN, 2001) (Tabela 3.3). A maioria das toxinas é produzida quando há um crescimento massivo de uma espécie - floração, mas em alguns casos, a produção de toxinas independe da floração. As

florações são eventos naturais, mas também podem ser desencadeadas pela eutrofização.

Grupo de organismo	Espécies produtoras de toxinas
Dinoflagelados	<i>Alexandrium, Gymnodinium, Pyrodinium, Dinophysis, Prorocentrum, Gambierdiscus, Ostreopsis</i>
Diatomácea	<i>Pseudo-nitzschia</i>
Cianobactérias	<i>Microcystis sp, Anabaena sp, Planktothrix, Nodularia spumigea, Cylindrospermopsis raciborskii, Anabaena flos-aquae, Anabaena lemmermanni, Anabaena circinalis, Aphanizomenon flos-aquae.</i>
Fonte: Matthiensen, 2001.	

Tabela 3.3 Algumas das espécies produtoras de toxinas

As cianobactérias produzem as chamadas cianotoxinas, destacando-se as microcistinas que são as mais comumente encontradas em águas doces e apresentam efeito hepatotóxico. Também com efeito hepatotóxico têm-se as nodularinas e a cylindrospermopsina. As toxinas anatoxina-a e homoatoxina-a apresentam efeito neurotóxico frequentemente associado a mortalidade de animais selvagens. Outras toxinas incluem as anatoxina-a (S) e as saxitoxinas.

Nos últimos anos, devido ao aumento dos casos de intoxicação humana por toxinas produzidas por algas e principalmente por cianobactérias no Brasil, a portaria 1469/2000 inclui as análises de contagem de cianobactérias (no ponto de captação de água no manancial), bioensaios com camundongos e dispõe como VPM para microcistinas o valor de 1 µg/L. Em relação às concentrações de células nas águas destinadas ao abastecimento humano, fica estabelecido que "sempre que o número de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, exceder a 20.000 células/mL ... será exigida a análise semanal de cianotoxinas na água na saída do tratamento e nas entradas (hidrômetros) das clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis, sendo que esta análise pode ser dispensada quando não houver comprovação de toxicidade na água bruta por meio da realização semanal de bioensaios em camundongos" (Art. 18 § 5º).

Determinou-se na mesma portaria que "o monitoramento de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, deve obedecer frequência mensal, quando o número de cianobactérias não exceder 10.000

células/mL, e semanal, quando o número de cianobactérias exceder este valor" (Art. 19 § 1º).



PROCURE SABER

Qual foi a tragédia que ocorreu em Caruaru (Fevereiro de 1996) onde 64 pacientes de hemodiálise foram a óbito?



REFLITA

Devido às intervenções antrópicas que promovem as alterações nos recursos hídricos, o controle de qualidade da água para consumo humano tem sido, teoricamente, cada vez mais intensificado. Quais as ações que devem ser priorizadas para a manutenção da qualidade das águas naturais?

- **Comunidade zooplanctônica**

A comunidade zooplanctônica é formada por animais microscópicos que vivem em suspensão, sendo protozoários, rotíferos e os microcrustáceos cladóceras e copépodos os grupos dominantes no ambiente de água doce. São importantes na manutenção do equilíbrio do ambiente aquático, podendo atuar como reguladores da comunidade fitoplanctônica (utilizando-a como alimento) e na reciclagem de nutrientes, além de servirem de alimento para diversas espécies de peixes.

O zooplâncton vem sendo avaliado como indicador da qualidade da água de lagos e reservatórios em diversos países e, apesar de existirem algumas propostas de índices para esta comunidade, a maioria deles não é diretamente aplicável nos ambientes aquáticos tropicais, onde as espécies exibem diferentes sensibilidade e ocorrência.

3.2.2 RECREAÇÃO PRIMÁRIA - BALNEABILIDADE

O principal parâmetro considerado como limitante das condições de balneabilidade em um ecossistema aquático, constitui a presença de microrganismos patogênicos, que quase sempre são oriundos dos despejos domésticos e da produção intensiva de animais. Os danos causados no contato primário com água contaminada incluem algumas doenças de pele, conjutivites, e doenças causadas pela ingestão acidental da água. Os microrganismos patogênicos consistem de uma ampla variedade de bactérias, protozoários, fungos e alguns animais microscópicos que causam enfermidades ao homem.

A resolução do CONAMA n° 274 de 2000 dispõe sobre as características necessárias aos corpos d'água em relação a balneabilidade. Conforme descrito no Art.2°, as águas doces, salobras salinas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário) terão sua condição avaliada nas categorias própria e imprópria. § 1° As águas consideradas próprias poderão ser subdivididas nas seguintes categorias:

- a. **Excelente:** quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver no máximo, 250 coliformes fecais (termotolerantes) ou 200 *Escherichia coli* ou 25 enterococos por 100 mililitros;
- b. **Muito Boa:** quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 400 *Escherichia coli* ou 50 enterococos por 100 mililitros;
- c. **Satisfatória:** quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo 1.000 coliformes fecais (termotolerantes) ou 800 *Escherichia coli* ou 100 enterococos por 100 mililitros.

§ 2° Quando for utilizado mais de um indicador microbiológico, as águas terão as suas condições avaliadas, de acordo com o critério mais restritivo.

§ 3° Os padrões referentes aos enterococos aplicam-se, somente, às águas marinhas.

§ 4° As águas serão consideradas impróprias quando no trecho avaliado, for verificada uma das seguintes ocorrências:

- a) não atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias;
- b) valor obtido na última amostragem for superior a 2.500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 2000 *Escherichia coli* ou 400 enterococos por 100 mililitros;
- c) incidência elevada ou anormal, na Região, de enfermidades transmissíveis por via hídrica, indicada pelas autoridades sanitárias;
- d) presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar desagradável a recreação;
- e) pH < 6,0 ou pH > 9,0 (águas doces), à exceção das condições naturais;
- f) floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana;
- g) outros fatores que contra-indiquem, temporária ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário.

§ 5° Nas praias ou balneários sistematicamente impróprios, recomenda-se a pesquisa de organismos patogênicos.

Art. 5° A amostragem será feita, preferencialmente, nos dias de maior afluência do público às praias ou balneários, a critério do órgão de controle ambiental competente.

Art. 8º Recomenda-se aos órgãos ambientais a avaliação das condições parasitológicas e microbiológicas da areia, para futuras padronizações.

Art. 9º Aos órgãos de controle ambiental compete a aplicação desta Resolução, cabendo-lhes a divulgação das condições de balneabilidade das praias e dos balneários e a fiscalização para o cumprimento da legislação pertinente.

Se houver leis estaduais ou municipais, essas serão obrigatoriamente mais restritivas do que a Resolução do CONAMA nº 274/2000 e deverão ser cumpridas e fiscalizadas pelos órgãos ambientais competentes.



REFLITA

É possível que uma água apresente coliformes fecais mas não contenha microrganismos causadores de doenças?



PROCURE SABER

Como são as condições de balneabilidade das praias que você frequenta?

PONTOS A DESTACAR:

- 1.- A qualidade das águas está relacionada com as características físico-químicas e biológicas necessárias a sua utilização direta ou indireta nas atividades humanas sem causar prejuízo a saúde.
- 2.- Os usos da água incluem o abastecimento doméstico, o abastecimento industrial, a irrigação, a dessedentação de animais, a preservação da flora e fauna, as atividades de recreação e lazer, a geração de energia elétrica, entre outros.
- 3.- As alterações das características das águas naturais são provocadas, principalmente, pelas atividades antrópicas, destacando-se o lançamento de esgotos domésticos brutos e/ou tratados ineficientemente nos corpos d'água, infiltrados nas fossas não impermeabilizadas e sumidouros, a infiltração de chorume nos lixões, o desmatamento e lixiviações dos solos agricultáveis carreando macro e micro-poluentes.
- 4.- O controle da qualidade da água vincula-se às ações de proteção dos recursos hídricos, tais como a conservação das matas ciliares e o tratamento dos esgotos domésticos e industriais.
- 5.- Os riscos relacionados aos usos da água e a saúde humana podem ser biológicos e químicos. Os primeiros envolvem uma série de doenças disseminadas por águas contaminadas por fezes humanas ou de outros animais, destacando-se, no Brasil, a hepatite, a ascaridíase, a giardíase e a amebíase.
- 6.- Dentre os riscos químicos, destaca-se os causados pelos metais pesados que se dissolvem na água e apresentam efeito cumulativo nos seres vivos podendo ocasionar danos neurológicos ao homem.
- 7.- O controle da qualidade da água para consumo humano está previsto na Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, do Ministério da Saúde, a qual define 78 parâmetros que devem ser controlados. A Portaria 1.469/2000 fixa um valor máximo permissível (VMP) para cada parâmetro e que não pode ser ultrapassado.
- 8.- Dentre as variáveis capazes de causar danos à saúde pública e que devem ser controladas na água de abastecimento, destacam-se a concentração de microrganismos patogênicos, indicada pela presença de coliformes fecais ou coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*; a presença de metais pesados, nitrato, pesticidas e toxinas produzidas por cianobactérias.
- 9.- A resolução do CONAMA nº 274/2000 dispõe sobre as características necessárias aos corpos d'água em relação a balneabilidade. Os parâmetros utilizados para tal controle são biológicos envolvendo a concentração de

coliformes totais, coliformes fecais, *Escherichia coli* e enterococos. Este último se aplica apenas para águas marinhas.

RESUMO

4 AUTODEPURAÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA

OBJETIVOS



Apresentar o conceito da autodepuração dos corpos d'água e destacar os modelos mais comumente empregados na predição deste comportamento natural.

Os corpos d'água superficiais, como os rios e córregos, recebem continuamente compostos orgânicos biodegradáveis e recalcitrantes (compostos não biodegradáveis ou com baixa taxa de biodegradação, criados por diferentes processos tecnológicos, tais como detergentes sintéticos, defensivos agrícolas e derivados de petróleo), resultantes, principalmente, das atividades humanas, industriais ou domésticas. No Brasil, a maior fonte de compostos orgânicos nas águas superficiais advém do lançamento dos esgotos domésticos (RODRIGUES *apud* NUVOLARI, 2003).

Os compostos orgânicos quando atingem os corpos d'água sofrem a ação de diversos mecanismos físicos e bioquímicos existentes no próprio ambiente, que alteram seu

comportamento e concentração. Entre os mecanismos físicos, Braga *et al* (2004) destacam:

- I- **diluição**: o despejo de uma substância qualquer no meio aquático, usualmente faz com que a concentração original dessa substância sofra redução. Esse mecanismo é chamado de diluição, e é resultante do processo de mistura do despejo com a água presente no corpo d'água;
- II- **ação hidrodinâmica**: os corpos de água não são estáticos; eles apresentam um movimento próprio que transporta um poluente do seu ponto de despejo para outras regiões e, portanto, sua concentração varia no espaço e no tempo. O transporte é feito pelo campo de velocidades da água, sendo esse fenômeno denominado advecção. Quanto mais intenso for o campo de velocidades, mais rapidamente o poluente se afastará de seu ponto de despejo. A concentração de substâncias dissolvidas ou em suspensão em meios fluidos é também função de processos difusivos. Existem basicamente dois processos difusivos, quais são: difusão molecular - resulta do movimento decorrente da agitação térmica das partículas existentes no meio fluido; difusão turbulenta - a existência de turbulência no escoamento da água provoca mistura mais rápida das substâncias presentes. Tal mistura ocorre a uma taxa muito mais intensa que a verificada na difusão molecular, e é um mecanismo extremamente eficiente para a diminuição da concentração de poluentes em meios fluidos;
- III- **gravidade**: a ação da gravidade pode alterar a qualidade da água por meio de sedimentação de substâncias poluidoras em suspensão que sejam mais densas que o meio aquático. Ela é utilizada em certas etapas do tratamento de águas e esgotos pelo uso de decantadores, nos quais as partículas em suspensão sedimentam para serem retiradas em seguida;
- IV- **luz**: a presença de luz é condição necessária para a existência das algas, que são a fonte básica de alimento do meio aquático. Além disso, estas algas são responsáveis pela produção de oxigênio. A luz extingue-se muito rapidamente na água em função da profundidade, limitando a ocorrência da fotossíntese apenas à camada superficial. O aumento da turbidez diminui a transparência e, portanto, a penetração de luz;
- V- **temperatura**: a temperatura altera a solubilidade dos gases e a cinética das reações químicas, fazendo com que a interação dos poluentes com o ecossistema aquático seja bastante influenciada por sua variação.

Os mecanismos bioquímicos que agem sob os compostos orgânicos biodegradáveis em um corpo d'água, são induzidos por inúmeros organismos que compõem o ecossistema aquático. Este ecossistema aquático abriga em suas cadeias alimentares

seres fotossintetizantes, seres produtores - aqueles que fabricam o alimento necessário à sobrevivência dos demais organismos, os seres consumidores - os quais necessitam, direta ou indiretamente, ingerir alimentos fabricados pelos fotossintetizantes e os seres decompositores que podem ser aeróbios e/ou anaeróbios.

Quando a matéria orgânica biodegradável é lançada no meio aquático, ressaltam Braga *et al* (2004), os decompositores fazem sua digestão por meio de mecanismos bioquímicos. Os seres decompositores aeróbios respiram o oxigênio dissolvido na água e passam a competir com os demais organismos. Como eles têm alimento a sua disposição (matéria orgânica para ser decomposta) e possuem requisitos de sobrevivência em termos de oxigênio bastante baixos, ganham a competição. Com isso os peixes morrem e a população de decompositores cresce rapidamente. É dessa forma que a matéria orgânica biodegradável causa poluição. A redução dos teores de oxigênio dissolvido devido ao excesso de consumo pelos decompositores prejudica a sobrevivência dos demais seres consumidores.

Braga *et al* (2004) destacam, ainda, que a concentração de oxigênio dissolvido na água ocorre em função de diversas variáveis, entre estas:

- I- **características do despejo:** estão associadas aos fatores de consumo do oxigênio dissolvido no meio, tais como a natureza do material biodegradável envolvido, facilidade com que ele é biodegradado pelos organismos decompositores, quantidade de oxigênio necessário para a biodegradação, quantidade de poluente, vazão desejada etc;
- II- **características do corpo d'água:** estão associadas à facilidade com que as cargas poluidoras são misturadas ao meio aquático. Entre as variáveis mais importantes estão a velocidade do fluido, geometria do escoamento, intensidade de difusão turbulenta, entre outros;
- III- **produção de oxigênio:** o oxigênio dissolvido no meio aquático pode ser originado pela atividade fotossintética dos organismos autótrofos (produção endógena) ou pela reaeração (produção exógena), a qual consiste na passagem do oxigênio atmosférico para o interior do meio líquido através da interface ar-água.

O processo de autodepuração pode ser dividido, segundo Braga *et al* (2004), em duas etapas, quais sejam:

- I- **decomposição:** a quantidade de oxigênio dissolvido na água necessária para a decomposição da matéria orgânica é chamada de Demanda Bioquímica de

Oxigênio - DBO, sendo esta DBO o parâmetro que expressa indiretamente a quantidade de oxigênio que vai ser respirado pelos decompositores aeróbios para a decomposição completa da matéria orgânica lançada na água. A DBO serve, portanto, como uma forma de medição do potencial poluidor de certas substâncias biodegradáveis em relação ao consumo de oxigênio dissolvido. Quando os decompositores terminam sua tarefa, diz-se que a matéria orgânica foi estabilizada ou mineralizada, por não existirem mais compostos orgânicos biodegradáveis, mas apenas água, gás carbônico e sais minerais;

II- **recuperação do oxigênio dissolvido ou reaeração:** existem fontes contínuas que adicionam oxigênio à água, dentre elas a própria ação da atmosfera e a fotossíntese. As trocas atmosféricas são mais intensas quanto maior for a turbulência no curso d'água. Durante a fase de decomposição, contudo, usualmente o consumo é maior do que a reposição por ambas as fontes; apenas quando cessa a decomposição e os decompositores morrem é que a concentração de oxigênio começa a aumentar novamente. Essas duas etapas ocorrem simultaneamente ao longo de todo o processo. Caso a quantidade de matéria orgânica lançada seja muito elevada, pode haver o esgotamento total do oxigênio dissolvido na água. A decomposição será então feita pelos decompositores anaeróbios, que prosseguem as reações de decomposição utilizando o deslocamento do hidrogênio para a quebra das cadeias orgânicas; como subproduto dessa decomposição haverá a formação do metano, gás sulfídrico e outros. A decomposição anaeróbia não é completa, devendo ser completada pela decomposição aeróbia quando o rio começar a apresentar teores mais elevados de oxigênio; esta decomposição anaeróbia possui desvantagens pois produz odores desagradáveis.

O processo de autodepuração, conforme ilustrado na **Figura 4.1**, dá-se em 5 zonas distintas (Rodrigues *apud* Nuvolari, 2003):

- 1) **zona de águas limpas:** localiza-se um pouco a montante do ponto de lançamento do efluente, acima da chamada zona de mistura. Esta zona apresenta as características do ecossistema antes do lançamento do efluente. Se a montante do ponto considerado não ocorre outros lançamentos de cargas poluentes, ou se essa carga for de pequena magnitude, não alterando as condições naturais do meio, esse trecho de rio é tido como limite do seu equilíbrio natural;
- 2) **zona de degradação ou zona de mistura:** nessa zona ocorre a mistura do efluente com as águas do corpo receptor, gerando uma perturbação ou desequilíbrio do meio. Esta zona é caracterizada por elevada concentração de sólidos em suspensão, redução dos seres aeróbios sensíveis às novas condições,

aumento da população de bactérias aeróbias devido às condições favoráveis do meio (presença de oxigênio e matéria orgânica), déficit inicial da concentração de oxigênio dissolvido, formação de banco de lodo pela sedimentação dos sólidos;

- 3) **zona de decomposição ativa:** a zona de decomposição ativa é caracterizada pelo declínio total, ou quase que total, da população de peixes e outros seres aeróbios. Nesta zona, há também o declínio da população de seres aeróbios decompositores devido às novas condições reinantes. O meio apresenta-se com menor concentração de matéria orgânica e com maior déficit de oxigênio, ocasionado pelo lançamento, muitas vezes com concentração de oxigênio igual a zero, dando origem ao processo de decomposição anaeróbia. No trecho de decomposição anaeróbia, além da água e do gás carbônico, forma-se o gás sulfídrico, amônia, mercaptanas e outros, sendo vários destes responsáveis pela formação de maus odores;
- 4) **zona de recuperação:** na zona de recuperação inicia-se o processo de regeneração do meio às suas condições naturais. Nesta zona, o consumo de oxigênio é menor que o fluxo de entrada do mesmo, dessa forma passa a ocorrer a recuperação da concentração do oxigênio que havia sido retirado da massa líquida, principalmente, pelo processo de respiração das bactérias decompositoras. O menor consumo de oxigênio nesta zona é devido à menor concentração de matéria orgânica presente no meio, parte dessa massa já foi decomposta, parte ficou sedimentada no leito do rio e, principalmente, uma grande parte ficou em suspensão a montante da mesma;
- 5) **zona de águas limpas:** nesta zona, no que diz respeito à concentração de oxigênio dissolvido, coliformes e demanda bioquímica de oxigênio, pode-se dizer que o ecossistema volta às suas condições naturais. A população de peixes e de outros seres aeróbios mais sensíveis ao declínio de oxigênio retoma seu crescimento. Mas, dependendo da velocidade do rio, o excesso de nutrientes gerados no processo de decomposição da matéria orgânica pode ocasionar a proliferação de um número maior de algas do que nas condições iniciais, desencadeando um ecossistema um tanto quanto diferenciado das condições originais.

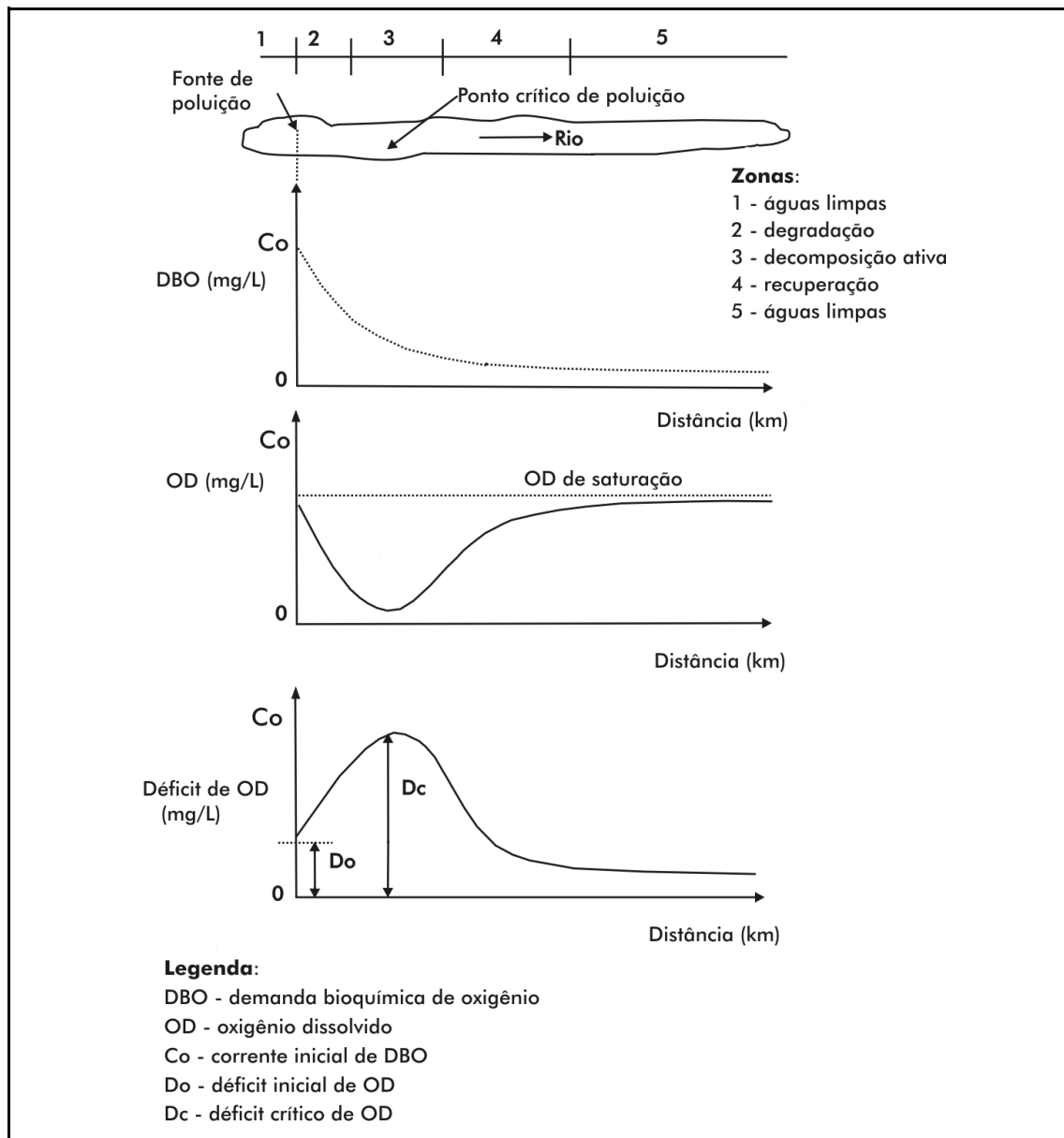


Figura 4.1 Perfil esquemático do comportamento da matéria orgânica e oxigênio ao longo das diferentes zonas de autodepuração (Fonte: adaptado de Rodrigues apud Nuvolari, 2003).

Uma das principais formulações matemáticas propostas para a quantificação do potencial de autodepuração de um corpo d'água, quando este é contaminado por matéria orgânica biodegradável, foi desenvolvida baseada na previsão do déficit de oxigênio dissolvido. Este modelo foi proposto por Streeter e Phelps em 1925, e ainda hoje é amplamente utilizado.

A hipótese básica no modelo de Street-Phelps, segundo Braga *et al* (2004), é que o processo de decomposição da matéria orgânica no meio aquático segue uma reação de primeira ordem, ou seja, a taxa de redução da matéria orgânica é proporcional à concentração de matéria orgânica presente em um dado instante de tempo, conforme equação 1:

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 \cdot L \quad (1)$$

onde:

- L = Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO (mg/L);
- K_1 = constante de desoxigenação (d^{-1}) - é função do tipo de efluente;
- O sinal negativo indica que haverá uma redução na concentração de DBO com o passar do tempo.

Para se determinar a necessidade de oxigênio necessária para a completa estabilização da matéria orgânica, faz-se necessário integrar a equação 1, conforme segue:

$$L_t = L_0 \cdot e^{-K_1 \cdot t} \quad (2)$$

onde:

- L_0 = DBO imediatamente após o ponto de lançamento (mg/L), ou seja, a quantidade total de oxigênio necessária para a completa estabilização da matéria orgânica carbonácea.

A reação de DBO que provoca um consumo de OD no meio líquido ocorre ao mesmo tempo que a reação de reoxigenação do meio líquido na qual, por meio de processos exógenos, o oxigênio passa da atmosfera para a água. Essa transferência ocorre por uma reação de difusão em que a taxa de transferência depende da concentração relativa do oxigênio no ar e na água. Essa dinâmica também é modelada por uma reação de primeira ordem, segundo equação 3:

$$\frac{dl}{dt} = -k_2 \cdot D \quad (3)$$

onde:

- D = déficit de oxigênio (mg/L), ou seja, a diferença entre a concentração de saturação do oxigênio no meio líquido e a concentração do oxigênio dissolvido na água em um dado instante de tempo;
- K_2 = é a constante de reoxigenação do corpo d'água (d^{-1}), que depende da turbulência do meio.

O valor de K_2 pode ser determinado pela fórmula de O'Connor e Dobbins (equação 4), sendo válido somente para valores de velocidade de escoamento entre 0,15 a 0,50 m/s e para valores de profundidade do rio entre 0,30 e 0,90m.

$$k_2 = 3,93 \cdot \frac{U^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (4)$$

onde:

- U = velocidade média do escoamento no rio (m/s);
- H = profundidade do rio (m).

Combinando a equação 1 com a equação 3, pois ambas ocorrem ao mesmo tempo e são responsáveis pela redução de OD e pela redução no déficit de OD, tem-se:

$$\frac{dL}{dt} = K_1 \cdot L + K_2 \cdot D \quad (5)$$

onde:

- O sinal positivo para a parcela $K_1 L$ indica que ela contribui para o déficit.

Para a obtenção do déficit de oxigênio a um determinado tempo (D_t), há a necessidade de integrar a equação 5, conforme segue:

$$D_t = \frac{K_1 \cdot L_0}{K_2 - K_1} \cdot (e^{-K_1 \cdot t} - e^{-K_2 \cdot t}) + D_0 \cdot e^{-K_2 \cdot t} \quad (6)$$

onde:

- D_0 = déficit inicial de oxigênio dissolvido no curso d'água (mg/L);
- L_0 = DBO no ponto de lançamento (mg/L);

K_1 e K_2 = constantes de desoxigenação e reoxigenação do rio (d^{-1}).

Na prática, há interesse em determinar o déficit de oxigênio ao longo do curso d'água a jusante de um ponto de lançamento de esgotos, por exemplo. Desta forma, tendo como hipótese que o movimento da água no rio é permanente e uniforme, é possível substituir t por x (= distância), da seguinte maneira:

$$t = \frac{x}{U} \quad (7)$$

onde:

- x = distância a jusante do ponto de lançamento (m);
- U = velocidade média do rio (m/s)

Substituindo, então, a equação 7 na equação 6, determina-se o déficit de oxigênio ao longo do curso d'água (D_x), conforme segue:

$$D_x = \frac{K_1 \cdot L_0}{K_2 - K_1} \cdot (e^{-K_1 x/U} - e^{-K_2 x/U}) + D_0 e^{-K_2 x/U} \quad (8)$$

Contudo, o déficit máximo não ocorre no ponto de lançamento do efluente, mas a uma distância x_c obtida quando se iguala a zero com relação a $x \therefore \left. \frac{dD}{dx} \right|_{x=x_c} = 0$

Desta forma a distância crítica, onde ocorrerá o maior déficit, é dado por:

$$X_c = \frac{U}{K_2 - K_1} \cdot \ln \left[\frac{K_2}{K_1} \left(1 - \frac{D_0 (K_2 - K_1)}{K_1 L_0} \right) \right] \quad (9)$$

Há de se levar em conta, ainda, nos cálculos da autodepuração a vazão de diluição, ou seja, quando um efluente de qualquer natureza (degradável ou conservativo) é lançado no rio, a concentração imediatamente a jusante do ponto de lançamento é menor que aquela observada no próprio efluente (Figura 4.2).

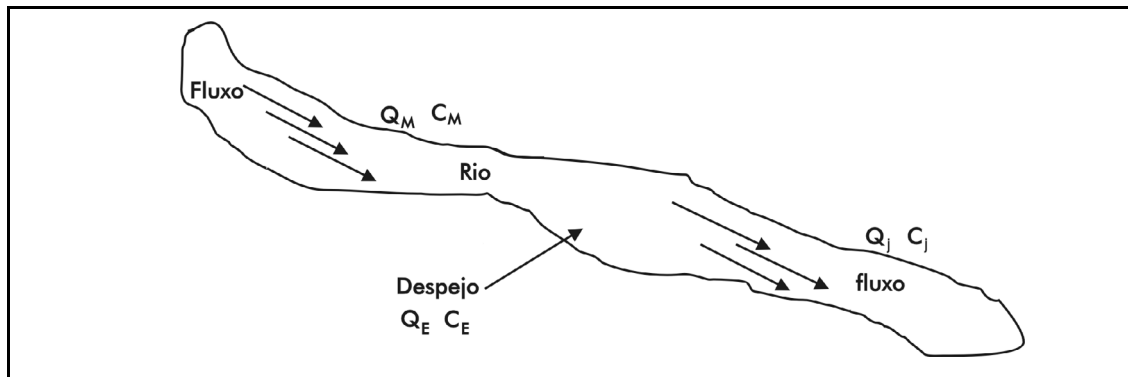


Figura 4.2 Esquema representativo da diluição de um despejo no rio (Fonte: adaptado de Braga et al 2004).

Considerando o caso da **Figura 4.2** e aplicando-se a equação da continuidade, supondo-se que ocorra mistura completa do poluente na seção transversal onde ocorre o despejo, pode-se calcular a concentração da mistura C_j (poluente + rio), de acordo com a equação 10:

$$C = \frac{Q_M C_M + Q_E C_E}{Q_E + C_M} \quad (10)$$

onde:

- Q_M = vazão do rio (m^3/d);
- C_M = concentração do composto no rio (mg/L ou g/m^3);
- Q_E = vazão do despejo (m^3/d);
- C_E = concentração do poluente no despejo (mg/L ou g/m^3).

Nota-se que na equação 8, os valores de D_0 e L_0 referem-se à seção imediatamente a montante do ponto de lançamento.



PROCURE SABER

Quais outros modelos existem na predição da autodepuração? Existem softwares comerciais que podem ser empregados nestes estudos?

PONTOS A DESTACAR:

- 1.- Os corpos d'água superficiais recebem continuamente compostos orgânicos biodegradáveis e recalcitrantes resultantes, principalmente, das atividades humanas, industriais ou domésticas.
- 2.- No Brasil, a maior fonte de compostos orgânicos nas águas superficiais advém do lançamento dos esgotos domésticos.
- 3.- Os compostos orgânicos quando atingem os corpos d'água sofrem a ação de diversos mecanismos físicos e bioquímicos existentes no próprio ambiente, que alteram seu comportamento e concentração.
- 4.- Os mecanismos bioquímicos que agem sob os compostos orgânicos biodegradáveis em um corpo d'água, são induzidos por inúmeros organismos que compõem o ecossistema aquático.
- 5.- Quando a matéria orgânica biodegradável é lançada no meio aquático os decompositores fazem sua digestão por meio de mecanismos bioquímicos.
- 6.- A redução dos teores de oxigênio dissolvido devido ao excesso de consumo pelos decompositores prejudica a sobrevivência dos demais seres consumidores.
- 7.- O processo de autodepuração dá-se em 5 zonas distintas: zona de águas limpas, zona de degradação ou zona de mistura, zona de decomposição ativa, zona de águas limpas.
- 8.- Uma das principais formulações matemáticas propostas para a quantificação do potencial de autodepuração de um corpo d'água, foi desenvolvida por Streeter e Phelps em 1925 e é baseada na previsão do déficit de oxigênio dissolvido.

RESUMO

5 DINÂMICA DE LAGOS E RESERVATÓRIOS

OBJETIVOS



Destacar a formação e os diferentes tipos de lagos, enfatizando a ciclagem dos nutrientes e o processo de eutrofização.

5.1 ORIGEM E FORMAÇÃO DOS LAGOS

A geomorfologia é o ramo da ciência que procura estabelecer a origem dos lagos. Atualmente, o conceito mais aceito para descrever a origem e formação dos lagos é o conceito estabelecido por Davis em 1882, o qual classificava a origem dos lagos segundo o predomínio de processos construtivos, destrutivos ou obstrutivos, ou seja, um processo construtivo ocorre em uma escala geológica de tempo, enquanto que os processos destrutivos atuam de forma localizada e em curto período de tempo, como

é o caso de uma explosão vulcânica; já o processo obstrutivo está associado a represamentos de cursos d'água, provocados por exemplo por derramamento de lava ou por erosão eólica.

Von Sperling (1999) destaca que a origem dos lagos está associada à ocorrência de fenômenos naturais, de natureza geológica, ou de natureza antrópica devido a atuações provocadas pelo homem. Com relação à origem natural dos lagos, afirma o autor, existem causas bastante conhecidas que levaram à formação destes ambientes, sendo as origens mais comuns àquelas vinculadas a fenômenos glaciais (movimentação ou derretimento de gelo formado durante o período glacial), vulcânicos (explosões, derramamento de lava) ou tectônicos (movimentação da crosta terrestre). Já os lagos formados a partir de ações antrópicas, são conhecidos como represas, reservatórios ou barragens, sendo estes formados artificialmente mediante o barramento de rios.

Dentre as diferentes origens dos lagos, destacam-se as mais representativas (Von Sperling, 1999):

- I- **lagos de origem tectônica** - está associada a movimentações que ocorreram na crosta terrestre, conduzindo ao estabelecimento de dois fenômenos principais, quais são:
 - a) depressões formadas por movimentos de elevação e abaixamento da camada superficial com a finalidade de manutenção do equilíbrio isostático, conhecidos como movimentos epirogenéticos (Figura 5.1);
 - b) falhas decorrentes de discontinuidades da crosta terrestre (Figura 5.2);

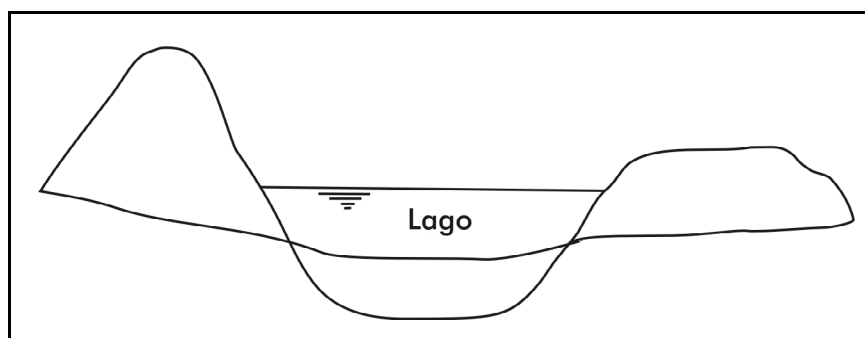


Figura 5.1

Origem tectônica dos lagos devido aos movimentos epirogenéticos (Fonte: adaptado de Von Sperling, 1999).

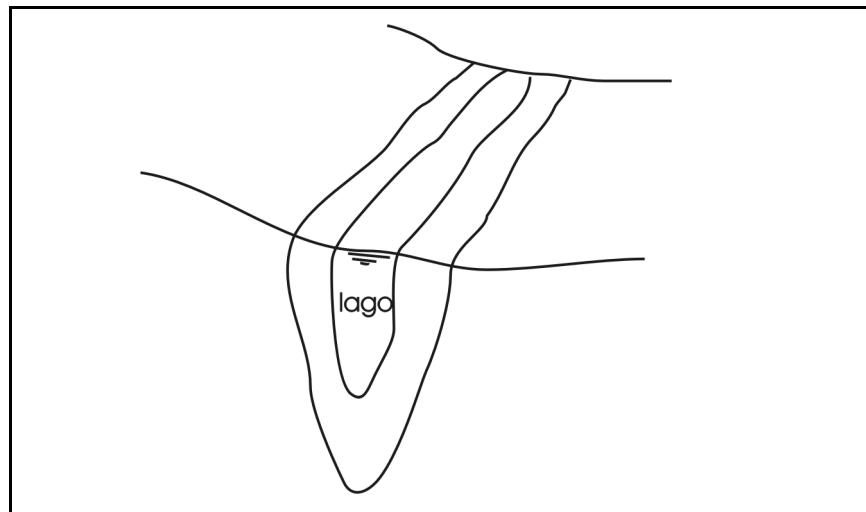


Figura 5.2 Origem tectônica de lagos devido a falhas tectônicas (Fonte: adaptado de Von Sperling, 1999).

II- **lagos de origem vulcânica** - qualquer cavidade vulcânica, desde que não possua nenhuma drenagem natural, acaba ao longo do tempo transformando-se em um lago devido ao acúmulo de água proveniente da chuva. Os lagos com gênese vulcânica podem ser formados através de dois processos, quais sejam:

- a) represamento de águas de rios por meio de lava vulcânica (magma) solidificado (Figura 5.3);
- b) explosões vulcânicas, com conseqüente criação de depressões e cavidades (Figura 5.4);

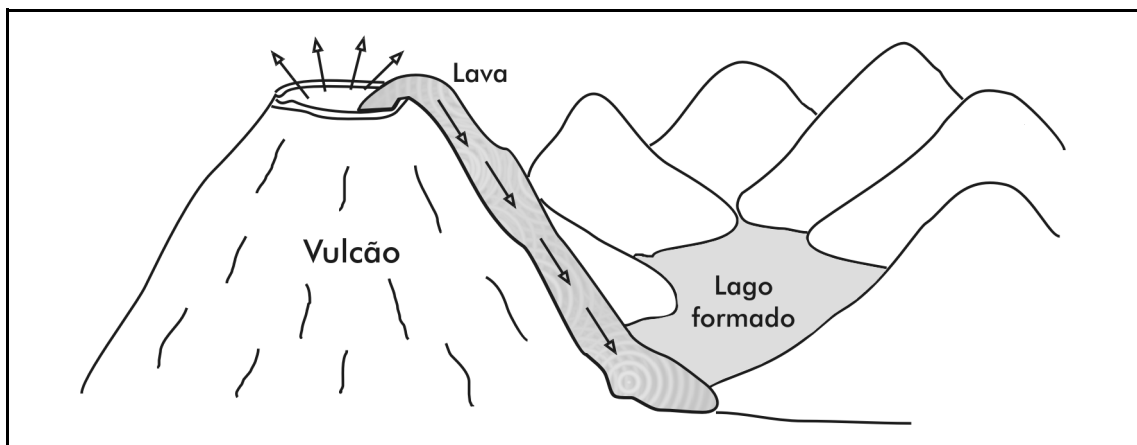


Figura 5.3 Origem vulcânica de lagos devido represamento promovido pelo magma (Fonte: adaptado de Von Sperling, 1999).

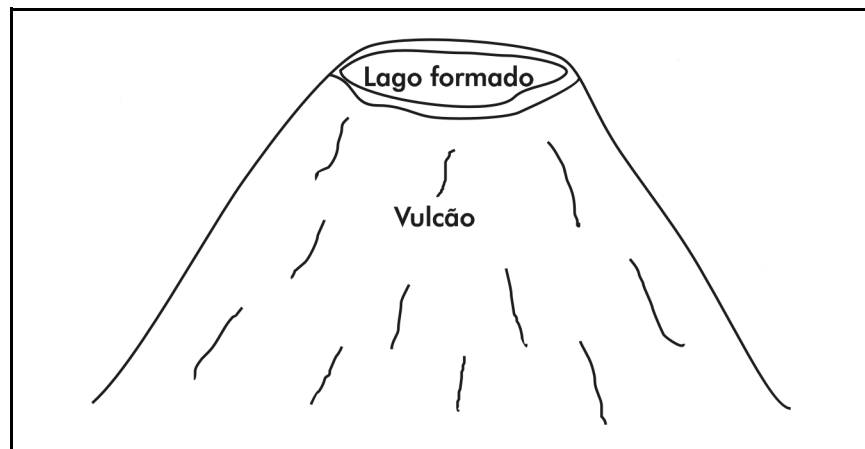


Figura 5.4 Origem vulcânica de lagos devido as explosões criando depressões e cavidades (Fonte: adaptado de Von Sperling, 1999).

III-lagos de origem glacial - esta é a origem mais comum dos lagos, principalmente para aqueles situados em regiões de clima temperado. Os efeitos da erosão e sedimentação, provenientes da movimentação do gelo, provocaram a formação de milhares de depressões sobre a superfície do planeta, as quais posteriormente se encheram de água. Um dos tipos mais freqüentes de origem glacial de lagos ocorre em vales barrados por morainas, que são sedimentos transportados por geleiras (Figura 5.5); outro tipo é aquele proveniente de erosão pelo gelo em regiões montanhosas, provocando a formação de vales profundos;

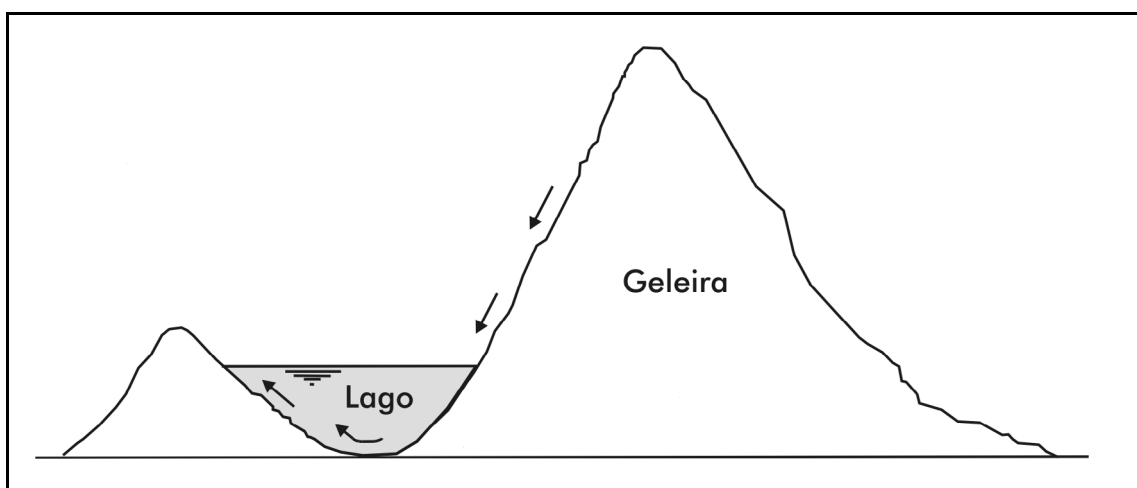


Figura 5.5 Lagos formados a partir de sedimentos transportados por geleiras (Fonte: adaptado de Von Sperling, 1999).

IV- **lagos originários de deslizamentos de material mineral** - consiste no barramento de cursos d'água devido ao deslizamento súbito de material não consolidado (rochas, lodo ou gelo) (Figura 5.6). Este fenômeno ocorre principalmente em terrenos montanhosos, que apresentam fortes declividades. A freqüência de chuvas de grande intensidade ou mesmo de terremotos provoca o deslocamento de material mineral e a conseqüente formação do lago;

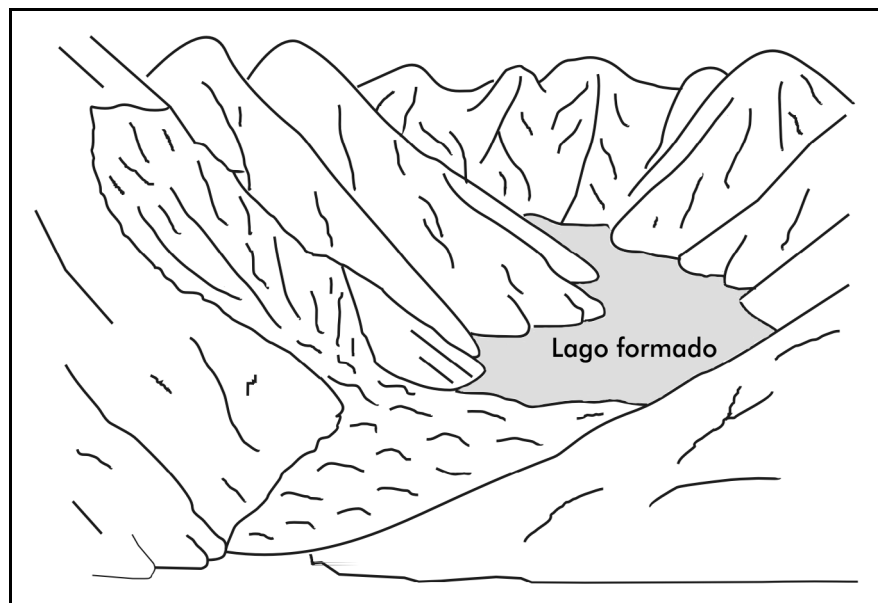


Figura 5.6 Lagos formados por deslizamentos (Fonte: adaptado de Von Sperling, 1999).

V- **lagos formados por atividade de rios** - as atividades de rios são responsáveis pela formação de distintos tipos de lagos, seja pela deposição de sedimentos, por inundação de várzeas ou por fechamento de meandros. Quando ocorre uma intensa deposição de sedimentos ao longo do leito de um rio, pode ser facilitada uma elevação do seu nível na região de entrada dos afluentes, acarretando assim a formação de lagos. Quando o rio, em função do relevo local, apresenta muitos meandros é também possível que a conjugação de processos de deposição (margem interna) e erosão (margem externa) provoque o fechamento destes meandros, acarretando assim a formação de lagos (Figura 5.7);

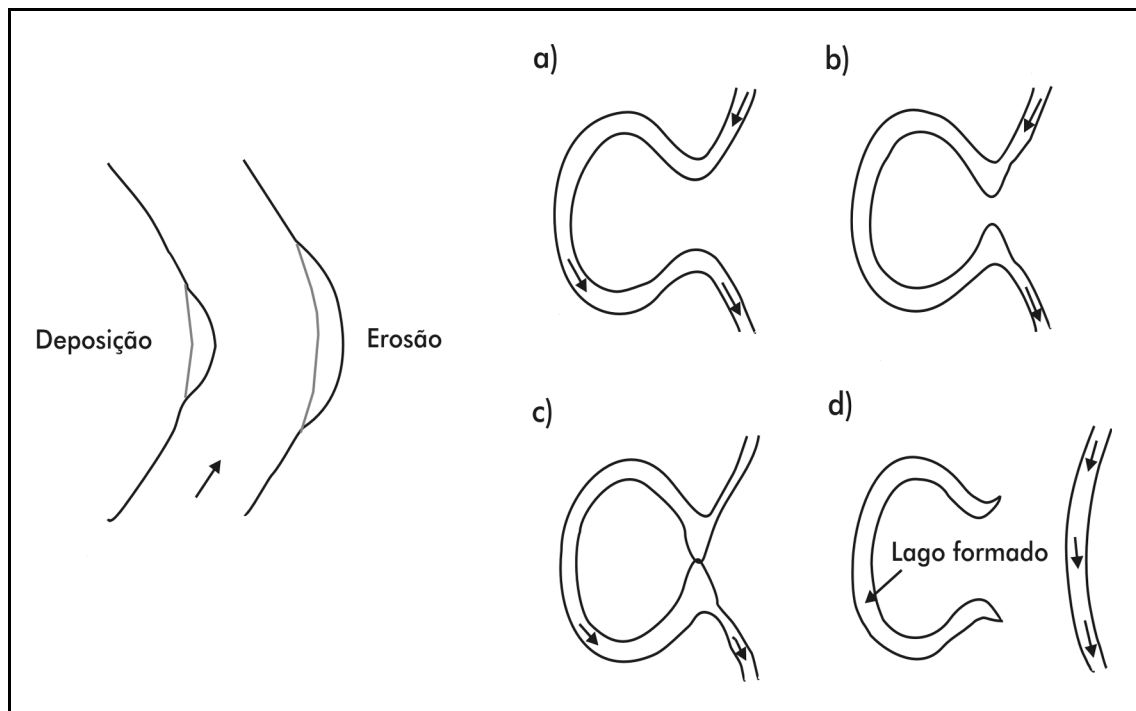


Figura 5.7 Lagos formados por fechamento de meandros (Fonte: adaptado de Von Sperling, 1999).

VI- **lagos de origem costeira** - são formados por distintos processos geológicos que ocorrem na região próxima ao litoral. Genericamente tais ambientes recebem a denominação de lagunas, as quais eventualmente podem até possuir ligação direta com o mar, o que evidentemente descaracteriza a sua condição própria de lago. Um dos principais processos formadores de lagunas é originário de sedimentos transportados por correntes marinhas, provocando ao longo do tempo o isolamento de uma enseada (Figura 5.8);

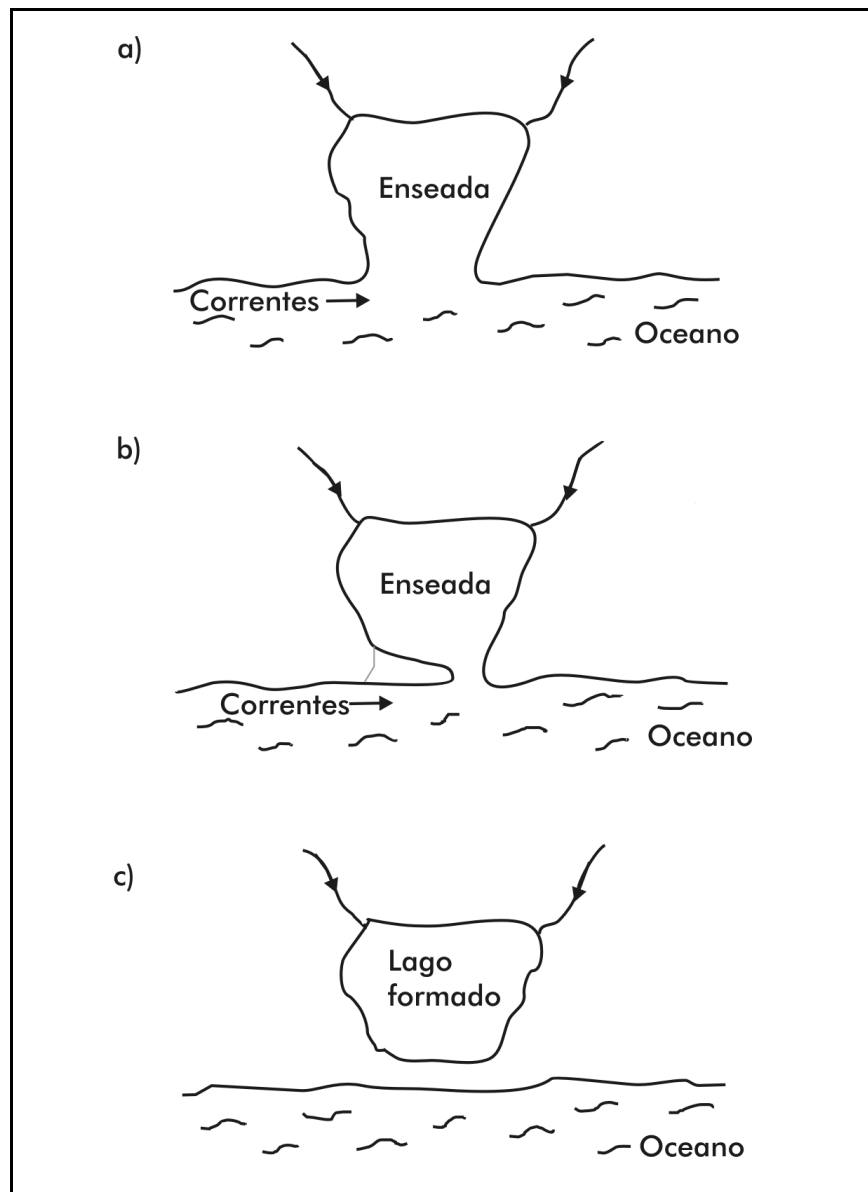


Figura 5.8 Lagos formados por isolamento de enseadas (Fonte: adaptado de Von Sperling, 1999).

VII-lagos de origem orgânica - são originários de processos de deposição de material orgânico, principalmente plantas e galhos de árvores, provocando o barramento de rios e a criação de ambientes lacustres;

VIII-lagos derivados de escavações artificiais - podem ser originados de ações executadas pelo homem sobre o terreno, resultando em escavações artificiais que são posteriormente preenchidas com água de origem atmosférica,

superficial ou subterrânea. Um dos exemplos mais comuns desta ação antrópica é a atividade de mineração (Figura 5.9).



Figura 5.9 Lagos formados a partir de mineração (Fonte: adaptado de Von Sperling, 1999).



PROCURE SABER

Existe(m) lago(s) em seu município? Qual(is) a(s) origem(ns) destes?

5.2 DINÂMICA AMBIENTAL DOS LAGOS

A dinâmica presente em lagos é influenciada, principalmente, pela radiação solar, sendo que em determinadas épocas do ano os lagos apresentam uma ampla variação de temperatura entre as camadas superficiais e as camadas profundas. Esta variação na temperatura promove variação na densidade da massa de água nas duas camadas distintas, sendo este fenômeno denominado de estratificação térmica.

Braga *et al* (2002) destacam que a radiação solar ao penetrar na água, sofre um decaimento exponencial e a faixa do espectro solar que corresponde às ondas longas, ou seja, a parcela de radiação infravermelha responsável pela transmissão de calor é absorvida quase que totalmente logo abaixo da superfície, estando praticamente extinta a um metro de profundidade. Essa rápida absorção de radiação resulta numa significativa diferença de temperatura entre a superfície e o fundo dos lagos. O perfil vertical de temperatura, portanto, tende a adquirir a forma mostrada na figura 5.10, e o lago tende a dividir-se em três camadas distintas de diferentes temperaturas.

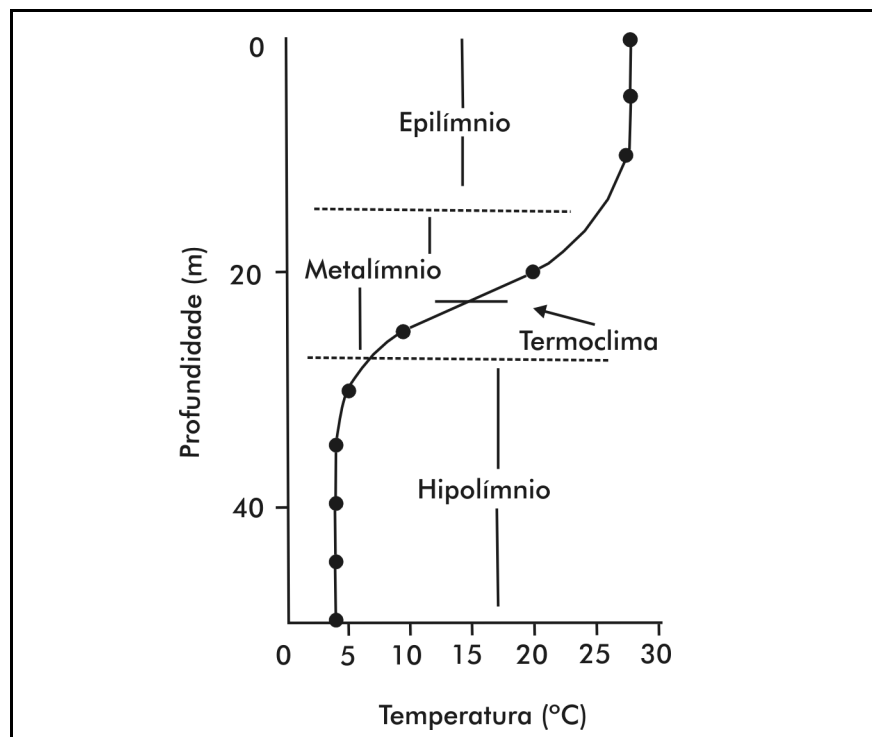


Figura 5.10 Perfil vertical de temperatura de um lago estratificado (Fonte: adaptado de Braga *et al*, 2002).

O perfil vertical de temperatura de um lago estratificado demonstra na camada superior da coluna líquida, também chamada de epilímio, uma água mais quente (com temperatura aproximadamente uniforme) e mais turbulenta. Já a camada inferior que fica junto ao fundo do lago, conhecida como hipolímnio, a água é mais fria e níveis baixos de turbulência. A camada intermediária (metalímnio), por sua vez, é um plano imaginário que passa pelo ponto de máximo gradiente no perfil vertical de temperatura - termoclina (Braga *et al*, 2002; Thomas *et al*, 1996).

São raros os lagos que permanecem estratificados durante o ano todo, afirmam Braga *et al* (2002), sendo que no outono a temperatura da superfície cai e iguala-se à temperatura do fundo, e nesse momento forças externas, tais como o vento, podem misturar as camadas superiores e inferiores. Os principais fatores que interferem nos processos de mistura e, portanto, na formação, estabilidade e duração da estratificação térmica são (Braga *et al.*, 2002):

- transferência de calor pela interface ar-água;
- mistura advectiva gerada pela movimentação das vazões de entrada e saída;
- - mistura provocada pela turbulência induzida pelo vento.

A importância da estratificação térmica num lago reside na interferência que a temperatura possui sob os processos químicos e biológicos atuantes neste lago. Braga *et al* (2002) e Thomas *et al* (1996) reforçam que a estabilidade induzida pela estratificação inibe os processos de transporte de calor e massa no lago, causando assim problemas relativos à qualidade da água; além do que, num lago estratificado, o local de produção do oxigênio é o epilímio, junto à superfície e praticamente coincidindo com a zona de luz, ou também conhecida como eufótica. O local de consumo para a decomposição da matéria orgânica, por sua vez, dá-se na região do fundo - hipolímio (Figura 5.11).

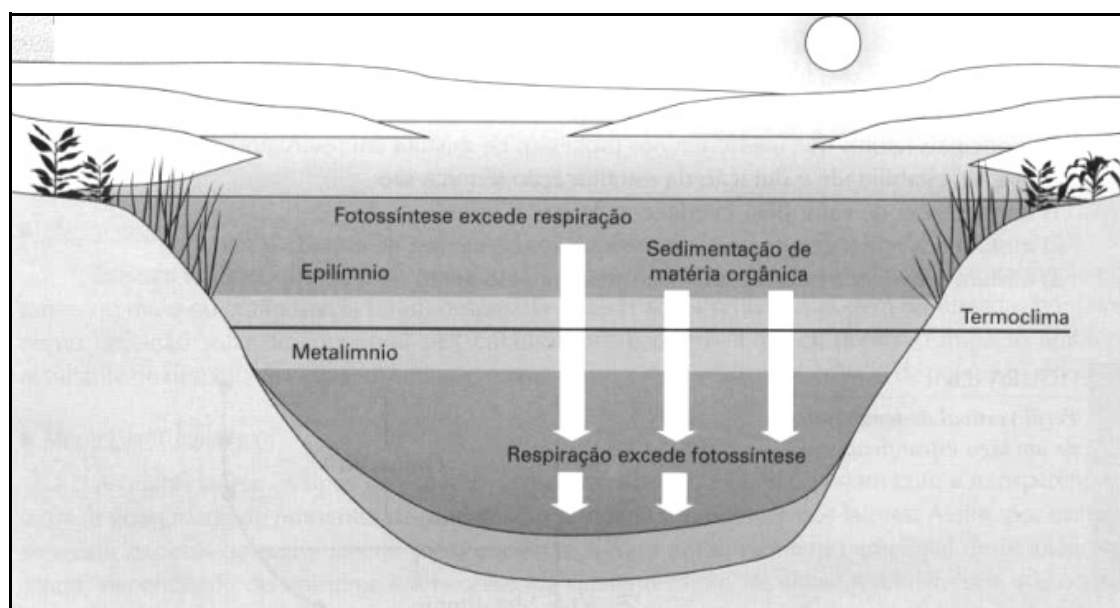


Figura 5.11 Processo de produção e consumo de oxigênio em um lago estratificado (Fonte: adaptado de Braga *et al*, 2002).

Quando acontece a estratificação, a concentração de oxigênio no hipolímnio diminui e, à medida que se aproxima de zero, profundas transformações químicas passam a ocorrer devido à passagem de um ambiente oxidante para um ambiente redutor. A água do hipolímnio anóxico (sem presença de oxigênio dissolvido, mas com oxigênio presente em moléculas de nitrato, sulfato, entre outros) apresenta baixo potencial de redução, levando à liberação do ferro e do manganês a partir do sedimento do fundo e a concentrações crescentes de fosfato, amônia, silicatos, carbonatos, íons de cálcio e gás sulfídrico. No epilímnio, o fitoplâncton utiliza o CO_2 no processo de fotossíntese, em parte retirado da solução em equilíbrio de bicarbonato de cálcio, o que induz a precipitação de carbonato de cálcio. Assim, verifica-se uma menor alcalinidade no período de estratificação no epilímnio devido à diminuição dos bicarbonatos e a precipitação do carbonato. No hipolímnio, altos níveis de dióxido de carbono produzido pelo processo de respiração resultam em grandes quantidades de bicarbonato de cálcio e ácido carbônico em solução (Braga *et al*, 2002).

Braga *et al* (2002) reforçam, ainda, que a qualidade da água em um lago ou um reservatório depende da altura das tomadas e da época do ano, ou seja, pode ter qualidade pior durante o período de estratificação térmica em função da posição. Segundo os autores, essa tem sido uma das maiores preocupações quanto às alterações ambientais provocadas por barragens, uma vez que a má qualidade da água a jusante da barragem pode atingir uma extensão de rio bastante significativa.



REFLITA

É possível evitar a estratificação térmica de um lago? Este fenômeno ocorre mais em lagos rasos ou profundos? Em clima temperado ou tropical?

5.3 O PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO

A eutrofização é o enriquecimento das águas com os nutrientes necessários ao crescimento da vida vegetal aquática. É um processo natural dentro da sucessão ecológica dos ecossistemas, quando o ecossistema lacustre tende a transformar-se num ecossistema terrestre utilizando a interação do lago com o meio terrestre que o circunda. A eutrofização é, portanto, um processo natural de maturação de um ecossistema lacustre (Braga *et al*, 2002).

A eutrofização manifesta-se por meio de aumento da produtividade biológica do lago, sendo observada a proliferação de algas e outros vegetais aquáticos devido a maior quantidade de nutrientes disponível, onde o fósforo e o nitrogênio apresentam-se como os macronutrientes mais significativos. A produtividade biológica dos lagos é um parâmetro que serve para classificar os lagos, conforme segue:

- **oligotróficos:** lagos com baixa produtividade biológica e baixa concentração de nutrientes;
- **eutróficos:** lagos com produção vegetal excessiva e alta concentração de nutrientes;
- **mesotróficos:** lagos com características intermediárias entre oligotrófico e eutrófico.

Braga *et al* (2002) e Thomas *et al* (1996) reforçam que a eutrofização natural (Figura 5.12) é um processo demorado quando associado ao tempo de evolução dos ecossistemas. Contudo, esse processo vem se acelerando devido ações antrópicas, notadamente atividades industriais, agrícolas e pelo lançamento de esgotos das densidades populacionais.

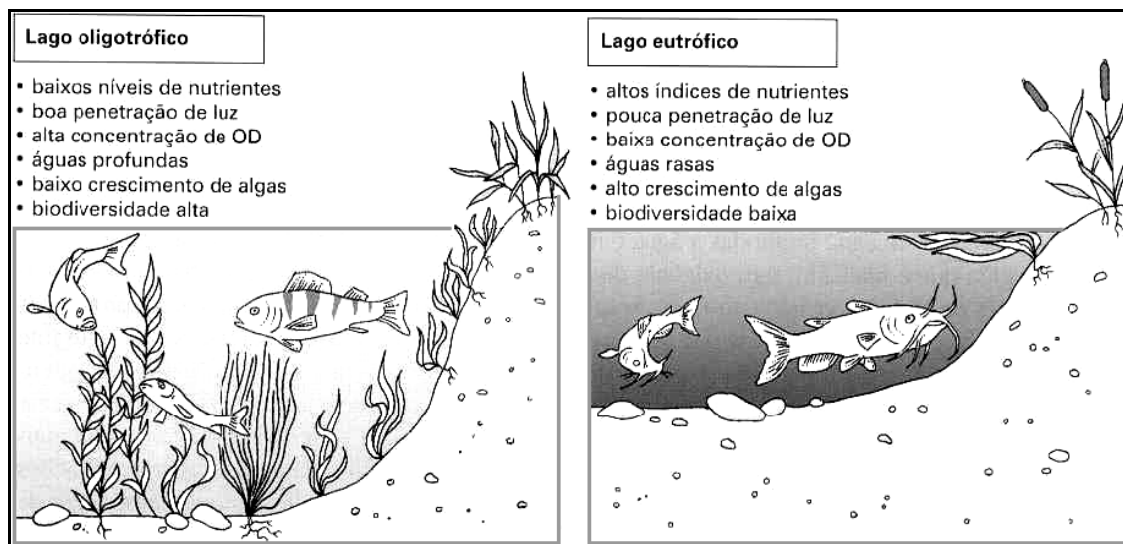


Figura 5.12 Esquema representativo do processo natural de eutrofização (Fonte: adaptado de Braga et al, 2002).

As ações antrópicas promovem uma eutrofização acelerada, muitas vezes devido ao excessivo aporte de fósforo no lago, oriundo principalmente dos esgotos domésticos e industriais e dos fertilizantes agrícolas. Outros fatores que também interferem na ocorrência da eutrofização, destacam Braga *et al* (2002), são a radiação solar e a temperatura, fato que pode ser constatado pela observação dos lagos oligotróficos, que se encontram em latitudes e altitudes elevadas, onde predominam as baixas temperaturas e a radiação solar é menos intensa. Os lagos em regiões tropicais, afirmam os mesmos autores, possuem uma tendência maior à eutrofização por se localizarem em regiões quentes e com grande incidência de radiação solar, praticamente constante ao longo do ano.

Como principais conseqüências da eutrofização acelerada têm-se que a camada superior do lago passa a ser a zona produtora de oxigênio, devido a presença de algas, e a camada inferior do lago passa a ser a zona consumidora de oxigênio, devido à presença dos decompositores. A quantidade de matéria orgânica a ser decomposta é tão grande que os peixes passam a competir com os decompositores pelo oxigênio disponível, resultando na morte de peixes e a sobrevivência das espécies menos exigentes. Com o agravamento do processo, mesmo essas espécies desaparecem, pois haverá oxigênio disponível apenas numa estreita camada superficial, totalmente tomada pelas algas. Na fase final do processo, a camada inferior do lago passa a ser permanentemente anóxica, sendo que a quantidade de matéria orgânica a ser decomposta é tão grande que consome todo o oxigênio disponível (Braga *et al*, 2002). A **Figura 5.13** destaca as etapas de desequilíbrio ecológico nos lagos eutrofizados.

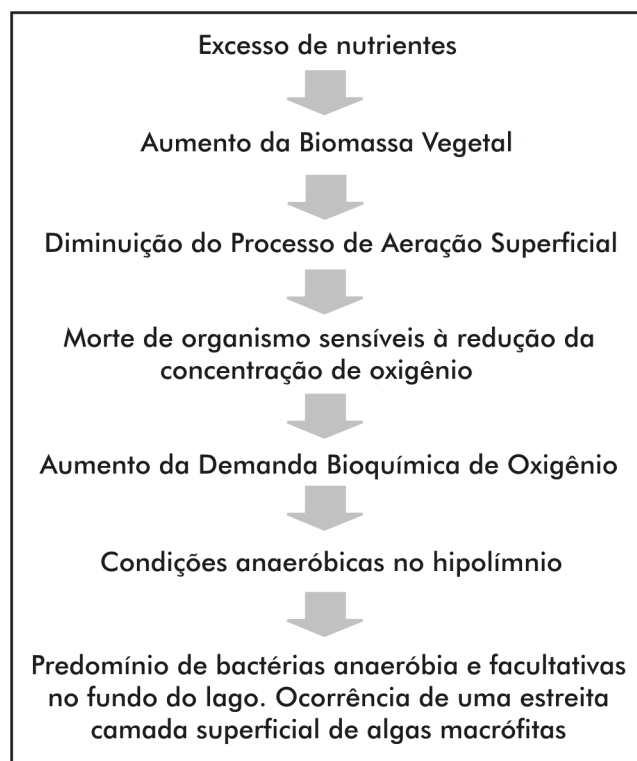


Figura 5.13 Esquema destacando as etapas do desequilíbrio ecológico nos lagos eutrofizados (Fonte: adaptado de Braga et al, 2002).

As conseqüências da eutrofização, portanto, podem ser englobadas em duas categorias, conforme destacam Braga *et al* (2002):

I- impactos sobre o ecossistema e a qualidade da água:

- a diversidade biológica diminui, pois poucas espécies sobrevivem às condições adversas;
- há alteração das espécies de algas presentes no meio;
- os baixos teores de oxigênio dissolvido na água alteram a composição das espécies de peixes presentes no meio;
- as concentrações elevadas de compostos orgânicos dissolvidos provocarão sabor e odor desagradável e diminuirão a transparência da água;
- a decomposição anaeróbica que ocorre no fundo do lago libera metano, gás sulfídrico, amônia, além de fósforo, ferro e manganês e outros compostos, alterando condições químicas da água.

II- impactos sobre a utilização dos recursos hídricos:

- a utilização do corpo d'água como manancial de abastecimento fica prejudicada porque o excesso de algas obstrui os filtros de estações de tratamento, entre outros;
- investigações epidemiológicas têm mostrado elevada correlação entre a presença de grandes concentrações de algas azuis e epidemias de distúrbios gastrointestinais;
- o uso recreacional do corpo d'água fica prejudicado;
- há perda de valor comercial das propriedades localizadas nas margens dos corpos de água que sofrem eutrofização.

**PROCURE SABER**

Existe algum lago eutrofizado em sua localidade? Quais os riscos e os inconvenientes que estas águas promovem?

Como formas de controle da eutrofização, destacam-se as medidas preventivas, que visam reduzir a carga externa de nutrientes utilizando-se de tratamento terciário de esgotos, tratamento de efluentes industriais, redução do uso de fertilizantes agrícolas, recomposição de matas ciliares e controle da drenagem urbana, assim como as medidas corretivas, as quais atuam sobre os processos de circulação de nutrientes no lago e sobre o ecossistema, destacando-se, por exemplo, a aeração da camada inferior do lago para manter o fósforo insolúvel, a precipitação química do fósforo, a redução da biomassa vegetal por meio de colheita de macrófitas e a remoção do sedimento do fundo (Braga *et al*, 2002; Thomas *et al*, 1996).

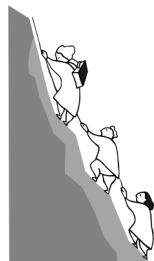
PONTOS A DESTACAR:

- 1.- A origem dos lagos está associada à ocorrência de fenômenos naturais, de natureza geológica, ou de natureza antrópica devido a atuações provocadas pelo homem.
- 2.- Dentre as diferentes origens dos lagos, destacam-se: de origem tectônica, de origem vulcânica, de origem glacial, originários de deslizamentos de material mineral, formados por atividade de rios, de origem costeira, de origem orgânica e derivados de escavações artificiais.
- 3.- A dinâmica presente em lagos é influenciada, principalmente, pela radiação solar e as variações diárias na temperatura atmosférica.
- 4.- O perfil vertical de temperatura de um lago estratificado demonstra na camada superior da coluna líquida (epilímio) uma água mais quente e mais turbulenta. Na camada inferior que fica junto ao fundo do lago (hipolímio), a água é mais fria e níveis baixos de turbulência. A camada intermediária (metalímio), é um plano imaginário que passa pelo ponto de máximo gradiente no perfil vertical de temperatura - termoclina.
- 5.- A importância da estratificação térmica num lago reside na interferência que a temperatura possui sob os processos químicos e biológicos atuantes neste lago.
- 6.- A eutrofização é o enriquecimento das águas com os nutrientes necessários ao crescimento da vida fotoautotrófica.
- 7.- A eutrofização manifesta-se por meio de aumento da produtividade biológica do lago, sendo observada a proliferação de algas e vegetais aquáticos devido a maior quantidade de nutrientes disponível.
- 8.- As ações antrópicas promovem uma eutrofização acelerada, muitas vezes devido ao excessivo aporte de fósforo no lago, oriundo principalmente dos esgotos domésticos e industriais e dos fertilizantes agrícolas.

RESUMO

6 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

OBJETIVOS



Apresentar a dinâmica das águas subterrâneas, destacando os tipos de aquíferos, as fontes de poluição e as transformações físico-químicas e biológicas pertinentes.

A precipitação pluviométrica, sob a forma de chuva, neve ou granizo produz, conforme visto no **Capítulo 1**, além do escoamento superficial e da evaporação, a infiltração no solo de certa parcela de água. Parte desta água infiltrada, afirmam YASSUDA e NOGAMI *apud* OLIVEIRA *et al* (1976), evapora-se nas primeiras camadas, uma outra parte é absorvida pelas plantas e sofre o fenômeno da transpiração e, ainda, uma certa quantidade infiltra-se mais e vai concentrar-se em camadas inferiores. Denomina-se, portanto, água subterrânea, esta água presente no subsolo, ocupando os interstícios, fendas, falhas ou canais existentes nas diferentes camadas geológicas, e em condições de escoar.

A ocorrência de água subterrânea está ligada à existência de formações geológicas capazes de acumular e fazer circular o líquido. Cada tipo de rocha tem características determinadas quanto às possibilidades aquíferas, como por exemplo as rochas

ígneas, também conhecidas como rochas de cristalino, onde a presença de água está condicionada à existência de falhas, fissuras ou fendas; rochas eruptivas - rochas de origem vulcânica, como os basaltos e diábases, as quais podem conter água quando estiverem fraturadas ou forem do tipo vesicular, isto é, quando contiverem numerosos vazios em seu interior; rochas sedimentares como os folhelhos, que resultam da consolidação de argilas, sendo geralmente impermeáveis, atuando como camadas confinantes de aquíferos; entre outras (Yassuda e Nogami *apud* Oliveira *et al*, 1976). As fontes, minas e nascentes, afirmam os mesmos autores, são formas de surgência natural da água subterrânea na superfície do terreno; já os poços rasos ou profundos, tubulares ou escavados, os drenos e galerias filtrantes são obras destinadas a permitir a retirada artificial da água subterrânea das camadas em que se encontram.

6.1 TIPOS DE AQUÍFEROS

Aquífero é a formação geológica capaz de armazenar e conduzir volumes significantes de água subterrânea. A condição essencial para a formação de um aquífero é a sua capacidade de armazenar água em seus poros, definida como porosidade. A porosidade, portanto, é função dos espaços intergranulares em aquíferos de meio poroso e do fissuramento nos aquíferos de meio fraturado (Nosse, 2000). Como exemplos, destaca o mesmo autor, tem-se as rochas sedimentares que em geral constituem aquíferos de meio poroso, enquanto que os aquíferos de meios fraturados são representados pelas rochas ígneas e metamórficas.

Classificam-se os aquíferos como sendo (Nosse, 2000):

- **aquífero confinado:** também chamado sob-pressão, é um aquífero no qual a pressão da água no topo é maior que a pressão atmosférica (Figura 6.1). Compreende dois tipos, quais sejam:
 - **drenante:** é o aquífero no qual pelo menos uma das camadas limítrofes é semi-permeável, permitindo a entrada ou saída de fluxos pelo topo ou pela base;
 - **não drenante:** é o aquífero cujas camadas limítrofes superior, e inferior, são impermeáveis;
- **aquífero livre:** também chamado de freático ou não confinado, é aquele cujo limite superior é uma superfície freática na qual todos os pontos se encontram a

pressão atmosférica (Figura 6.1). As áreas de recarga dos aquíferos confinados são aquíferos livres através dos quais o excesso de água da chuva consegue penetrar por infiltração.

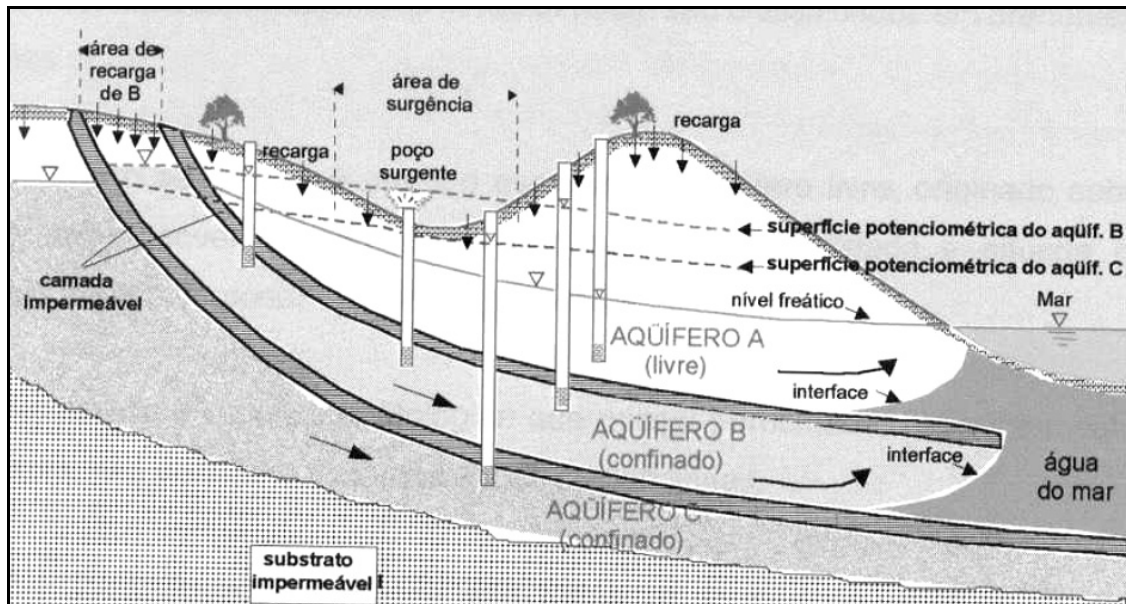


Figura 6.1 Tipologia de aquíferos - aquífero confinado. (Fonte: adaptado de Nosse, 2000).

6.2 O CAMINHO SUBTERRÂNEO DA ÁGUA

A água que se infiltra está submetida a duas forças fundamentais: a gravidade e a força de adesão de suas moléculas às superfícies das partículas do solo (força de capilaridade). Pequenas quantidades de água no solo tendem a se distribuir uniformemente pela superfície das partículas. A força de adesão é mais forte do que a força da gravidade que age sobre esta água. Como consequência ela ficará retida, quase imóvel, não atingindo zonas mais profundas. Chuvas finas e passageiras fornecem somente água suficiente para repor esta umidade do solo. Para que haja infiltração até a zona saturada é necessário primeiro satisfazer esta necessidade da força capilar (Figura 6.2).

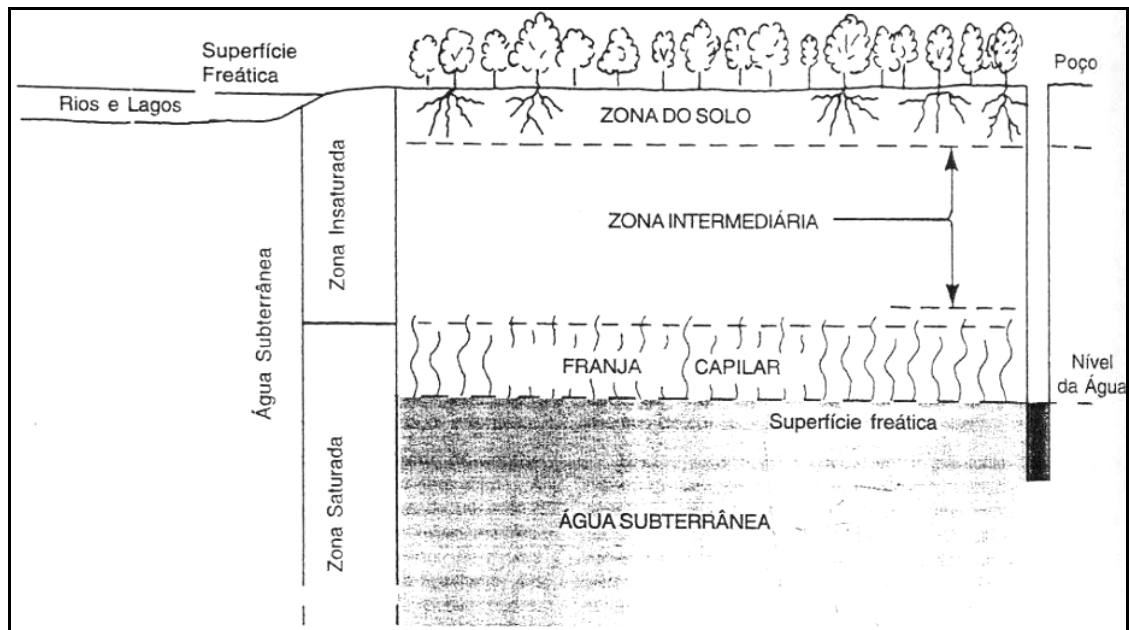


Figura 6.2 Zonas da água subterrânea (Fonte: adaptado de Heath, 1983).

As zonas de ocorrência da água no solo de um aquífero freático, podem ser classificadas como (www.meioambiente.pro.br):

- **zona de aeração:** é a parte do solo que está parcialmente preenchida por água. Nesta zona a água ocorre na forma de películas aderidas aos grãos do solo. Solos muito finos tendem a ter mais umidade do que os mais grosseiros, pois há mais superfícies de grãos onde a água pode ficar retida por adesão. Na zona de aeração pode-se distinguir três regiões:
 - zona de umidade do solo: é a parte mais superficial, onde a perda de água de adesão para a atmosfera é intensa. Em alguns casos é muito grande a quantidade de sais que se precipitam na superfície do solo após a evaporação desta água, dando origem a solos salinizados ou a crostas ferruginosas (lateríticas);
 - franja de capilaridade: é a região mais próxima ao nível d'água do lençol freático, onde a umidade é maior devido à presença da zona saturada logo abaixo;
 - zona intermediária: região compreendida entre as duas anteriores e com umidade menor do que na franja capilar e maior do que na zona superficial do solo. Em áreas onde o nível freático está próximo da superfície, a zona intermediária pode não existir, pois a franja capilar

atinge a superfície do solo. São brejos e alagadiços, onde há uma intensa evaporação da água subterrânea;

- **zona de Saturação:** é a região abaixo do lençol freático (nível freático) onde os poros ou fraturas da rocha estão totalmente preenchidos por água. Observe-se que em um poço escavado num aquífero deste tipo a água o estará preenchendo até o nível freático. Em aquíferos freáticos o nível da água varia segundo a quantidade de chuva. Em épocas com mais chuva o nível freático sobe e em épocas em que chove pouco o nível freático desce. Um poço perfurado no verão poderá ficar seco caso sua penetração na zona saturada for menor do que esta variação do nível d'água.

6.3 POLUIÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

No geral os depósitos de água subterrânea são bem mais resistentes aos processos poluidores dos que os de água superficial, pois a camada de solo sobrejacente atua como filtro físico e químico. A facilidade de um poluente atingir a água subterrânea dependerá dos seguintes fatores (www.meioambiente.pro.br):

- **Tipo de aquífero:** os aquíferos freáticos são mais vulneráveis do que os confinados ou semiconfinados. Aquíferos porosos são mais resistentes dos que os fissurais, e entre estes os mais vulneráveis são os cársticos;
- **Profundidade do nível estático (espessura da zona de aeração):** como esta zona atua como um reator físico-químico, sua espessura tem papel importante. Espessuras maiores permitirão maior tempo de filtragem, além do que aumentarão o tempo de exposição do poluente aos agentes oxidantes e adsorventes presentes na zona de aeração;
- **Permeabilidade da zona de aeração e do aquífero:** a permeabilidade da zona de aeração é fundamental quando se pensa em poluição. Uma zona de aeração impermeável ou pouco permeável é uma barreira à penetração de poluentes no aquífero. Aquíferos extensos podem estar parcialmente recobertos por camadas impermeáveis em algumas áreas enquanto em outras acontece o inverso. Estas áreas de maior permeabilidade atuam como zona de recarga e têm uma importância fundamental em seu gerenciamento. Por outro lado, alta permeabilidade (transmissividade) permitem uma rápida difusão da poluição. O avanço da mancha poluidora poderá ser acelerado pela exploração do aquífero, na medida que aumenta a velocidade do fluxo subterrâneo em direção às áreas onde está havendo a retirada de água. No caso de aquíferos litorâneos, a superexploração

poderá levar à ruptura do frágil equilíbrio existente entre água doce e água salgada, produzindo o que se convencionou chamar de intrusão de água salgada;

- **Teor de matéria orgânica existente sobre o solo:** a matéria orgânica tem grande capacidade de adsorver uma gama variada de metais pesados e moléculas orgânicas. Estudos no Estado do Paraná, por exemplo, onde está muito difundida a técnica do plantio direto, têm mostrado que o aumento do teor de matéria orgânica no solo tem sido responsável por uma grande diminuição do impacto ambiental da agricultura. Têm diminuído a quantidade de nitrato e sedimentos carregados para os cursos d'água. Segundo técnicos estaduais isto tem modificado o próprio aspecto da água da represa de Itaipu;
- **Tipo dos óxidos e minerais de argila existentes no solo:** sabe-se que estes compostos, por suas cargas químicas superficiais, têm grande capacidade de reter uma série de elementos e compostos. Na contaminação de um solo por nitrato, por exemplo, sabe-se que o manejo de fertilizantes, com adição de gesso ao solo, facilita a reciclagem do nitrogênio pelos vegetais e, conseqüentemente, a penetração do nitrato no solo é menor. Da mesma forma, a mobilidade dos íons nitratos é muito dependente do balanço de cargas. Solos com balanço positivo de cargas suportam mais nitrato. Neste particular, é de se notar que nos solos tropicais os minerais predominantes são óxidos de ferro e alumínio e caolinita, que possuem significante cargas positivas, o que permite interação do tipo íon-íon (interação forte) com uma gama variada de produto que devem sua atividade pesticida a grupos moleculares iônicos e polares.

Um poluente após atingir o solo, poderá passar por uma série reações químicas, bioquímicas, fotoquímicas e inter-relações físicas com os constituintes do solo antes de atingir a água subterrânea. Estas reações poderão neutralizar, modificar ou retardar a ação poluente. Em muitas situações a biotransformação e a decomposição ambiental dos compostos fitossanitários pode conduzir à formação de produtos com uma ação tóxica aguda mais intensa ou, então, possuidores de efeitos injuriosos não caracterizados nas moléculas precursoras.

Os processos que agem sobre os poluentes que atingem o solo podem ser agrupados nas seguintes categorias:

- adsorção-desorção;
- ácido-base ;
- solução-precipitação;
- oxidação-redução;

- associação iônica (complexação);
- síntese celular microbiana;
- decaimento radioativo.

A poluição capaz de atingir as águas subterrâneas pode ter origem variada. Considerando que os aquíferos são corpos tridimensionais, em geral extensos e profundos, diferentemente portanto dos cursos d'água, a forma da fonte poluidora tem importância fundamental nos estudos de impacto ambiental. As fontes de poluição podem ser pontuais, lineares e/ou difusas, conforme segue:

- **Fontes pontuais de poluição:** são as que atingem o aquífero através de um ponto. Exemplos: sumidouros de esgotos domésticos, comuns em comunidades rurais, aterros sanitários, vazamentos de depósitos de produtos químicos, vazamentos de dutos transportadores de esgotos domésticos ou produtos químicos. Estas fontes são responsáveis por poluições altamente concentradas na forma de plumas;
- **Fontes lineares de poluição:** são as provocadas pela infiltração de águas superficiais de rios e canais contaminados. A possibilidade desta poluição ocorrer dependerá do sentido de fluxo hidráulico existente entre o curso d'água e o aquífero subjacente. É necessário enfatizar que, ao longo de um mesmo curso, há lugares onde o fluxo se dá do aquífero para o talvegue e outros onde se passa o inverso, isto é, as águas do rio se infiltram em direção ao aquífero. A existência de poços profundos em funcionamento nas proximidades do curso d'água poderá forçar a infiltração de água contaminada no aquífero invertendo o seu fluxo ou aumentando sua velocidade;
- **Fontes difusas de poluição:** são as que contaminam áreas extensas. Normalmente são devidas a poluentes transportados por correntes aéreas, chuva e pela atividade agrícola. Em aglomerados urbanos, onde não haja rede de esgotamento sanitário, as fossas sépticas e sumidouros estão de tal forma regularmente espaçadas que o conjunto acaba por ser uma fonte difusa de poluição. A poluição proveniente das fontes difusas se caracterizam por ser de baixa concentração e atingir grande áreas.



PROCURE SABER

Existe alguma política de liberação e fiscalização de unidades de tratamento individual em seu município?

6.4 CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA FINS DE ABASTECIMENTO

A captação de águas subterrâneas, do lençol freático e do lençol confinado, dá-se resumidamente da seguinte forma (Heller e Casseb *apud* Barros *et al*, 1995):

- do lençol freático:
 - **captação de fonte aflorante (ou de encostas):** são utilizadas caixas de tomada convenientemente protegidas que, instaladas no local de afloramento, recolhem diretamente a água do lençol, ou indiretamente através de uma canalização simples perfurada ou com ramificações que penetram o lençol adentro (Figura 6.3).

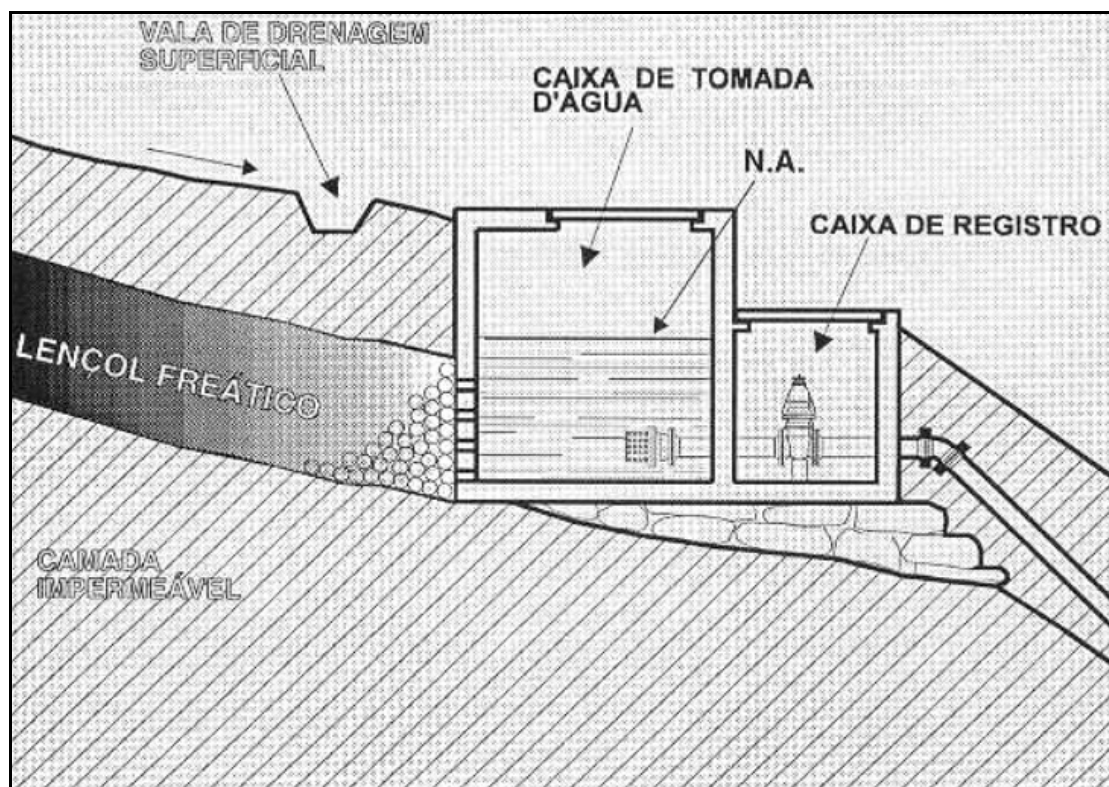


Figura 6.3 Captação de fonte de encosta. (Fonte: adaptado de Heller e Casseb *apud* Barros *et al*, 1995).

- **captação de fonte emergente:** é utilizado geralmente um sistema de drenagem subsuperficial, denominado de galeria de infiltração. A solução consiste de um sistema de drenos, que termina em um coletor central,

através do qual a água é encaminhada a um poço (Figura 6.4). Alguns cuidados fazem-se necessários na instalação dessas captações, quais sejam: as caixas de coleta devem possuir abertura de inspeção com tampa e extravasores e tubulações de limpeza; a área em torno da caixa deve ser isolada, para impedir a proximidade de pessoas estranhas e animais; no caso de existirem nas proximidades áreas de cultivo, deve ser vedado o uso de adubos de origem animal ou produtos tóxicos que possam ser carreados para o sistema.

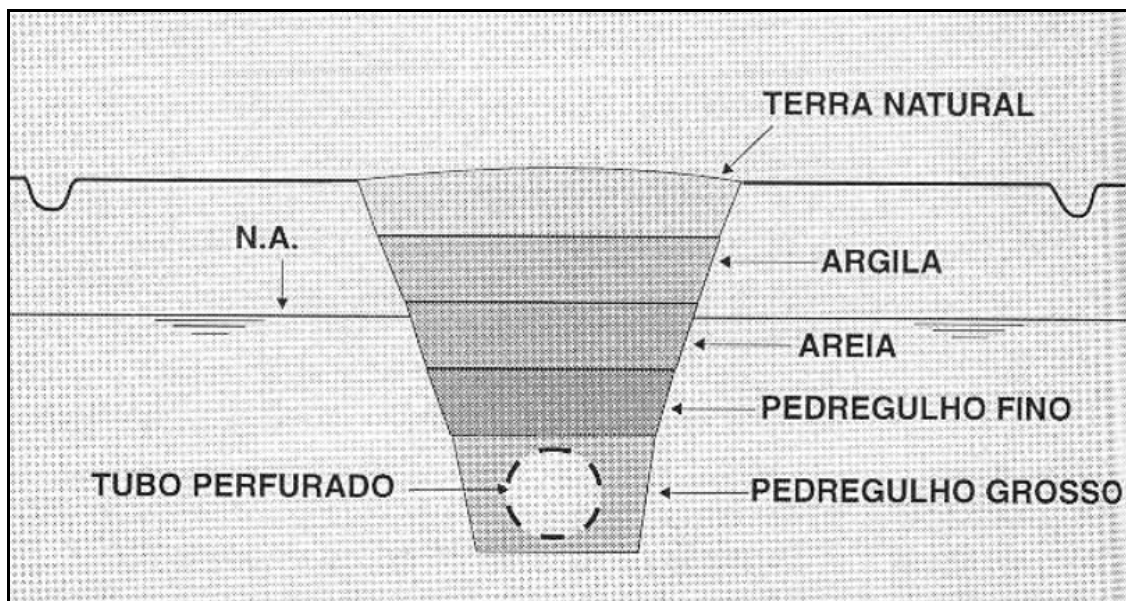


Figura 6.4 Captação de fonte emergente - galeria de infiltração (Fonte: adaptado de Heller e Casseb apud Barros et al, 1995).

- **poço raso ou freático (também conhecidos por cisternas):** escavação circular, geralmente de 0,80 a 2,00m de diâmetro e com profundidade de acordo com a localização do lençol freático (Figura 6.5). Sua localização deve atender aos seguintes requisitos básicos: favorecer o afastamento de água de chuva; situar-se próxima ao local de consumo; localizar-se o mais longe possível e acima de qualquer fonte potencialmente poluidora.

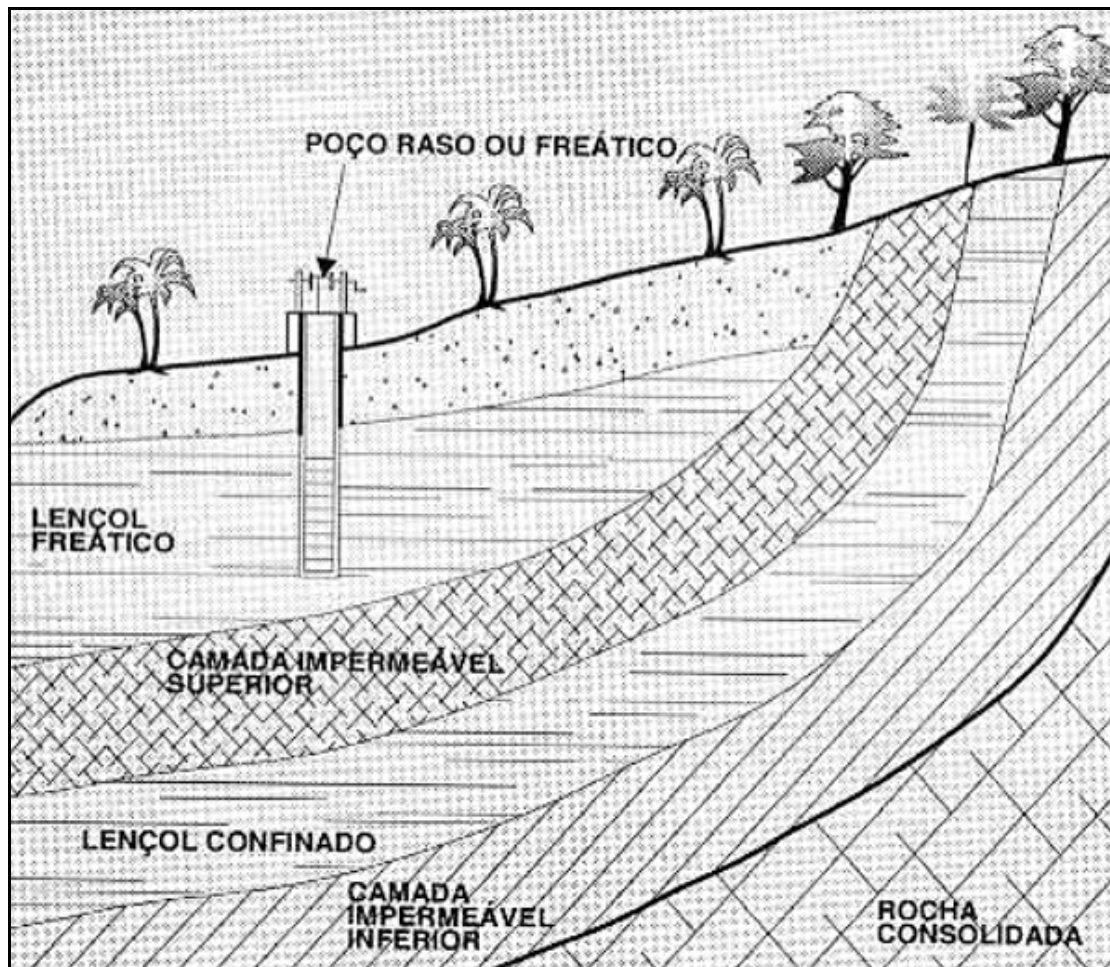


Figura 6.5 Captação de poço raso (Fonte: adaptado de Heller e Casseb apud Barros *et al*, 1995).

- do lençol confinado:
 - **poço profundo ou artesiano:** a escavação de poços profundos exige mão-de-obra e equipamentos especiais, sendo destacadas as etapas de perfuração, instalação da tubulação de revestimento, colocação de filtro, cimentação, teste de bombeamento e instalação do equipamento de bombeamento.



REFLITA

Qual dos tipos de captação de água oferece menor risco à saúde humana? Por quê?

PONTOS A DESTACAR

- 1.- Água subterrânea é a água presente no subsolo, ocupando os interstícios, fendas, falhas ou canais existentes nas diferentes camadas geológicas, e em condições de escoar.
- 2.- A ocorrência de água subterrânea está ligada à existência de formações geológicas capazes de acumular e fazer circular o líquido.
- 3.- Cada tipo de rocha tem características determinadas quanto às possibilidades aquíferas.
- 4.- As fontes, minas e nascentes são formas de surgência natural da água subterrânea na superfície do terreno.
- 5.- Os poços rasos ou profundos, tubulares ou escavados, os drenos e galerias filtrantes são obras destinadas a permitir a retirada artificial da água subterrânea das camadas em que se encontram.
- 6.- Aquífero é a formação geológica capaz de armazenar e conduzir volumes significantes de água subterrânea.
- 7.- Os aquíferos são classificados como confinado e livre.
- 8.- A água que se infiltra está submetida a duas forças fundamentais: a gravidade e a força de adesão de suas moléculas às superfícies das partículas do solo (força de capilaridade).
- 9.- A facilidade de um poluente atingir a água subterrânea dependerá dos seguintes fatores: profundidade do nível estático, permeabilidade da zona de aeração e do aquífero, teor de matéria orgânica sob o solo e tipo de óxidos e minerais de argila existentes no solo.
- 10.- As fontes de poluição podem ser pontuais, lineares e/ou difusas.

RESUMO

BIBLIOGRAFIA

- [1] BASSOI, L. J.; GUAZELLI, M. R. **Controle Ambiental da Água** - Capítulo 3. In: PHILIPPI J R., A., ROMÉRO, M. DE A., BRUNA, G. C. (editores). Curso de Gestão Ambiental. Barueri, SP: Manole. 1045p., 2004.
- [2] BAVARIAN STATE MINISTRY FOR REGIONAL DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL AFFAIRS. Bavaria, land of water: Sustainable water management in Bavaria. 4th Edition. Munich, Germany: StMLU. 94p., 2002.
- [3] BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. C. L.; BARROS, M. T. L. D. E.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Practice Hall. 305p., 2004.
- [4] CHORUS, I.; BARTRAN, J. (1999). Toxic Cyanobacteria in Water. **A guide to their public health consequences monitoring and management**. E & FN Spon. New York, London.
- [5] CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente (1986). Resolução N° 20, de 18 de junho de 1986.
- [6] CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente (2000). Resolução N° 274 de 29 de Dezembro de 2000.
- [7] HELLER, L.; CASSEB, M. M. S. **Abastecimento de Água** - Capítulo 4. In: BARROS, R. T. V.; CHERNICHARO, C. A. L.; HELLER, L.; VON SPERLING, M. (editores). Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios. Volume II. Belo Horizonte, MG: Escola de Engenharia da UFMG. 221p., 1995.
- [8] MATTHIENSEN, A. (2001). **Florações Tóxicas de Cianobactérias**. Minicurso. Encontro de Biólogos em 2001.
- [9] MINISTÉRIO DA SAÚDE - Portaria N° 1469 de 29 de Dezembro de 2000.

- [10] NOSSE, E. de O. **Águas subterrâneas**. Trabalho da Disciplina ENS3115 - Hidrogeologia. Florianópolis, SC: ENS-UFSC. Trabalho não publicado, 2000.
- [11] RODRIGUES, R. B. **Modelagem dos poluentes orgânicos em corpos d'água superficiais** - Capítulo 8. In: NUVOLARI, A. (coordenador). Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola. São Paulo, SP: Editora Edgar Blücher Ltda. 520p., 2003
- [12] SETTI, A. A. **A necessidade do uso sustentável dos recursos hídricos**. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Brasília, DF. 344 p., 1996.
- [13] THOMAS, R.; MEYBECK, M.; BEIM, A. (1996). **Lakes** - Chapter 7. In: CHAPMAN, D. (ed). (1996). Water Quality Assesments. 2nd Edition. Cambridge, Great Britain: UNESCO/WHO/UNEP. 626p.
- [14] VON SPERLING, M. (1995). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: DESA-UFMG.
- [15] VON SPERLING, M.; MÖLLER, L. M. **Saneamento e Meio Ambiente** - Capítulo 2. In: BARROS, R. T. V.; CHERNICHARO, C. A. L.; HELLER, L.; VON SPERLING, M. (editores). Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios. Volume II. Belo Horizonte, MG: Escola de Engenharia da UFMG. 221p., 1995.
- [16] VON SPERLING, E. **Morfologia de lagos e represas**. Belo Horizonte: DESA/UFMG. 138p., 1999.
- [17] YASSUDA, E. R.; NOGAMI, P. S. **Captação de água subterânea**. Capítulo 5. In: OLIVEIRA, W. E. de; GAGLIANONE, S.; YASSUDA, E. R.; NOGAMI, P. S.; PEREIRA, B. E. B.; MARTINS, J. A. Técnica de abastecimento e tratamento de água. Volume 1. 2ª Ed. Revisada. São Paulo, SP: CETESB. 549p., 1976.

Sítios na Internet:

- www.bragancanet.pt/agua. Consultado em 25 de novembro de 2004
- www.bragancanet.pt/agua. Consultado em 04 de Janeiro de 2005.
- www.casan.com.br. Consultado em 28 de janeiro de 2005
- www.cetesb.sp.gov.br. Consultado em 04 de Janeiro de 2005.
- www.geocities.com/~esabio/agua/agua.htm. Consultado em 25 de novembro de 2004
- www.geocities.com/~esabio/agua/agua.htm. Consultado em 04 de Janeiro de 2005.
- www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aguasubterranea.htm. Consultado em 04 de Janeiro de 2005.
- www.mma.gov.br/port/conama/processos . Consultado em 11 de fevereiro de 2005
- www.sanepar.com.br. Consultado em 10 de Janeiro de 2005.
- www.soaresoliveira.br/projetoagua. Consultado em 25 de novembro de 2004
- www.soaresoliveira.br/projetoagua. Consultado em 04 de Janeiro de 2005.

