

Título do capítulo	CAPÍTULO 3 POLUIÇÃO HÍDRICA
Autores (as)	Sandra Sulamita B. Silveira Fernando Soares P. Sant'Anna
DOI	
Título do livro	MEIO AMBIENTE: ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS
Editores (as)	Sergio Margulis
Volume	
Série	
Cidade	
Editora	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)
Ano	1990
Edição	1ª
ISBN	
DOI	

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 1990

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos). Acesse: <http://repositorio.ipea.gov.br>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

*Sandra Sulamita B. Silveira**
*Fernando Soares P. Sant'Anna***

"A biosfera é estritamente limitada em seu volume, por isso, contém um estoque também limitado de recursos de que as várias espécies de seres vivos têm de lançar mão para se manterem. Alguns desses recursos são renováveis; outros, insubstituíveis. Qualquer espécie que utilize demais seus recursos renováveis ou esgote os insubstituíveis condena-se à extinção." (Arnold Toynbee, *A humanidade e a mãe-terra*.)

Não é possível encontrar na natureza água quimicamente pura. O elemento líquido normalmente contém gases dissolvidos e sais minerais. Somente quando esta condição natural é alterada pela introdução de elementos indesejáveis, subprodutos das atividades humanas, caracteriza-se o estado de poluição.

A poluição é, inicialmente, percebida pelas alterações estéticas da água. O homem sabe, por experiência, que as águas que apresentam impurezas visíveis, odor ou sabor desagradável, são impróprias ao seu consumo.

Tradicionalmente, a poluição das águas tem sido encarada sob dois aspectos: o sanitário e o ecológico. Na abordagem sanitária, a poluição é definida como quaisquer modificações nas qualidades químicas, físi-

* Professora do Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade de Santa Catarina, Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Londres.

** Professor do Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade de Santa Catarina, Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Carlos.

cas ou biológicas da água que afetem diretamente o homem ou prejudiquem a sua utilização por ele. Já o conceito ecológico define poluição como alterações nas qualidades da água que causa ruptura nos ecossistemas aquáticos naturais.

O primeiro conceito de poluição tem o homem como medida de todas as coisas. A poluição só é vista como algo indesejável se afeta o homem ou suas atividades. O segundo conceito, por sua vez, rejeita a ênfase antropocêntrica, tendo por indesejáveis alterações nos fatores ecológicos.

Essas diferentes formas de ver o fenômeno devem-se à necessidade de se pensar, primeiramente, no controle das qualidades ambientais mais urgentes. Sanear um ambiente significa dotá-lo de condições satisfatórias ao homem, com instalação de serviços básicos de fornecimento de água, recolhimento de lixo e esgotos, e não restaurar as condições naturais que ali poderiam ter vigorado. É compreensível que nos preocupemos de início com os fatores mais diretamente ligados à saúde pública. Por outro lado, é possível que estejamos caminhando para uma situação tão acentuada de deterioração do meio ambiente que a preservação da natureza remanescente estará, então, diretamente relacionada à sobrevivência da espécie humana. Nestas circunstâncias, o conceito ecológico se sobreporia ao conceito sanitário de poluição.

3.1 – Parâmetros de Poluição das Águas

Sendo a poluição resultado indesejável das ações de transformação do homem sobre o meio ambiente, ela precisa ser controlada e, por conseguinte, medida de alguma forma. Pode-se classificar sistematicamente os constituintes da poluição da água em função de seu estado (matéria em suspensão ou em solução), de sua natureza (matéria orgânica ou mineral) e de sua ação sobre os organismos vivos (matéria biodegradável, biorresistente ou tóxica).

Os principais contaminantes decorrentes de despejos industriais e domésticos, bem como algumas formas de defini-los quantitativamente, são relacionados e brevemente examinados nos parágrafos seguintes.

Os *sólidos* se apresentam de diferentes formas, dependendo do seu tamanho: partículas finamente divididas formam soluções (sólidos dissolvidos e colóides); partículas maiores, suspensões (sólidos suspensos). Os sólidos de grande tamanho precipitam-se rapidamente, origi-

nando depósitos de sedimentos (sólidos sedimentáveis). A matéria sólida pode ainda ser classificada em fixa (sólidos inorgânicos) e volátil (sólidos orgânicos). Todas estas formas de sólidos são facilmente determinadas em laboratório através de procedimentos diversos, envolvendo decantação, evaporação, calcinação, filtração e pesagem. Os sólidos presentes nos despejos sem tratamento podem formar depósitos de lodo nos corpos hídricos, originando conseqüências desagradáveis.

Os *compostos orgânicos biodegradáveis* apresentam-se principalmente como proteínas, carboidratos e gorduras. Os compostos orgânicos são medidos comumente em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). A DBO avalia indiretamente o conteúdo orgânico biodegradável dos despejos através da medida do oxigênio consumido pelos microorganismos atuantes na sua oxidação. O teste padronizado de DBO é a medição do oxigênio consumido numa amostra engarrafada, mantida no escuro a 20 graus Celsius, por cinco dias. Para evitar essa espera, emprega-se alternativamente a DQO, que mede a quantidade de oxigênio necessária à oxidação química da matéria orgânica carbonácea. Este valor, contudo, é, via de regra, mais alto que a DBO, pois a natureza opera muito mais lentamente na degradação destes compostos.

A matéria orgânica lançada nos corpos d'água é inicialmente consumida por bactérias e outros microorganismos aeróbios que necessitam de oxigênio. Quanto maior a quantidade de matéria orgânica, mais oxigênio será consumido. O lançamento de grande quantidade de despejos não tratados em um ecossistema aquático e a sua conseqüente estabilização biológica podem levar à completa exaustão deste gás, causando a morte de peixes e demais organismos vivos.

Diversos *organismos patogênicos* podem ser encontrados nos despejos domésticos e nos efluentes de abatedouros de animais. Os patogênicos, quando presentes nas fezes humanas, estão associados à grande massa de coliformes fecais. Estes organismos são inofensivos ao homem e, por serem facilmente determinados em laboratório, são utilizados como indicadores da presença de agentes patogênicos. A água infecta pode transmitir doenças como cólera, febre tifóide e paratifóide e disenterias. Há ainda forte suspeita quanto à poliomielite e hepatite.

O *nitrogênio* e o *fósforo* são elementos nutrientes essenciais ao crescimento vegetal. Quando lançados ao ambiente, podem provocar uma proliferação excessiva e indesejável na vida vegetal aquática, fenômeno conhecido como eutrofização. Quando lançados em grande quantidade no solo, podem poluir os lençóis subterrâneos de água. O nitrogênio pode ser medido em laboratório nas diversas formas com que se apresenta na natureza: orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. O fósforo aparece majoritariamente como fosfatos.

Os *compostos orgânicos biorresistentes*, ao contrário dos biodegradáveis, não são passíveis de degradação biológica, ou o são em grau muito reduzido e tendem a resistir aos tratamentos convencionais. Exemplos típicos são os detergentes, os fenóis e os agrotóxicos.

Os *metais pesados* são introduzidos na água como dejetos de atividades industriais. Uma relação das emissões de poluentes metálicos por diversas indústrias é apresentada na Tabela 3.1 a seguir:

Tabela 3.1
Relação das Emissões de Poluentes Metálicos por Diversas Indústrias

RAMO INDUSTRIAL	METAL PESADO							
	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
Papel		X	X	X	X	X		X
Petroquímica	X	X		X	X		X	X
Indústrias de Cloro e Hidróxido de Potássio	X	X		X	X		X	X
Fertilizantes	X	X	X	X	X	X		X
Refinarias e Petróleo	X	X	X		X	X		X
Usinas Siderúrgicas	X	X	X	X	X	X	X	X
Indústrias de Metais Não-Ferrosos	X	X	X	X				X
Veículos Automotores e Aviões	X	X	X	X	X			X
Vidro, Cerâmica e Cimento	X							
Indústria Têxtil	X							
Curtumes			X					
Usinas Termelétricas	X							X

FONTE: Fellenberg, 1980.

Cd = cádmio

Cr = cromo

Cu = cobre

Hg = mercúrio

Pb = chumbo

Ni = níquel

Sn = estanho

Zn = zinco

Os metais pesados, tais como os agrotóxicos, são altamente danosos ao homem e ao meio ambiente, mesmo em concentrações ínfimas (10^{-3} g/l). Essa classe de compostos, tóxicos mesmo em concentrações tão reduzidas, é de difícil e dispendiosa detecção, exigindo aparelhagem de laboratório muito sofisticada, o que explica, em parte, a dificuldade de acompanhamento, no Brasil, de contaminação ambiental por estes agentes.

Sólidos inorgânicos dissolvidos, como sais de cálcio e sódio, sulfatos e cloretos, embora considerados habitualmente como não-tóxicos,

quando em concentrações demasiado altas podem ter ação deletéria sobre o meio ambiente. As águas ricas nestes elementos têm sua (re)utilização bastante restringida.

Os *bioensaios* ou ensaios biológicos constituem uma forma de avaliar a toxicidade de um despejo industrial ou de um composto químico particular introduzido no ecossistema aquático. Consistem em submeter peixes (de preferência uma espécie sensível) ou outros animais a diferentes diluições do despejo ou a diversas concentrações do componente que se presume tóxico. No fim de um período determinado (curto ou longo prazo), contam-se os animais sobreviventes ou aqueles que não apresentam determinados sintomas, em função dos objetivos mais específicos do ensaio.

3.2 – Fontes de Poluição das Águas

A poluição hídrica emana de quatro fontes principais. Os *esgotos domésticos* são os principais agentes da introdução de compostos orgânicos biodegradáveis nos ecossistemas aquáticos. As atividades de preparo de alimentos, de higienização das residências, ao lado das atividades fisiológicas normais do homem, são fontes de coloração das águas, proteínas, carboidratos, nutrientes e agentes patogênicos.

Os *despejos industriais* se fazem em águas residuárias de atividades industriais, que variam, conforme a indústria que as polui, tanto em volume quanto em composição. Grande parcela destes despejos são extremamente tóxicos, contendo, por exemplo, produtos petroquímicos, agrotóxicos, fenóis e metais pesados. O avanço tecnológico se faz acompanhar do surgimento, a cada ano, de centenas de novos poluentes, para os quais não se dispõem de meios de detecção e cujos efeitos sobre o meio ambiente se desconhece.

Resíduos de pátios de estocagem de matérias-primas e subprodutos das fábricas podem ser carreados pelas águas pluviais e contaminar os rios. Inúmeros têm sido, nos últimos anos, os acidentes ecológicos causados por estes despejos, que não vêm recebendo a devida atenção.

Os *despejos da agropecuária*, como fertilizantes, pesticidas, herbicidas e outros produtos utilizados intensivamente nas práticas agrícolas, podem ser levados pelas águas das chuvas aos rios e lagos. Também os líquidos provenientes das instalações de armazenagem de produtos agrícolas e principalmente de forragens para animais constituem uma ameaça bastante séria de poluição orgânica.

Outra grande fonte de poluentes é a pecuária. Os animais geram uma quantidade de detritos que ultrapassam os de origem humana. Deve-se acrescentar, ainda, as águas de limpeza envolvidas na produção do leite, cujo volume é de cerca de 1 1/2 vez o do leite obtido.

As *águas urbanas de escoamento superficial* não recebem, diante de outras prioridades mais sérias, grande atenção e podem constituir um importante foco de poluição hídrica. As chuvas “lavam” telhados, ruas e rodovias, levando para o corpo receptor: material particulado e diversos compostos por estes absorvidos, originados na poluição atmosférica; resíduos sólidos das ruas; óleo e derivados diversos do petróleo, provenientes dos veículos automotores.

3.3 – Efeitos da Poluição sobre os Ecossistemas Aquáticos

Os contaminantes presentes nos despejos domésticos e industriais produzem os mais diversos efeitos nos meios aquáticos. Com a morte de peixes, que é o sintoma mais alarmante, coexistem graves transformações invisíveis aos olhos desarmados, como a eliminação de algas e de outras espécies de vida. Um mesmo poluente pode agir segundo diferentes mecanismos e ser mais prejudicial a uns que a outros organismos. Para efeito de estudo, é conveniente agrupar em classes distintas, segundo suas características de atuação, as diferentes modalidades de poluição das águas: poluição física, poluição físico-química, poluição orgânica e poluição mineral.

A *poluição física* envolve modificações de *cor*, *turbidez* e alteração de *temperatura* do meio aquático. A presença de substâncias pigmentadas em solução ou dispersão coloidal, ou de sólidos em suspensão, causando aumento de *turbidez* e modificação de *cor* pode afetar a vida de um manancial de duas formas: *a)* criando dificuldade para a penetração da luz solar, essencial às reações de fotossíntese; *b)* o material em suspensão, ao sedimentar-se, arrasta ao fundo e soterra pequenos organismos. Tem sido observado que águas de cor acentuada ou que contêm grande concentração de silte e argila em suspensão prejudicam o crescimento de algas, mesmo quando as outras condições ambientais são propícias ao desenvolvimento destas.

A *turbidez* pode, ainda, causar a destruição de outros tipos de organismos, através de diferentes mecanismos. O despejo de uma grande quantidade de partículas sólidas dá origem à formação de uma verdadeira nuvem que, depositando-se nos órgãos respiratórios de animais

aquáticos, causa a sua asfixia. Este material também acelera a precipitação e soterra partículas orgânicas em suspensão nas águas que servem de alimento à fauna. A destruição de peixes pode ocorrer pelo desaparecimento de sua fonte alimentar (algas, crustáceos, vermes e larvas), pelo soterramento de seus ovos, bem como pela modificação das condições de fundo adequadas a sua reprodução.

No que diz respeito à *temperatura*, o lançamento de despejos muito aquecidos (*poluição térmica*) num manancial pode afetar sua fauna e sua flora de modo direto e indireto, produzindo os seguintes efeitos: *a)* coagulação ou desnaturação das proteínas que constituem a matéria viva; *b)* aumento da capacidade tóxica de certas substâncias; *c)* redução da capacidade da água de dissolver e reter oxigênio, com o subsequente aumento da atividade fisiológica dos organismos aquáticos. Este último efeito é o mais considerável. Ao mesmo tempo que a elevação de temperatura provoca uma demanda adicional de oxigênio, reduz a concentração deste gás na água. Por este motivo, podem ocorrer a morte de peixes e de outros organismos por asfixia e o agravamento das condições de poluição de um curso d'água. Este fato, decerto, também pode registrar-se como um efeito natural do intenso calor nos meses de verão.

A *poluição físico-química* das águas envolve variação do *pH*, *radioatividade*, alterações na sua *tensão superficial* e modificação da *pressão osmótica*. O *pH* adequado para o crescimento dos organismos aquáticos situa-se entre 6,5 e 7,5. A grande maioria destes organismos não sobrevive em ambiente com *pH* superior a 9,5 ou inferior a 4,0. Estudos indicam que os peixes de água doce, quando as demais condições são favoráveis, suportam *pH* entre 4,0 e 9,0. O lançamento nas águas de ácidos e gases fortes – agentes capazes de modificar acentuadamente o *pH* – repercute sobre o meio geralmente de modo indireto. A variação do *pH* pode exercer grande influência sobre a toxicidade de certos compostos, como amônia, metais pesados, gás sulfídrico, etc.

As *radiações* emitidas por isótopos radioativos são reconhecidamente carcinogênicas e mutagênicas e devem atingir os organismos aquáticos de forma análoga à que afetam o homem. O maior perigo que advém do lançamento de despejos radioativos num manancial é a possibilidade de os radioisótopos se acumularem nos organismos mais resistentes a sua ação deletéria, como, por exemplo, os peixes, e alcançarem as populações humanas que deles se alimentam.

Osmose é a passagem do solvente de uma solução através de uma membrana impermeável ao soluto. As células de qualquer organismo vivo possuem, em seu interior, uma dada quantidade de sais dissolvidos, que lhes confere um certo valor osmótico. Tais células, quando colocadas em ambiente líquido, podem comportar-se de duas maneiras: *a)* se a

concentração salina do meio é maior do que a da célula, esta tende a perder água e “murcha”. Experiências demonstram que colocar as pernas de um sapo na água do mar, por um tempo prolongado, pode determinar a morte do animal por perda da água de todo o organismo; b) se, pelo contrário, o ambiente possuir menor salinidade que a célula, verifica-se uma tendência à absorção de água, algumas vezes causando o rompimento da parede da célula e levando-a à morte. Peixes marinhos poderão sucumbir, por este motivo, quando colocados em água doce. Assim, o lançamento de despejos com alto teor de sais dissolvidos, por si mesmos inócuos, pode ameaçar, através de modificação da *pressão osmótica*, o equilíbrio do ecossistema aquático.

Presentes tanto nos despejos domésticos quanto nos industriais, os detergentes agem de maneira diversificada sobre o meio aquático. Ao lado do efeito tóxico sobre os peixes, os detergentes exercem ação indireta dificultando a troca de oxigênio entre a água e o ar, diminuindo a capacidade do corpo hídrico de estabilizar compostos orgânicos e colocando em perigo a sobrevivência dos organismos aeróbios. Atuam ainda, indiretamente, reduzindo a *tensão superficial* da água e, com isso, prejudicando a capacidade de locomoção de muitos animais aquáticos. Patos e outras aves não conseguem flutuar em águas que contêm alta concentração de detergentes.

Os *poluentes orgânicos* podem ser classificados em três grupos, do ponto de vista da possibilidade de serem metabolizados por organismos vivos: *biodegradáveis*, *biorresistentes* e *inertes*. Enquanto, via de regra, os do primeiro grupo encontram-se entre os originados na natureza, os demais são gerados a partir de sínteses ou de fermentação. Os poluentes orgânicos biorresistentes (refratários) têm ação predominantemente tóxica sobre o meio aquático (morte de organismos) ao passo que os biodegradáveis exercem uma ação indireta: a exaustão de oxigênio da água onde são lançados.

A matéria orgânica biologicamente sintetizada participa necessariamente dos processos de reciclagem de elementos vitais na natureza e, por isso, é degradável por ação biológica. Os compostos introduzidos pela ação do homem no meio ambiente, por outro lado, são estranhos aos ciclos naturais e dificilmente constituem fonte de energia para os seres vivos. Entre os compostos orgânicos de elevada toxicidade estão o álcool butílico e o etílico, os detergentes, os derivados do petróleo, os agrotóxicos em geral, os fenóis e outros produtos.

De grande importância, também, são os danos provocados pela redução do oxigênio dissolvido em decorrência da presença de compostos orgânicos biodegradáveis nos corpos hídricos. Essa diminuição é resultado da atividade de organismos de respiração aeróbia que metabolizam o substrato orgânico acumulando uma fração de glicose. Poste-

riormente, para a liberação de seu conteúdo energético, a glicose é oxidada, o que demanda oxigênio do meio.

Quando a água é suficientemente rica em oxigênio dissolvido e a carga a ela lançada não é muito grande, estabelece-se um equilíbrio: à medida que esse oxigênio vai sendo consumido na respiração dos organismos que se alimentam da matéria orgânica, vai sendo repostado, na mesma proporção, por reoxigenação através da superfície ou por atividade fotossintetizante de vegetais subaquáticos. Porém, quando a carga é relativamente grande, essa reoxigenação pode ser insuficiente e permitir o estabelecimento de condições anaeróbias em certos níveis ou mesmo em toda a massa de água.

Nas regiões em que se instalam condições de anaerobiose, desaparecem os organismos aeróbios que constituíram a própria causa da remoção do oxigênio. Em seu lugar, surgem uma flora bacteriana e uma fauna formada principalmente por protozoários e vida anaeróbia. Iniciam-se os processos que resultam na formação de compostos ainda oxidáveis, tais como a metana e outros combustíveis. Em determinadas condições, ocorre o fenômeno da fermentação ácida, pela formação de vários ácidos orgânicos. Essa redução do pH do meio possibilita o surgimento de vários compostos de odor repugnante, como o gás sulfídrico, as mercaptanas, etc., característicos do chamado "ambiente séptico".

Como resultado da diminuição do oxigênio, além dos demais fenômenos mencionados, observa-se uma redução geral do número de espécies na massa de água e no fundo. Entretanto, organismos resistentes a essas condições multiplicam-se com grande rapidez, passando a constituir uma população que facilmente identifica o ambiente poluído. Produz-se um novo equilíbrio ou ciclo biodinâmico, que será tanto mais estável quanto menos variarem as novas condições.

Certos despejos, embora ricos em matéria orgânica, não causam grandes depressões no teor de oxigênio dissolvido. Isso ocorre quando o despejo é de lenta ou baixa biodegradabilidade, isto é, não constitui fonte alimentar adequada a microorganismos. Percebe-se, assim, que alto conteúdo de matéria orgânica e baixa concentração de oxigênio nem sempre são fenômenos obrigatoriamente correlacionados, tal como já foi dito em relação à presença simultânea de metais pesados e matéria orgânica na água.

No que diz respeito à *poluição mineral* os compostos minerais lançados numa massa de água, além de constituírem fonte de poluição físico-química, através de modificação do pH e do valor osmótico, conforme já se disse, podem ainda afetar quimicamente o manancial de duas maneiras opostas: como agentes tóxicos, causando a morte dos organismos

vegetais ou animais sensíveis; como fonte de nutrientes, permitindo a proliferação intensa de organismos vegetais.

A poluição mineral das águas que resulta em intoxicação oriunda dos metais pesados põe em ação dois mecanismos fundamentais. O primeiro destes mecanismos refere-se às enzimas: íons de metais pesados podem formar complexos com grupos funcionais e muitas enzimas (formação de quelatos); assim são bloqueadas as partes das enzimas responsáveis por determinados processos metabólicos. O segundo mecanismo envolve a capacidade dos metais de se combinarem com as membranas celulares, alterando-lhes a estrutura. Em consequência, é perturbado, ou mesmo totalmente impedido, o transporte de íons de sódio (Na^+), potássio (K^+), carbono (C^-), e outros, bem como de substâncias necessárias à manutenção dos processos vitais. Experiências realizadas com peixes revelam a seguinte ordem decrescente de toxicidade: mercúrio, cobre, zinco, cádmio, estanho, alumínio, níquel, ferro trivalente, ferro bivalente, bário, manganês, potássio, cálcio, magnésio e sódio.

Os metais interferem também na capacidade de autodepuração. Os organismos decompositores dos materiais orgânicos são inibidos, verificando-se uma redução drástica da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), com igual grau de eutrofização. Uma elevada concentração de oxigênio na água nem sempre significa um indicio de condições aeróbias saudáveis; pode indicar também um envenenamento com metais pesados. Assim, para a avaliação da qualidade da água, torna-se necessária uma análise da concentração de metais pesados, o que apresenta alguma dificuldade, pois a quantidade do metal detectável na água não corresponde obrigatoriamente às verdadeiras proporções da contaminação. Sabe-se hoje que, nos sedimentos de rios e lagos, o conteúdo de metais pesados pode ser de mil a 10 mil vezes maior que nas águas. Os metais pesados podem ser absorvidos por sedimentos minerais, podem combinar-se quimicamente com diferentes minerais (por exemplo, na forma de sulfeto, carbonato, sulfato, etc.), ou precipitarem em presença dos hidróxidos de ferro e manganês, que se formam na decomposição das rochas. Também sedimentos orgânicos podem combinar-se com metais pesados.

Os metais pesados mostram claramente que a questão da toxicidade de uma certa substância corresponde, em grande medida, à determinação de sua concentração: há uma série de metais que são imprescindíveis para o funcionamento dos organismos, entre os quais se incluem, de modo geral, o manganês, o cobalto, o cobre, o zinco e, no caso de certos organismos, também o vanádio, o cromo, o molibdênio, o níquel e o cádmio.

A importância da concentração de um íon para sua atividade fisiolo-

lógica torna compreensível que elementos ou íons normalmente não-tóxicos possam prejudicar organismos vivos, isto é, possam ser tóxicos quando presentes em concentrações demasiado elevadas. Citam-se, como exemplo, os cloretos e sulfatos de sódio e potássio, facilmente solúveis, e outros sais solúveis que se formam em quantidades apreciáveis na mineração (sais de potássio e calcário).

Cabem aqui algumas considerações sobre o processo de *eutrofização*. Há muito que se conhecem os efeitos benéficos que certos tipos de despejos produzem sobre espécies que habitam os rios. A fertilização das águas para a produção de algas obedece ao mesmo princípio da fertilização do solo: por meio de adubos orgânicos ou minerais, obtêm-se maior produção de vegetais úteis. O adubo orgânico que é fornecido às plantas terrestres como o esgoto que é lançado às águas constituem fonte de nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, magnésio, etc., uma vez que, sendo oxidados os seus componentes orgânicos, há formação de compostos simples, minerais, destes elementos.

A introdução direta ou indireta de sais minerais na água produz, portanto, um enriquecimento proporcional de sua flora e sua fauna. Isto é verdade não apenas com relação às algas e outros vegetais aquáticos, como também no que diz respeito aos organismos heterótrofos, que dependem, para sua alimentação, dos organismos autotróficos: havendo mais algas, haverá mais protozoários e, conseqüentemente, mais crustáceos, vermes, insetos e peixes. Toda essa seqüência de desenvolvimento verifica-se, por exemplo, ao longo de um curso d'água onde ocorra o fenômeno de autodepuração de despejos orgânicos. Pode-se concluir disto que as águas naturais, que normalmente possuem apenas poucos representantes de cada um desses tipos de organismos vegetais e animais, são sempre carentes em sais minerais, ao contrário das águas eutrofizadas.

3.4 – Efeitos da Poluição das Águas sobre a Saúde Humana

A Organização das Nações Unidas declarou o período 1981/90, como a Década Internacional de Água de Abastecimento e Saneamento. No Brasil, a meta considerada mais relevante foi abastecer as cidades com água, ficando em segundo plano o esgotamento sanitário, um desafio considerado difícil diante dos dados do Banco Mundial [Silveira (1985)], que indicam a existência de 1,1 bilhão de pessoas sem sistemas de esgotamento sanitário em países do Terceiro Mundo. Este fa-

to, aliado às doenças veiculadas pela água, e a má nutrição são causadores de aproximadamente nove milhões de óbitos por ano.

Em se tratando de doenças relativas a esgotos sanitários, a relação entre água e saúde deve ser sempre lembrada. Águas contaminadas e/ou em quantidade insuficiente para higiene pessoal podem ser a causa direta ou indireta de doenças. A incidência destas depende diretamente do clima, da geografia, da cultura, dos hábitos e facilidades sanitárias dos sistemas de disposição de dejetos. As Tabelas 3.2 e 3.3 resumem algumas das principais doenças infecciosas originadas pelos dejetos humanos.

Todas as doenças incluídas nas categorias I e II, assim como muitas das doenças da água e outras não relacionadas com a água, são causadas por patogênicos transmitidos pelos excretas humanos, principalmente as fezes. A classificação destas doenças facilita a correlação entre os vários tratamentos de excretas possíveis e os efeitos sobre a saúde.

Algumas doenças veiculadas pelos excretas, via água, podem ser controladas, pelos menos parcialmente, através de melhorias nos sistemas de abastecimento de água e na higiene pessoal. Entretanto, outras doenças, também veiculadas pelos excretas, dependem fundamentalmente de melhorias nos sistemas de disposição dos excretas, desde a construção de instalações sanitárias até a escolha dos métodos de transporte, tratamento, disposição final e/ou reutilização.

De acordo com Feachem *et alii* (1977), numa estimativa conservadora, pelo menos metade da população mundial está infectada por uma ou mais espécies de helmintos. Nos países tropicais, especialmente os mais pobres e com baixos padrões de higiene, as taxas de infecção são consideradas bem maiores que a apontada. Enquanto algumas pessoas podem carregar consigo uma grande carga de parasitas sem nenhum efeito aparente de doença, certos helmintos podem causar desfiguração, cegueira, anemia, obstrução intestinal, diminuição das funções dos órgãos internos e até morte.

A distinção entre estar infectado e estar doente deve ser sempre lembrada. Muitas vezes, o grupo de pessoas envolvido em transmissão de infecções mostra pouco ou nenhum sinal de doenças e, ao mesmo tempo, indivíduos em estados avançados de doença podem ser de pequena ou nenhuma importância na transmissão. A carga de organismos patogênicos excretada por uma pessoa infectada é variável. Uma pessoa infectada por um pequeno número de nematóides pode estar passando poucos ovos/grama de fezes, enquanto um portador de cólera pode estar excretando mais do que 10^6 vibros cólera por grama e, dependendo do caso, pode estar passando até 10^{13} vibros por dia [Feachem *et alii* (1981)].

Tabela 3.2
Classificação Ambiental de Infecções Relativas ao Excreta

CATEGORIA	INFECÇÃO	MECANISMOS DE TRANSMISSÃO	MEDIDAS DE CONTROLE
I. Fecal-oral (não bacterial) não latente doses infecciosa pequena	Poliomielite (V) Hepatite A (V) Diarréia Rotavirus (V) Giardíase (P) Balantídiase (P) Enterobíase (H) Hymenolepíase (H)	Contato pessoal Contaminação doméstica	A bastecimento de água Melhoria habitacional Provisão de toaletes Educação sanitária
II. Fecal-oral (bacterial) não latente doses altas e médias de infecção persistente moderadamente e capacidade de multiplicação	Diarréias Disenterias Enterite Campylobactéria (B) Cólera (B) Diarréia E. Coli (B) Salmonelose (B) Shigelose (B) Yerseniase (B) Febres entéricas: Tifóide (B) Paratifóide (B)	Contato pessoal Contaminação doméstica de água e colheitas	A bastecimento de água Melhorias habitacionais Provisão sanitária Tratamento de excreta antes da reutilização ou descarga Educação sanitária
III. Helminthos transmitidas pelo solo latente e persistente sem hospedeiro intermediário	Ascaris(H) Trichurius(H) Estrongiloidíase(H) Hook Worm(H)	Contaminação do quintal Solo contaminado na área comum de defecção Contaminação de colheitas	Provisão de sanitários limpos Tratamento de excreta antes do lançamento no solo
IV. Vermes do boi e porco latente e persistente Hospedeiros boi e porco	Teníase (H)	Contaminação do quintal, dos campos, de ração	Provisão de sanitários Tratamento de excreta antes do lançamento no solo Inspeção da carne
V. Helminthos relacionados com água latente e persistente. Hospedeiros aquáticos	Schistosomose (H) Clonorchíase (H) Difilobotríase (H) Fasciolopsíase(H) Paragonimíase (H)	Contaminação da água	Provisão de sanitários Tratamento de excreta antes de descarga Controle de infecção animal Controle da comida
VI. Insetos relacionados com excreta	Filariase (H) Infecção das categorias I - V especialmente I e II transitidas por moscas e baratas (M)	Sobrevivência de insetos em locais contaminados por fezes	Identificação e eliminação de locais contaminados Mosquiteiros

FONTE: Cairncross e Feachem, 1983.

B = bactéria; V = vfrus; H = helminto; M = miscelânea; P = protozoário.

Tabela 3.3
Infecção por Excreta

GRUPOS BIOLÓGICOS E ORGANISMOS	DOENÇA	RESERVATÓRIO
VÍRUS		
Cocksavírus	Várias	Homem
Echovírus	Várias	Homem
Hepatite A vírus	Hepatite infecciosa	Homem
Poliovírus	Poliomielite	Homem
Rotavírus	Gastroenterite em crianças	Incerto
BACTÉRIA		
<i>Compylobacter spp</i>	Diarréia em crianças	Animais e homem
Patogênica <i>Escherichia Coli</i>	Gastroenterite	Homem
<i>Sabmonella Typhi</i>	Febre tifóide	Homem
<i>S. paratyphi</i>	Febre paratífóide	Homem
Outra <i>sabmonella</i>	Intoxicação	Animais e homem
<i>Sligella spp)</i>	Disenteria	Homem
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	Homem
Outros <i>vfbrios</i>	Diarréia	Homem
<i>Yersinia spp</i>	Yersiniase	Animais e homem
PROTOZOÁRIOS		
<i>Balanitidium coli</i>	Diarréia leve	Animais e homem
<i>Entamoeba histolítica</i>	Disenteria amébrica	Homem
<i>Giardia Lamblia</i>	Diarréia	Homem
HELMINTOS		
<i>Ancylostoma duodenale</i>	Infecção	Homem-solo-homem
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariase	Homem
<i>Enterobius vermiculares</i>	Enterobiase	Homem-homem
<i>Fasciola hepatica</i>	Fasciolíase	Ovelha-caramujo-homem
<i>Fasciolopsis buski</i>	Fasciolopsíase	Porco-caramujo-homem
<i>Gastrodiscoides hominis</i>	Gastrodiscoidíase	Porco-caramujo-homem
<i>Schistossoma haematobium</i>	Schistossomíase	Homem-caramujo-homem
<i>S. mansoni</i>	Schistossomíase	Homem-caramujo-homem
<i>Taenia saginate</i>	Teníase	Homem-boi-homem
<i>T. solium</i>	Teníase	Homem-porco-homem
<i>Trichuris trichura</i>	Trichuríase	Homem-solo-homem

FONTE: Banco Mundial (1980).

Quando grandes quantidades de organismos estão sendo passados através das fezes, podem aumentar significativamente suas concentrações nos esgotos sanitários. Nesse caso, estações convencionais de tratamento de esgotos, mesmo com alta eficiência não são suficientes

para eliminar os organismos patogênicos, e as implicações para a saúde pública dependerão da última etapa do tratamento, da habilidade destes organismos para sobreviverem e se multiplicarem e da quantidade mínima de organismos necessária para infectar uma pessoa.

Além das infecções, existem os problemas de saúde relacionados às substâncias químicas. Tanto a ausência quanto o excesso dessas substâncias podem ser causa de doenças não-infecciosas, que, contudo, previnem-se simplesmente pela adição da substância deficiente no corpo de água ou pela remoção do excesso considerado prejudicial.

Mais de mil compostos orgânicos já foram identificados na água. Muitos destes micropoluentes ocorrem em pequenas concentrações, geralmente menores que 1mg/l, e até agora não se conhecem os seus efeitos sobre a saúde. Entretanto, alguns destes compostos, já se sabe, são tóxicos, carcinogênicos ou produtores de odor e sabor, algumas vezes até após reação com cloro, no caso de desinfecção. Muitas destas substâncias tóxicas são pesticidas, aplicadas em grandes quantidades em algumas regiões do mundo.

Outros compostos orgânicos sabidamente são causadores de câncer quando consumidos em grandes doses. Nos Estados Unidos o uso de carbono ativado é recomendado na redução de compostos orgânicos em águas de abastecimento público, principalmente os hidrocarbonetos polinucleares aromáticos (PHA) e os Trihalometanos (THM).

Mais importantes do que os compostos orgânicos, do ponto de vista de seus efeitos sobre a saúde humana, são os químicos inorgânicos presentes nas águas. Certo número de íons metálicos são conhecidos por causarem distúrbios metabólicos no homem, alterando a produção e a função de algumas enzimas ou causando uma variedade de outros efeitos tóxicos. Antimônio, arsênico, bário, berílio, boro, cádmio, cobalto, chumbo, mercúrio, molibdênio, selênio, cobre, urânio e vanádio são alguns dos metais que se encontram nesse caso, embora os níveis de infecção e os efeitos fisiológicos não sejam totalmente conhecidos para todos eles.

3.5 – Sistemas de Tratamento

Examinaremos primeiramente as diferentes modalidades do *sistema* dito *individual de tratamento*. A principal característica deste sistema, que o distingue de outros, é o fato de que suas diversas modalidades podem ser implantadas e operadas pelo próprio indivíduo. Requerem

pouco ou nenhum investimento em melhorias fora de casa. Outra vantagem que algumas destas tecnologias apresentam está em que podem ser implantadas em residências não servidas por um sistema público de abastecimento de água.

As *latrinas ventiladas* consistem de buracos feitos à mão, no solo, sobre os quais é colocado o assento. Em torno disto é construída uma casinha para privacidade. O buraco serve para defecção, com ou sem utilização de água, depósito de excreta, digestão de resíduos sólidos e sumidouro de urina. Desenhos recentes destas latrinas evitam odores e presença de mosquitos e moscas. Garantida uma boa manutenção, as latrinas ventiladas proporcionam riscos mínimos à saúde. O conteúdo da fossa pode ser retirado com segurança após doze meses. Neste caso, a possibilidade de sobrevivência de poucos ovos de *ascaris* poderá ocorrer.

As *fossas úmidas* são tanques com selo de água sobre os quais é assentado o vaso sanitário. Esta técnica é apropriada tanto para sanitários sem descarga como para sanitários com descarga. O ideal é localizar a entrada das águas servidas no tanque de modo a conservar o selo de água. Enquanto este selo é mantido, evita-se o problema de odores e insetos. Os excretas são decompostos anaerobicamente. A cada período de dois a três anos, aproximadamente, o lodo deve ser retirado. O efluente do tanque pode ser lançado num sumidouro ou em valas de infiltração para percolação no solo.

A eficiência destas fossas em decantar os organismos patogênicos depende de seu tempo de retenção e das dimensões, particularmente no que se refere a anteparos ou a compartimentos dimensionados para evitar curto-circuitos hidráulicos ou condições quiescentes.

Uma fossa úmida bem desenhada, com um tempo de retenção longo, de aproximadamente 20 dias, pode produzir um efluente com concentrações baixas de bactérias entéricas, protozoários ou ovos de helmintos, e muitos dos vírus podem decantar quando absorvidos pelos sólidos. O material removido do tanque deve ser tratado ou estocado por 12 meses antes de ser usado [Feachem *et alii* (1981)].

A *fossa séptica* é um tanque localizado abaixo da superfície do solo, próximo à casa de onde recebe os efluentes da cozinha e dos banheiros. Sua construção, operação e manutenção tem lugar dentro dos limites do terreno, exceto nos períodos de limpeza do lodo. Embora a fossa séptica seja usada mais comumente para tratar os esgotos sanitários de residências unifamiliares, pode também ser utilizada como uma técnica comum a populações inferiores a 300 pessoas.

A fossa séptica serve somente para tratar efluentes de residências servidas por água de abastecimento público e com solos permeáveis pa-

ra disposição posterior dos efluentes, podendo igualmente os efluentes da fossa serem lançados em redes de baixo custo.

O tempo de retenção hidráulica no tanque é aproximadamente de um a três dias, período durante o qual os sólidos decantam. A digestão dos sólidos é feita anaerobicamente, e uma camada de espuma é formada na superfície. Embora a digestão dos sólidos seja razoavelmente efetiva, algum lodo que ainda se acumule deve ser retirado a intervalos regulares, usualmente uma vez cada cinco anos [Mara (1982)].

A manutenção de uma fossa séptica consiste, basicamente, de inspeções periódicas com o fim de assegurar que as partículas da espuma ou sólidos suspensos não estejam saindo com o efluente, garantindo-se um mínimo de 24 horas de retenção. Quanto à localização da fossa séptica no terreno, deve-se ter em mente as distâncias mínimas a serem mantidas, para evitar contaminação (Tabela 3.4).

Tabela 3.4

Distâncias Mínimas de Fossas Sépticas e Valas de Infiltração

DISTÂNCIA DE	FOSSA SÉPTICA	VALAS DE INFILTRAÇÃO
Edifícios	1,5	3,0
Límites de propriedades	1,5	1,5
Poços	30,0	30,0
Correntes de água	7,5	30,0*
Lagoas	3,0	7,5
Bombas de água	3,0	3,0
Árvores	3,0	3,0

FONTE: Silveira (1985).

* Estas distâncias devem ser elevadas para 60m se a instalação for numa estação de abastecimento de água.

Numa fossa séptica, com um tempo de detenção normal (um a três dias), o efluente conterà os mesmos patogênicos que o influente. Um bom número de patogênicos decanta, e o lodo fresco ainda contém um número significativo de bactérias patogênicas, vírus, cistos e ovos. Sempre que o tanque for limpo, haverá um lodo mais fresco e, por isso, perigoso para a saúde, devendo a limpeza ser feita com cuidado e o lodo disposto adequadamente. As fossas de três compartimentos, experimentadas na China, têm demonstrado redução de coliformes fecais menores que 1.000/100mm e remoções de ovos de *ascaris* de aproximadamente 100% [Feachem *et alii* (1981)]. Nas valas de infiltração, as bactérias não sobrevivem mais do que 10 metros através do solo.

Os *sistemas de tratamento coletivos* consistem na coleta, transporte e tratamento e/ou disposição dos efluentes sanitários. Como uma prática que já vem sendo adotada em algumas comunidades brasileiras, o sistema de coleta e transporte de baixo custo tem papel relevante no sistema de tratamento como um todo. Como o efluente de qualquer tipo de tanque de decantação não contém muitos sólidos, ele pode ser coletado e transportado através de uma rede de esgotos de diâmetro e declividade menores que os da convencional e, portanto, mais econômica. Serão apresentados, nos parágrafos seguintes, alguns tipos de tratamento para esgotos sanitários e efluentes industriais, considerando-se modalidades de tratamento *primário, secundário e terciário*.

As operações físicas que se acionam na etapa de *tratamento primário* visam à eliminação de sólidos suspensos, sólidos voláteis e graxas, bem como ao bombeamento do efluente. Os processos químicos dão como resultado a eliminação de sólidos suspensos e coloidais através da precipitação, da desinfecção das águas residuárias e do controle dos odores. Geralmente a cloração é o único processo químico utilizado no tratamento primário.

As *grades de limpeza manual* são utilizadas geralmente para pequenas estações de bombeamento e colocadas antes das bombas. Antigamente, eram utilizadas no pré-tratamento de pequenas estações de águas residuárias. A tendência dos últimos anos tem sido a utilização de grades de limpeza mecânica ou trituradores, com o fim de reduzir a um mínimo o trabalho manual de limpeza.

As *peneiras*, a que antigamente muito se recorria no tratamento primário, são dispositivos de limpeza mecânica, equipados com uma placa perfurada de bronze com abertura de 3mm, ou menores. Atualmente, poucas estações de tratamento delas se valem. As peneiras mais modernas são do tipo disco ou tambor, contendo uma tela fina de aço inox ou de material não-ferroso. Os resíduos retidos nas peneiras podem ser descarregados em trituradores ou bombas desintegradoras, retornando ao tratamento, e levados por transporte a zonas de aterro.

A função dos *desarenadores* é separar areias e qualquer material pesado que tenha velocidade de sedimentação ou peso específico superior ao dos sólidos orgânicos putrecíveis das águas residuárias. Os desarenadores protegem os equipamentos móveis da abrasão e de desgaste anormal, reduzem a formação de depósitos pesados nos tubos, canais e condutos, e reduzem a necessidade de limpeza dos digestores, que deve ser realizada como resultado do acúmulo excessivo de areia. O método mais corrente para a disposição final da areia é a sua aplicação como aterro, cobrindo-a quando necessário. Em alguns lugares, ela é incinerada junto com o lodo ou lavada antes de ser lançada no solo.

Os *separadores de óleos e graxas, pré-aeradores e floculadores* são utilizados para a eliminação dos óleos, das graxas e da espuma antes da sedimentação primária. Um tanque separador de óleos e graxas consiste de um depósito disposto de tal maneira que a matéria flotante ascenda e permaneça na superfície do efluente até que seja recolhida e eliminada enquanto o líquido sai do tanque de forma contínua através de uma abertura situada no fundo. O material recolhido na sua superfície inclui azeite, graxa, sabão, pedaços de madeira, resíduos vegetais e cascas de frutas.

A pré-aeração tem como objetivos principais melhorar a tratabilidade, controlar os odores, eliminar as areias, atingir uma distribuição uniforme dos sólidos suspensos e voláteis, antes da sua entrada nas unidades seguintes de tratamento, e aumentar as reduções da DBO.

Emprega-se a floculação das águas residuárias através de agitação mecânica ou aerada, quando se pretende aumentar a redução de sólidos suspensos e da DBO nos tanques de sedimentação primária. A finalidade da floculação é formar agregados ou flocos da matéria finamente dividida.

Com o recurso aos *tanques de decantação primária*, a função principal do tratamento por sedimentação é eliminar os sólidos facilmente sedimentáveis e o material flotante, reduzindo os sólidos suspensos. Os tanques de sedimentação primária podem ser a única etapa de tratamento, como podem ser o passo preliminar para um tratamento posterior. Quando usados como único meio de tratamento, servem para a eliminação de sólidos sedimentáveis capazes de formar depósitos de lodo nos corpos receptores. No caso de apenas precederem outras unidades de tratamento, seu grande objetivo passa a ser reduzir a carga nas unidades de tratamento biológico. Tais tanques podem ser retangulares ou circulares. A seleção do tipo depende do tamanho da instalação, das disposições e dos regulamentos dos organismos locais de controle, das condições do terreno, da experiência do projetista e da estimativa de custo.

Os *flotadores, os tanques de Inhoff e as fossas sépticas* também podem ser utilizados para a separação de sólidos. Em particular, o tanque de Inhoff e a fossa séptica são adequados, respectivamente, para pequenas comunidades e residências isoladas. A flotação é empregada principalmente no tratamento de despejos industriais com altas cargas de graxas e sólidos suspensos finamente divididos, sendo também indicada no tratamento de resíduos que contêm matérias espumantes. Os tanques Inhoff são utilizados na eliminação de sólidos sedimentáveis e na digestão anaeróbia dos mesmos: são tanques de dois compartimentos superpostos, efetuando-se a sedimentação superior e a digestão no inferior.

Os *tratamentos secundários* geralmente compreendem processos biológicos, associados a tratamentos primários. Eles convertem a matéria orgânica, que se encontra finamente dividida e dissolvida, em sólidos sedimentáveis floculentos que podem ser eliminados em tanques de sedimentação secundária. Os processos biológicos mais comuns de tratamento secundário são *lagos de estabilização, filtros biológicos, lodos ativados e digestores anaeróbios*.

Os *lodos ativados* são considerados como um processo de custo elevado (implantação, operação e manutenção), destinando-se exclusivamente a grandes cidades. Desenvolvido na Inglaterra em 1914, fundamenta-se este processo de tratamento na produção de uma massa ativada de microorganismos capaz de estabilizar o despejo por via aeróbica. O ambiente aeróbico é conseguido através de aeração por meio de difusores ou sistemas mecânicos. O despejo orgânico é introduzido num tanque de aeração, onde as bactérias metabolizam a matéria orgânica. Depois de um certo período de tempo, o conteúdo do tanque segue para um decantador, onde os organismos são separados do despejo tratado. Uma porção das células sedimentadas é reconduzida ao tanque de aeração para manter o processo estabilizado e a outra, correspondente ao crescimento de novas bactérias, é descartada.

As bactérias são os microorganismos que realmente degradam o resíduo orgânico dos efluentes, mas os protozoários e o rotíferos atuam como depuradores dos mesmos. Os protozoários consomem as bactérias dispersas que não flocularam, e os rotíferos consomem quaisquer partículas biológicas pequenas que não sedimentaram. Tão importante quanto a rápida estabilização da matéria orgânica presente no despejo é a formação de flocos biológicos adequados. Estes flocos, formados principalmente por bactérias, devem ser facilmente removidos no decantador secundário.

O conceito do *filtro biológico* partiu do uso dos filtros de contato, que eram tanques impermeáveis recheados com pedras. Esse processo depende da instalação de um leito formado por um meio permeável, ao qual os microorganismos aderem e através do qual a água residuária se filtra. Geralmente o meio filtrante é de pedras, mas existem filtros que se valem de meios filtrantes plásticos. Através de um distribuidor giratório, o despejo é aspergido uniformemente sobre o leito, onde uma população de microorganismos a ele fixada degrada a matéria orgânica.

A comunidade biológica presente no filtro se compõe principalmente de protistas, incluindo bactérias facultativas, aeróbias e anaeróbias, algas, fungos e protozoários. Do ponto de vista operacional, as algas são consideradas como estorvo, já que podem causar tamponamento da superfície do filtro.

As *lagos de estabilização* consistem de uma massa de água relati-

vamente pouco profunda num tanque de terra. São de uso corrente para pequenas comunidades, sobretudo por seus baixos custos de construção e funcionamento, que só apresentam como desvantagem a necessidade de grandes áreas. Tais lagoas classificam-se, segundo a natureza da atividade biológica, em aeróbias, facultativas e anaeróbias.

Uma *lagoa aeróbia* contém algas e bactérias em suspensão, e, em toda a sua profundidade, prevalecem as condições aeróbias. Existem dois tipos: as lagoas aeradas mecanicamente e as lagoas aeradas naturalmente. Nas primeiras, faz-se a aeração por meios mecânicos destinada a fornecer oxigênio às bactérias. Já nas lagoas aeróbias fotossintéticas, o oxigênio é proporcionado mediante a aeração superficial natural e a fotossíntese das algas.

A comunidade biológica dessas lagoas é a mesma dos lodos ativados, exceto pela população das algas. O oxigênio liberado pelas algas, através da fotossíntese, é utilizado pelas bactérias na degradação aeróbia da matéria orgânica. Os nutrientes e o anidrido carbônico liberados na degradação são, por sua vez, utilizados pelas algas, fechando o ciclo. Rotíferos e protozoários também estão presentes, e sua função principal é melhorar o efluente.

No caso das lagoas mecanicamente aeradas, as algas não têm tanta importância. Os aeradores servem também para misturar o conteúdo e evitar a sedimentação dos sólidos suspensos.

Numa *lagoa facultativa* existem três zonas: *a)* uma zona superficial, onde as algas e bactérias aeróbias existem em uma relação simbiótica; *b)* uma zona anaeróbia inferior, onde os sólidos acumulados são decompostos por bactérias anaeróbicas; *c)* e uma zona intermediária, parte aeróbia e parte anaeróbia, onde a degradação da matéria orgânica é feita pelas bactérias facultativas.

As *lagoas anaeróbias* o são em toda a sua extensão, exceto em uma parte extremamente delgada na superfície. As profundidades chegam até seis metros. Nelas, a estabilização se atinge através de uma combinação de precipitação e conversão anaeróbia dos resíduos orgânicos de gás carbônico (CO_2), metano (CH_4), outros produtos finais gasosos, ácidos orgânicos e tecidos celulares.

As *lagoas de maturação* são implantadas como um segundo estágio, seguindo-se as lagoas facultativas. A sua função é a destruição ou remoção de patogênicos, ao passo que as lagoas anaeróbia e facultativa são projetadas essencialmente para a remoção da DBO. São totalmente aeróbicas e capazes de manter as condições aeróbicas em profundidades maiores que três metros. Sistemas de lagoas bem projetadas, com um mínimo de três células e com um tempo de retenção mínimo de 20 dias, podem produzir um efluente completamente livre de patogênicos ou que contém pequenas concentrações de bactérias entéricas de vírus.

No *sistema de digestores anaeróbios*, a matéria orgânica é degradada primeiramente por bactérias acidificantes que produzem ácidos intermediários e posteriormente, ou diretamente, o ácido acético. Após a formação do ácido acético, por ação das bactérias anaeróbicas, ocorre a formação do gás metano.

A tecnologia anaeróbia surgiu como alternativa à tecnologia aeróbia em termos do tratamento secundário. Ao final da década de 60, os processos anaeróbios voltaram a ser estudados a partir de pesquisas com filtros anaeróbios. Com a crise energética, nos anos 70, esses processos voltaram a chamar a atenção, pois, além de dispensarem o uso de equipamentos para aeração, consumindo menos energia, permitem a recuperação do gás metano. Entretanto, poucas unidades reais foram testadas na época. No final dos anos 70, apareceram novas configurações de digestores: o de fluxo ascendente com manta de lodo (grande concentração de DQO nos despejos), o de leito fluidificado e o de leito expandido (no tratamento de águas residuárias com baixa concentração de DQO).

O *tratamento terciário* impõe-se no caso de muitas substâncias presentes nas águas residuárias que não são eliminadas pelos processos e operações de tratamento convencionais: desde íons orgânicos relativamente simples, como potássio, sulfato, cálcio, nitrogênio e fósforo, até um número crescente de complexos orgânicos sintéticos. Quando os efeitos destas substâncias sobre a saúde pública e sobre o meio ambiente são conhecidos, as exigências de tratamento serão mais rigorosas, requerendo processos mais avançados, que, por sinal, não são muito utilizados normalmente.

Alguns dos processos ditos de tratamento terciário são: osmose inversa, aplicação ao solo, separação da fase gasosa, fracionamento de espumas, flotação, destilação, congelamento, separação por arraste de ar, adsorção, precipitação química, troca iônica, eletrólise e outros. Os mais comumente adotados em termos de realidade brasileira são os processos de remoção de nitrogênio, fósforo e bactérias, processo de nitrificação-desnitrificação e cultivo de algas.

Para finalizar, alguns métodos de *tratamento e disposição dos lodos* formados nas diversas etapas de tratamento, são: incineração, disposição sobre o solo; disposição sobre leitos de secagem (o mais comum); lagoas; disposição no mar; disposição em aterros sanitários, entre outros. Deve-se ter cuidado principalmente com a composição do lodo no momento da escolha do sistema de tratamento e/ou disposição final.

A Tabela 3.5, a seguir, apresenta um sumário da situação brasileira de esgotamento sanitário nas principais capitais estaduais brasileiras em 1983.

Tabela 3.5

Situação dos Sistemas de Esgotos Sanitários nas Capitais dos Estados Brasileiros (Dezembro 1983)

CIDADE	POPULAÇÃO URBANA	POPULAÇÃO SERVIDA	%	COMPRIMENTO COLETOR(km)	COMPRIMENTO HABITANTE SERVIDO (m)
Rio de Janeiro	5.322.000	3.898.000	73	2.802	0,72
Belo Horizonte	1.953.000	1.409.000	72	1.633	4,16
Brasília	1.356.000	904.000	67	1.339	1,40
São Paulo	7.810.000	4.495.000	58	7.101	1,58
Curitiba	1.195.000	563.000	47	1.350	2,40
Florianópolis	219.000	78.000	36	113	1,45
Porto Alegre	1.250.000	330.000	26	497	1,50
Cuiabá	284.000	57.000	20	34	0,60
Salvador	1.945.000	221.000	11	232	1,05
Maceió	448.000	4.000	1	70	1,75
Manaus	730.000	6.000	1	35	—

FONTE: OPS/OMS, 1985.

3.6 – A Poluição do Mar

O mar é o grande receptáculo dos dejetos do homem. Supunha-se antigamente que os poluentes, quando altamente diluídos, não ofereciam qualquer ameaça à natureza. Os grandes acidentes ecológicos marinhos e a constatação da morte gradativa da flora e fauna do Mar Mediterrâneo afastaram completamente essa idéia errônea. Hoje, sabe-se que é alarmante a devastação do ambiente marinho em diversas zonas costeiras que recebem grandes cargas de poluentes.

Os efeitos mais visíveis da poluição antropogênica sobre os oceanos são aqueles advindos dos grandes derrames de petróleo. Estima-se que cerca de quatro milhões de toneladas de petróleo são lançadas anualmente nos oceanos, com origem em acidentes com petroleiros e poços de petróleo submarinos.

Os acidentes com petroleiros são os principais responsáveis pelo lançamento de óleo do mar: num único acidente, pode haver o vazamento de 100 mil toneladas do produto. Até há pouco tempo, grande parte desta poluição era causada pelas operações rotineiras de ajuste do lastro dos petroleiros e limpeza dos tanques. Cerca de mil toneladas de óleo são lançadas ao mar nestas operações. Além disso, os problemas

de transferir o petróleo para as instalações de terra ou para outros petroleiros apresentam oportunidades constantes para derramamentos, seja por falha no equipamento, seja por erros de manuseio. O último grande acidente ocorreu em 24 de março de 1989, quando o navio norte-americano Exxon Valdez, que transportava 200 mil toneladas de petróleo, chocou-se contra uma rocha no Alasca: houve um vazamento de 42.000 toneladas de petróleo, suficiente para cobrir uma área de 250 km.

Quando se descobre um poço de petróleo no mar, é possível que cerca de um milhão de toneladas sejam lançadas às águas antes que o poço possa ser vedado e explorado. Explosões em poços de petróleo da plataforma submarina podem fazer com que se percam até 800 toneladas por dia de petróleo.

O óleo se espalha sobre a superfície das águas sob a forma de uma película fina. Depois da evaporação dos componentes voláteis do petróleo (cerca de 25%), os componentes mais estáveis permanecem flutuando na superfície, como uma massa viscosa. Uma parte desses resíduos afunda, depois de oxidadas no ar as substâncias mais densas. Os resíduos que permanecem flutuando são oxidados por via bacteriana, no decorrer de vários meses.

A vida marinha na superfície fica recoberta e morre por asfixia ou imobilização. Ovos e larvas de peixe, que flutuam junto à superfície, morrem rapidamente. Num espaço confinado, outras formas de vida marinha também se extinguem, embora isso demore mais tempo. As espécies diferem largamente quanto à suscetibilidade. Às vezes, os mecanismos de agressão são múltiplos: as aves mergulhadoras, impregnadas pelo óleo, tentam limpar-se e ingerem o produto; suas penas perdem o caráter hidrófobo, responsáveis pelo isolamento térmico e flutuação; sucumbem, assim, esses animais, aos efeitos combinados de envenenamento, congelamento e afogamento.

Os mamíferos, sobretudo as focas e as lontras, cobertos de óleo, perdem mais de 50% de sua capacidade de isolamento térmico. Paralisados pelo frio, são vítimas fáceis de animais predadores. Irritação de olhos, nariz e garganta são também comuns.

As algas envolvidas pelo óleo afundam e tornam-se alimento venenoso para outras espécies marinhas. Nas plantas flutuantes, o petróleo veda a entrada dos estômatos, impedindo a respiração e a fotossíntese. Nos peixes e caranguejos, a película de petróleo recobre as guelras e órgãos respiratórios, impedindo a absorção de oxigênio.

Como o homem, os animais não possuem enzimas capazes de promover a degradação do petróleo, e este elemento pode impedir a absorção dos alimentos no aparelho digestivo. As substâncias solúveis exis-

tentes no petróleo, tais como fenóis, aldeídos, piridinas e outros aromáticos policíclicos são, em sua maioria, muito tóxicos, apesar de presentes no petróleo em quantidades mínimas. Alguns destes compostos são carcinogênicos conhecidos e podem se combinar com matéria do ambiente, originando outros carcinogênicos.

Uma vez que o óleo está derramado, existem numerosos métodos para retirá-lo ou absorvê-lo da superfície da água, nenhum dos quais funciona bem com tempo instável ou outras condições adversas. Em áreas costeiras, a palha ainda é usada para absorver o óleo. Quando as condições são apropriadas – o que é raro – podem-se utilizar solventes para diluir o óleo, embora estes venham, eventualmente, a ser mais tóxicos para a vida marinha que o próprio óleo.

Uma técnica recente para eliminar, com vantagens, restos de petróleo de tanques e depósitos é a de aproveitar a capacidade que certas bactérias revelam de degradar biologicamente este material. Experiências mostraram que mil toneladas de óleo bruto podem ser degradadas em dois ou três dias, com a formação de 700 toneladas de bactérias, que podem ser aproveitadas na fabricação de reações.

Naturalmente, o controle da poluição dos oceanos, como o de outros tipos de poluição, não é apenas uma questão de tecnologia, mas sobretudo de ação mais efetiva dos órgãos de controle e do despertar de uma consciência geral para o problema.

3.7 – A Legislação sobre a Poluição das Águas

Ao se considerar a legislação existente relativa à poluição das águas, deve-se sempre ter em mente os níveis federal, estadual e municipal.

Em termos federais, o princípio de tudo está na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente (Estocolmo, 1972) na qual o Brasil foi representado pelo delegado, então ministro Costa Cavalcanti. No ano seguinte, em 30 de outubro de 1973, através do Decreto nº 73.030, cria-se a Secretaria Especial do Meio Ambiente (Sema), no âmbito do Ministério do Interior. Este decreto, em seu parágrafo primeiro, estabelece que a atividade da Sema se exercerá sem prejuízo das atribuições específicas legalmente afetas a outros ministérios.

Já existiam, nessa época, alguns diplomas normativos pertinentes ao assunto, e os principais são apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6
Diplomas Normativos sobre Qualidade das Águas até 1967

NOME	NÚMERO E DATA CRIAÇÃO	COMPETÊNCIA
Código de Águas	24.043-10.06.1934	DNAE-MME
Código Florestal	4.77-15.09.1965	IBDF-MA
Código de Caça	5.197-03.01.1965	IBDF-MA
Código de Pesca	221-28.02.1967	SUDEPE-MA
Política Nacional de Saneamento	5.381-26.10.1967	CNSB-MECOR*
Código de Mineração	227-28.02.1967	DNPM-MME
Estatuto da Terra	4.504-30.11.1964	MA

FONTE: Caetano, 1986.

* Conselho Nacional de Saneamento Básico – Ministério Extradinário para a Coordenação dos Organismos Regionais.

Em 31 de agosto de 1981, através da Lei nº 6.938, foram estabelecidos o Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama), e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). No artigo 14, parágrafo quarto dessa lei, lê-se que “nos casos de poluição provocada pelo derramamento ou lançamento de detritos ou óleos em águas brasileiras, por embarcações e terminais marítimos ou fluviais, prevalecerá o disposto na Lei Federal nº 5.357, de 17 de novembro de 1967”. Em 14 de outubro de 1975, foi publicado o Decreto-Lei nº 1.413, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais.

A Portaria GM 0013, de 15 de janeiro de 1976, teve, na época de sua publicação, o objetivo principal de estabelecer políticas de utilização das águas brasileiras, classificando-as em quatro tipos, nos quais os rios estaduais deveriam ser enquadrados. As águas de classe I são próprias para consumo e abastecimento, sendo mínimos os despejos tolerados, as de classe 4 são as de qualidade mais degradada. Os padrões de qualidade dos corpos de água e os padrões de emissão de efluentes foram também estabelecidos nesta mesma portaria. Alguns fatos têm contribuído para o questionamento tanto dos padrões como das classes das águas. No referente às classes, a Resolução Conama nº 20, de 18 de junho de 1986, estabelece uma nova classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional, totalizando oito classes. Além do aumento das classes, uma grande modificação envolve a classe 1, que, atualmente, tolera lançamentos de efluentes obedecendo a padrões

estabelecidos. Outra modificação é o estabelecimento, na mesma resolução, das categorias de balneabilidade das águas.

A competência para legislar sobre águas é privativa da União (art. 22, IV da Constituição Federal de 1988). Portanto, os padrões de qualidade das águas são estabelecidos pelo poder federal, sendo que, no tocante às águas estaduais, competirá aos órgãos estaduais fazer a aplicação dos critérios federais e efetuar a classificação [Machado (1988)]. No que diz respeito à emissão dos efluentes – quanto e o que pode ser lançado nos corpos de água –, o Estado tem o poder de polícia, definindo os padrões de emissão em conformidade com os padrões de qualidade.

Está previsto na Constituição Federal de 1988 um Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sem constar do diploma qualquer orientação sobre a organização e o campo de abrangência desse sistema, a não ser que deve ser de natureza nacional [Machado (1988)]. Com relação especificamente aos agrotóxicos, alguns Estados já possuem uma legislação própria, além da legislação federal sobre os padrões de qualidade das águas e padrões de emissão de efluentes. Existe também um estudo [Leitão (1978)] das convenções internacionais sobre a poluição no mar, em que se faz um exame isolado de cada convenção, apresentando-se argumentos favoráveis ou desfavoráveis à ratificação das mesmas pelo governo brasileiro.

Já é fato sabido que o Brasil é um dos países que tem mais leis para o controle ambiental. Partindo-se do princípio de que este fato pouco tem cooperado para a preservação ambiental, esse controle passa a ter aspectos mais amplos, destacando-se o significado da participação e da educação do público. Afinal, a essência do controle ambiental é a influência o comportamento humano no sentido de favorecer a preservação da qualidade do ambiente [Sewell (1978)], e pode-se dizer que, a partir de 24 de julho de 1985, com a Lei nº 7347, denominada Lei dos Interesses Difusos, tem se observado entre nós uma maior efetivação do controle ambiental através das ações populares.

Bibliografia

- BRAILLE, P. M. e CAVALCANTI, J. W. E. A. *Manual de tratamento de águas residuais industriais*. São Paulo, Cetesb, 1979.
- BRANCO, S. M. *Poluição*. Rio de Janeiro, Livro Técnico, 1972.
- . *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*, 2ª ed., São Paulo, 1978.

- BRASIL. Ministério do Interior - SEMA. *Legislação Básica*. Brasília, 1983.
- CAETANO, J. C. *Legislação ambiental*. Apostila do Curso de Saúde Pública. Florianópolis, UFSC, 1986.
- CAIRNCROSS, S. e FEACHEM, R. G. *Environmental health engineering in the tropics: an introductory text*. London, John Wiley & Sons, 1983.
- FEACHEM, R. G. *et alii*. *Water wastes and health in hot climates*. London, Unwin & Brothers, 1977.
- . Health aspects of excreta and sewage management: state of the art review. *In: Appropriate technology for water supply and sanitation*. Washington, 1981, v.3.
- FELLENBERG, G. *Introdução aos problemas da poluição ambiental*. São Paulo, EPU/Springer, 1980.
- MACHADO, P. A. L. *Direito ambiental brasileiro*. 2ª ed., São Paulo, Editora Revista dos Tribunais, 1988.
- MARA, D. D. Sanitation alternative for low income communities: a bried introduction. *In: Appropriate technology for water supply and sanitation*. Washington, 1982, v.1b
- McGARRY, M. G. e STAINFORTH, J. *Compost, fertilizer and biogas production from human and farm wastes in the People's Republic of China*. 2ª ed., Ottawa, 1977.
- METCALF, Eddy. *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*. S.R. Madrid, Editora Labor S.A., McGraw-Hill, Inc., 1977.
- OPS/OMS. *Disposición de aguas servidas y excretadas en América Latina y el Caribe – Informe de una Reunión Interna de Trabajo*. São Paulo, 1985.
- SAWYER, C. N. e McCARTY, Perry L. *Chemistry for environmental engineering*. 2ª ed., McGraw-Hill, 1978.
- SEWELL, G. H. *Administração e controle de qualidade ambiental*. São Paulo, Edusp/EPU/Cetesb, 1978.
- SILVEIRA, S. S. B. *Low cost sanitation for a small town in Brazil*. Londres, University of London, 1985 (Dissertação de Mestrado).