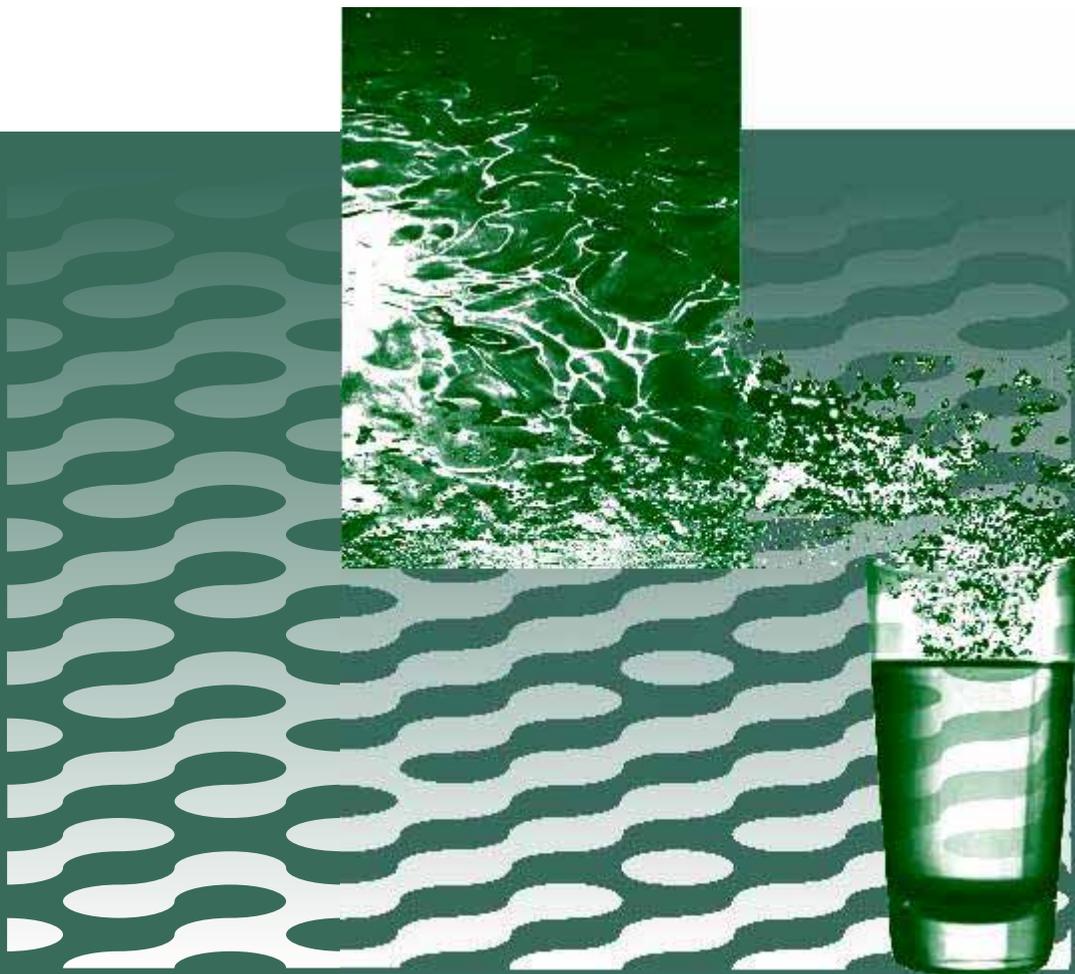


Ministério da Saúde

VIGILÂNCIA E CONTROLE
DA QUALIDADE DA ÁGUA
PARA CONSUMO HUMANO



Brasília – DF

VIGILÂNCIA E CONTROLE
DA QUALIDADE DA ÁGUA
PARA CONSUMO HUMANO

© 2006 Ministério da Saúde

Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e que não seja para venda ou qualquer fim comercial.

A responsabilidade pelos direitos autorais de textos e imagens desta obra é da área técnica.

A coleção institucional do Ministério da Saúde pode ser acessada na íntegra na Biblioteca Virtual do Ministério da Saúde: <http://www.saude.gov.br/bvs>

Tiragem: 7.000 exemplares.

Elaboração, distribuição e informações

MINISTÉRIO DA SAÚDE

Secretaria de Vigilância em Saúde

Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental

Apoio técnico

Representação da Opas/OMS no Brasil

Endereço

Esplanada dos Ministérios, bloco G,

Edifício Sede, 1º andar

CEP: 70058-900, Brasília - DF

E-mail: svs@saude.gov.br

Home-page: www.saude.gov.br

Produção editorial

Coordenação: Fabiano Camilo

Capa, projeto gráfico e diagramação:

Grau Design Gráfico (Designer responsável: Fernando Rabello)

Revisão e normalização: Sonja Cavalcanti

Impresso no Brasil / *Printed in Brazil*

Ficha catalográfica

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde.

Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2006.

212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde)

ISBN 85-334-1240-1

1. Controle da qualidade da água. 2. Vigilância sanitária de ambientes. I. Título. II. Série.

NLM WA 675

Catálogo na fonte – Coordenação-Geral de Documentação e Informação – Editora MS – OS 2006/1029

Títulos para indexação:

Em inglês: Surveillance and Control in Water Quality for Human Consumption

Em espanhol: Vigilancia y Control de Calidad de Agua para el Consumo Humano

MINISTÉRIO DA SAÚDE
SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE
COORDENAÇÃO-GERAL DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE AMBIENTAL

VIGILÂNCIA E CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

BRASÍLIA - DF
2006

Equipe de coordenação e responsável técnica pela edição

Albertino Alexandre Maciel Filho – CGVAM/SVS/MS

Mara Lúcia Oliveira Carneiro – CGVAM/SVS/MS

Silvano Silvério da Costa – CGVAM/SVS/MS

Jacira Azevedo Cancio – OPAS/OMS

Elaboradores

Marcelo Libânio – UFMG

Eduardo von Sperling – UFMG

Rafael Kopschitz Xavier Bastos – UFV

Léo Heller – UFMG

Patrícia Campos Borja – UFBA

Colaboradores

Bruno Maia Piramo Costa – Bolsista de iniciação científica da UFMG

Leonardo Mitre Alvim de Castro – Bolsista de iniciação científica da UFMG

Paulo Augusto Cunha Libânio – Bolsista de iniciação científica da UFMG

Equipe de revisão da edição

Nolan Ribeiro Bezerra – CGVAM/SVS/MS

Jacira Azevedo Cancio – OPAS/OMSI

Maria de Lourdes Fernandes Neto – CGVAM/SVS/MS

Mariely Helena Barbosa Daniel – CGVAM/SVS/MS

Silvano Silvério da Costa – CGVAM/SVS/MS



SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS, 09

LISTA DE FIGURAS, 10

LISTA DE ANEXOS, 11

APRESENTAÇÃO, 13

1 INTRODUÇÃO, 15

1.1 ESTRUTURA DA PUBLICAÇÃO, 17

1.2 HISTÓRICO DA PROBLEMÁTICA DA ÁGUA NO BRASIL, 18

1.3 A IMPORTÂNCIA DA VIGILÂNCIA E DO CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NA PREVENÇÃO DAS DOENÇAS RELACIONADAS COM A ÁGUA, 23

Água e saúde, 23

Abastecimento de água e saúde, 23

Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano como instrumento de proteção à saúde, 24

1.4 REFERÊNCIAS, 26

2 A VIGILÂNCIA EM SAÚDE AMBIENTAL NO BRASIL, 29

2.1 O SUBSISTEMA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE AMBIENTAL RELACIONADA À QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NO BRASIL, 32

2.2 REFERÊNCIAS, 33

3 QUALIDADE DAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO, 35

3.1 INTRODUÇÃO, 37

3.2 PROPRIEDADES DAS ÁGUAS NATURAIS, 39

Massa específica, 39

Viscosidade, 40

Tensão superficial, 40

Calor específico, 41

Condutividade térmica, 41

Dissolução de gases, 41

Dissolução de substâncias, 43

3.3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS, 44

Características físicas, 44

Características químicas, 48

Características biológicas, 53

Interpretação dos resultados, 55

3.4 POLUIÇÃO DE MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, 55

3.5 PRINCIPAIS FENÔMENOS POLUIDORES DA ÁGUA, 57

Contaminação, 57

Assoreamento, 60

- Eutrofização, 60
- Acidificação, 62
- Alterações hidrológicas, 63
- 3.6 PROBLEMAS CAUSADOS POR ORGANISMOS EM MANANCIAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, 64
 - Doenças de transmissão hídrica, 64
- 3.7 REFERÊNCIAS, 68
- 4 PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO, 69
 - 4.1 TIPOS DE CAPTAÇÃO E SEUS EFEITOS SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA, 71
 - Considerações sobre a vazão de demanda, 71
 - Captações superficiais, 73
 - Captações subterrâneas, 75
 - 4.2 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA, 76
 - Fatores intervenientes na definição das tecnologias de tratamento, 76
 - Tecnologias de tratamento, 79
 - Filtração lenta, 80
 - Filtração direta, 80
 - Tratamento convencional, 81
 - Tratamento domiciliar, 82
 - 4.3 DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO, 84
 - Conceituação e histórico da desinfecção, 84
 - Fatores intervenientes na desinfecção, 86
 - Princípios da inativação dos patogênicos, 87
 - Tipos de desinfetantes, 88
 - Subprodutos da desinfecção, 89
 - Sistemas de desinfecção para comunidades de pequeno porte, 92
 - Clorador por difusão, 93
 - Clorador de pastilhas, 94
 - Desinfecção domiciliar, 97
 - 4.4 RESERVAÇÃO E A QUALIDADE DA ÁGUA, 98
 - Considerações iniciais, 98
 - Nitrificação em reservatórios, 100
 - Outros problemas associados à reservação, 101
 - Algas, 101
 - Deterioração do concreto, 102
 - 4.5 REDES DE DISTRIBUIÇÃO, 103
 - Introdução, 103
 - Tipos de redes, 103
 - Redes ramificadas, 103
 - Redes malhadas, 104
 - Funcionamento, operação e manutenção, 105
 - Formação de biofilmes, 107
 - Considerações iniciais, 107
 - Fatores intervenientes na formação dos biofilmes, 108
 - 4.6 REFERÊNCIAS, 110

- 5 CONTROLE E VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, 113
 - 5.1 ASPECTOS CONCEITUAIS, 115
 - 5.2 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS, 118
 - 5.3 IMPORTÂNCIA DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA NACIONAL DE VIGILÂNCIA AMBIENTAL EM SAÚDE RELACIONADA À QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, 122
 - 5.4 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, 124
 - 5.5 CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, 126
 - 5.6 VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, 129
 - Avaliação integrada da qualidade da água para consumo humano, 130
 - Análise de dados secundários, 130
 - Coleta e análise de amostras, 131
 - Caracterização do abastecimento e do consumo da água, 135
 - Caracterização dos mananciais e das fontes de abastecimento, 135
 - Caracterização do tratamento, 136
 - Caracterização da distribuição e do consumo, 136
 - 5.7 ASPECTOS CONCEITUAIS DA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, 137
 - Doenças transmitidas pelo consumo de água, 137
 - Organismos indicadores de contaminação, 139
 - Coliformes, 139
 - Coliformes fecais, 141
 - Escherichia coli*, 141
 - Estreptococos fecais, 142
 - Emprego de indicadores na avaliação da qualidade da água para consumo humano, 143
 - Mananciais e fontes de abastecimento, 143
 - Avaliação da eficiência do tratamento da água, 143
 - Água distribuída, 146
 - Técnicas de laboratório para a detecção de coliformes em amostras de água, 146
 - Fundamentos da técnica dos tubos múltiplos, 148
 - Fundamentos da técnica de membrana filtrante, 149
 - Método do substrato cromogênico, 150
 - Metodologia de análise na vigilância da qualidade da água para consumo humano, 150
 - 5.8 CRITÉRIOS E PADRÕES DE QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO, 150
 - 5.9 OPERACIONALIZAÇÃO DA VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, 153
 - 5.10 REFERÊNCIAS, 156

ANEXOS, 161



LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Percentuais de municípios conforme as causas de descontinuidade no abastecimento de água, 22

Tabela 3.1 – Distribuição de água no globo terrestre (LVOVITCH, 1979), 38

Tabela 3.2 – Doenças relacionadas com a água, 64

Tabela 4.1 – Concentração máxima permissível de trihalometanos em águas de abastecimento de alguns países (MACÊDO, 1997), 90

Tabela 4.2 – Concentração máxima recomendada pela OMS para os subprodutos da desinfecção (1993), 92

Tabela 4.3 – Matriz de decisão do monitoramento de reservatórios de abastecimento, 102

Tabela 5.1 – Frequência de amostragem em função da classe do curso d'água, 128

Tabela 5.2 – Controle de qualidade da água para consumo humano na rede de distribuição da Universidade Federal de Viçosa, 133

Tabela 5.3 – Qualidade bacteriológica de fontes individuais de abastecimento de água para consumo humano no perímetro urbano do Município de Viçosa/MG, 133

Tabela 5.4 – Organismos patogênicos presentes na água transmitidos por via oral e sua importância para o abastecimento, 138

Tabela 5.5 – Valores de K para a inativação de diversos microorganismos, 144

Tabela 5.6 – Turbidez da água bruta, decantada e filtrada e eficiência de remoção de turbidez (valores médios mensais – julho/98 a junho/99) – ETA/UFV, 145

Tabela 5.7 – Recomendações da OMS para a qualidade bacteriológica da água potável (OMS, 1995), 151

Tabela 5.8 – Recomendações da OMS para a eficácia da desinfecção (OMS, 1995), 151

Tabela 5.9 – Padrão bacteriológico de potabilidade (Portaria MS nº 518/2004), 152

Tabela 5.10 – Padrão físico-químico de potabilidade brasileiro, parâmetros associados à qualidade microbiológica da água, 152

Tabela 5.11 – Proposta de classificação de ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano, de acordo com seu grau de complexidade (Opas, 1998), 156



LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 – Proporção de municípios com sistema de abastecimento de água com tratamento, por regiões, em 1989 (fonte: apud PNSB, 1989; Opas b, 1998), 21
- Figura 1.2 – Proporção de municípios com sistema de abastecimento de água com tratamento, por estados (fonte: apud PNSB, 1989, Opas b, 1998), 21
- Figura 4.1 – Consumo urbano bruto de água (fonte: International Water Service Association Statistics & Economic Committee, 1993), 72
- Figura 4.2 – Cota *per capita* de abastecimento doméstico e industrial em alguns estados dos EUA referentes a 1996 (AWWA, 1998), 72
- Figura 4.3 – Esquema típico de um reservatório de acumulação empregado em sistemas de abastecimento de água (adaptado de NAGHETTINI, 1999), 74
- Figura 4.4 – Desenho esquemático dos aquíferos e poços (adaptado de NAGHETTINI, 1999), 76
- Figura 4.5 – Resultados de análises de pesticidas referentes ao verão de 1997 na cidade de Bauru/SP (RISSATO, 1998), 78
- Figura 4.6 – Modelo usual de filtro de vela, 83
- Figura 4.7 – Esquema de um filtro doméstico de areia, 84
- Figura 4.8 – Concentrações das espécies de THM resultantes da cloração de águas sintéticas (BLACK et al., 1996), 91
- Figura 4.9 – Desenho esquemático de um clorador por difusão, 93
- Figura 4.10 – Corte longitudinal e detalhe do tubo perfurado (HONÓRIO, 1989), 95
- Figura 4.11 – Corte longitudinal e detalhe do clorador de pastilhas (HONÓRIO, 1989), 96
- Figura 4.12 – Desenho esquemático de uma rede ramificada tipo *espinha de peixe*, 104
- Figura 4.13 – Desenho esquemático de uma rede ramificada tipo *grelha*, 104
- Figura 4.14 – Desenho esquemático de uma rede malhada, 105
- Figura 5.1 – Ações básicas para operacionalização da vigilância da qualidade da água para consumo humano, 117



LISTA DE ANEXOS

Anexo I – Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990, do Ministério da Saúde, 163

Anexo II – Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, 175

Anexo III – Determinação de cloro, turbidez e cor, 197

Anexo IV – Procedimentos de coleta e conservação de amostras, 201

Anexo V – Determinação de coliformes pela técnica dos tubos múltiplos, 205

Anexo VI – Tabelas para o cálculo do Número Mais Provável (NMP) de coliformes, 207

Anexo VII – Determinação de coliformes pela técnica da membrana filtrante, 211



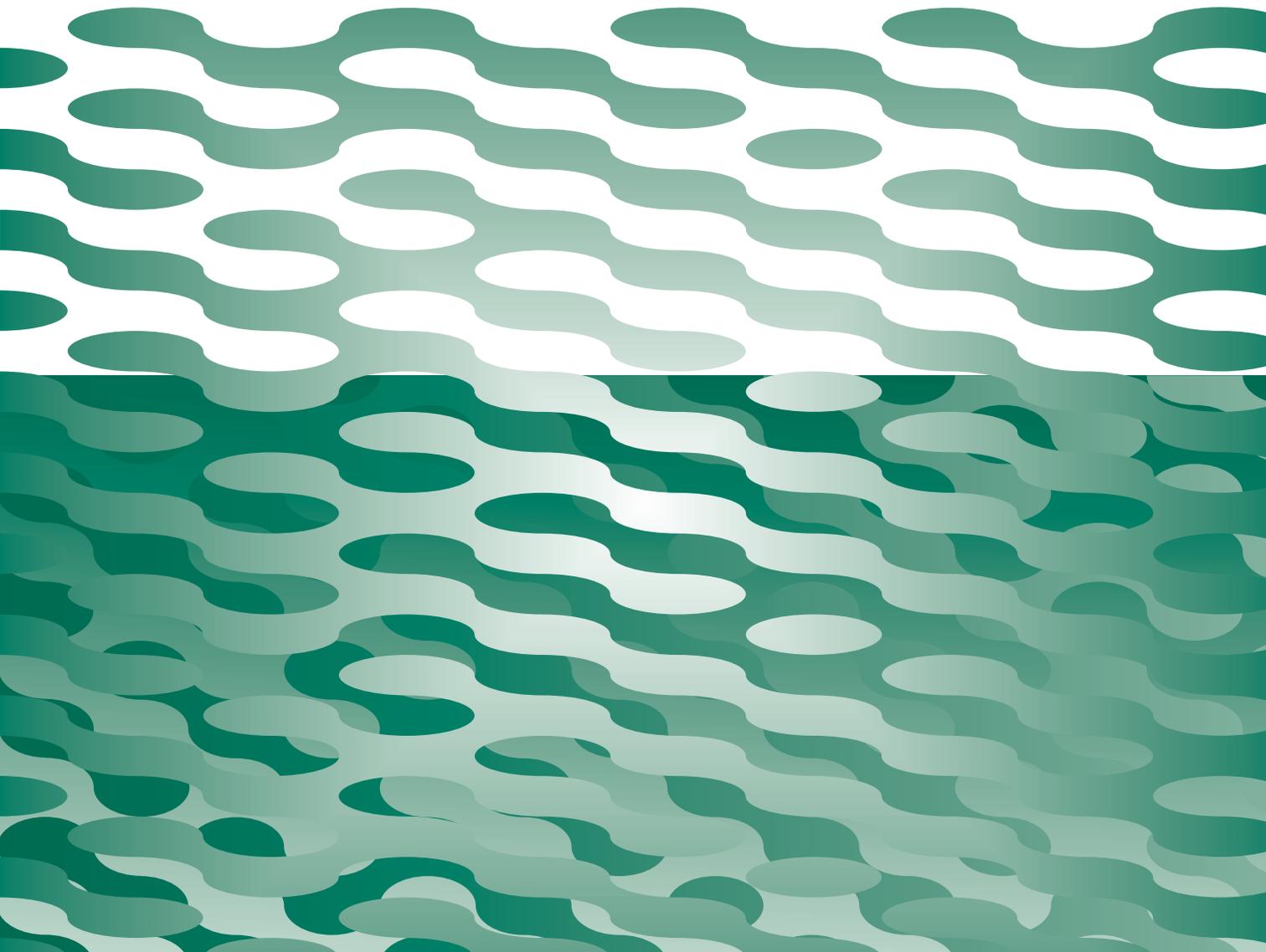
APRESENTAÇÃO

O Ministério da Saúde, por meio da Secretaria de Vigilância em Saúde e visando à organização da vigilância em saúde ambiental, está disponibilizando aos profissionais do setor saúde a primeira edição do material de apoio à estruturação da vigilância e do controle da qualidade da água para consumo humano. Trata-se de um conjunto de textos que busca conceituar o tema e abordar os aspectos relevantes da relação entre a qualidade da água e a saúde. Foi elaborado para ser utilizado pelos próprios técnicos responsáveis pelas áreas de vigilância em saúde ambiental das secretarias estaduais e municipais de saúde e do Distrito Federal.

Para a preparação do material, a Secretaria de Vigilância em Saúde contou com o apoio de técnicos dos serviços de saúde e de acadêmicos com larga experiência de trabalho em questões relacionadas com o conhecimento e a avaliação dos aspectos que envolvem a qualidade da água, desde sua apresentação na natureza, processos de produção, controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e dos riscos de contaminação, até seus efeitos na saúde da população.

Esta publicação inclui, também, normas e procedimentos para o exercício não só do controle de qualidade (função dos prestadores de serviços de saneamento), mas também da vigilância da qualidade da água para consumo humano, responsabilidade indelegável do setor saúde.

Esperamos que esta publicação seja útil a todos os que trabalham com a vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano e com a identificação dos fatores de risco do ambiente que interferem na saúde da população.



1 INTRODUÇÃO

1.1 ESTRUTURA DA PUBLICAÇÃO

Na presente publicação, desenvolve-se o tema da vigilância e do controle da qualidade da água para consumo humano em seis capítulos, cada qual procurando tratar de aspectos relevantes associados, assim como destacar a relação entre a temática abordada e a saúde.

Os capítulos 1 e 2 apresentam a situação atual da água no Brasil, a sua importância e a vigilância da água para consumo humano no contexto da vigilância em saúde ambiental.

No capítulo 3 desenvolve-se a descrição dos aspectos característicos da qualidade da água. Trata-se de uma apresentação do produto objeto da vigilância. A relação desse conhecimento com as ações de vigilância é evidente. O profissional que atua em vigilância de qualidade da água necessita conhecer, entre outros:

- a) os parâmetros microbiológicos e físico-químicos e seus valores-limites permissíveis na água;
- b) as possíveis fontes dos diversos contaminantes passíveis de encontrar na água;
- c) o significado dos parâmetros para a saúde humana e os agravos à saúde decorrentes da ingestão de água contendo substâncias em concentrações superiores às permissíveis;
- d) o significado dos indicadores de qualidade microbiológica, sua importância e suas limitações.

No capítulo 4 são descritos os Sistemas de Abastecimento de Água – SAAs, suas particularidades, seus componentes e suas variações. Constitui também um conhecimento de fundamental importância para os profissionais da área de vigilância da qualidade da água. Pelo entendimento dos processos que determinam a água a ser consumida, tem-se, ao mesmo tempo, a compreensão de suas vulnerabilidades e dos potenciais pontos e situações de risco à saúde humana. Na produção de água, destaca-se a questão da vulnerabilidade dos mananciais – superficiais ou subterrâneos – cuja qualidade da água é mera decorrência da combinação entre as características naturais de sua bacia e os fatores antrópicos que conduzem à sua modificação. Ainda na produção, ressalta-se o fundamental papel do tratamento, processo empregado para transformar uma dada qualidade da água bruta, tornando-a potável e protegida quanto a posteriores fatores nocivos à sua qualidade. Tão importante quanto a produção é a distribuição da água, concebida para fornecer água com regularidade e segurança sanitária, continuamente, aos consumidores. Fatores que fragilizam o cumprimento dessa função da distribuição devem ser conhecidos e tornam-se objeto de atenção das atividades de vigilância.

O capítulo 5 conceitua controle e vigilância, diferenciando ambas as atividades e seus atores. Mostra que, cada uma à sua maneira e com seu objetivo, as ações

de controle e vigilância cumprem funções distintas – e igualmente importantes – na proteção da saúde do consumidor. O controle fornece informações à entidade encarregada da operação do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) e de Soluções Alternativas Coletivas (SAC) sobre a qualidade do produto gerado, sendo um termômetro da eficiência e eficácia de suas práticas operacionais. Por meio do processo de controle da qualidade da água, SAA e SAC podem ter suas práticas corrigidas e racionalizadas. São, portanto, subsídios fundamentais para a adoção de boas práticas operacionais, visando minimizar os riscos à saúde humana decorrentes do consumo de água. As atividades de vigilância, por sua vez, garantem o devido “controle de qualidade” pelos órgãos públicos responsáveis por assegurar a promoção da saúde da população – o denominado *setor saúde*. Não é admissível que apenas as atividades de controle suportem a ação do setor saúde. É fundamental que se distingam os papéis do produtor e do agente de fiscalização, já que este último deve ter autonomia e independência para, com estratégias próprias, aferir a qualidade da água consumida.

Por fim, o capítulo 6 descreve o sistema de informações da vigilância da qualidade da água para consumo humano, iniciativa fundamental para uma disseminação de dados sobre os SAA e SAC e sobre as Soluções Alternativas Individuais (SAI). Compreende um valioso conjunto de informações para os órgãos de vigilância, que, com o acesso ao sistema de informação, passam a contar com um importante subsídio para o conhecimento dos SAA, SAC e SAI sob sua vigilância, bem como de suas vulnerabilidades, seus riscos e a evolução histórica da qualidade da água distribuída. Esse conhecimento constitui fator indispensável para o planejamento racional das ações de vigilância. É responsabilidade dos órgãos de vigilância ao mesmo tempo zelar pela adequada alimentação de dados ao sistema e facultar a permanente consulta às informações de interesse nele contidas, a fim de pautar sua ação.

Completam a publicação os Anexos I a VII, que transcrevem a base legal sobre a qual se deve desenvolver a vigilância da qualidade da água para consumo humano.

1.2 HISTÓRICO DA PROBLEMÁTICA DA ÁGUA NO BRASIL

O abastecimento público de água em termos de quantidade e qualidade é uma preocupação crescente da humanidade, em função da escassez do recurso água e da deterioração da qualidade dos mananciais. Organismos internacionais, a exemplo da Organização Pan-Americana da Saúde (Opas) e da Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Aidis), e nacionais, como o Ministério da Saúde e o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), têm reconhecido a problemática da água neste final de século. Nessa perspectiva, em 1992 foi assinada em Havana uma declaração para a proteção da qualidade da água, sendo instituído o Dia Interamericano da Água.

Segundo a Declaração Universal dos Direitos da Água, “o direito à água é um dos direitos fundamentais do ser humano: o direito à vida, tal qual é estipulado no

artigo 30 da Declaração Universal dos Direitos do Homem” (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000).

É fato que as atividades humanas, respaldadas em um estilo de vida e desenvolvimento, têm determinado alterações significativas no meio ambiente, influenciando a disponibilidade de uma série de recursos. A água, em alguns territórios, tem-se tornado um recurso escasso e com qualidade comprometida. Os crescentes desmatamentos, os processos de erosão/assoreamento dos mananciais superficiais, os lançamentos de efluentes e detritos industriais e domésticos nos recursos hídricos têm contribuído para tal situação. Nos países em desenvolvimento essa problemática é agravada em razão da baixa cobertura da população com serviços de abastecimento de água com qualidade e quantidade.

No Brasil, os potenciais de água doce são extremamente favoráveis para os diversos usos; no entanto, as características de recurso natural renovável, em várias regiões do país, têm sido drasticamente afetadas. Os processos de urbanização, de industrialização e de produção agrícola não têm levado em conta a capacidade de suporte dos ecossistemas (REBOUÇAS, 1997). Para este autor,

[...] Este quadro está sensivelmente associado ao lançamento – deliberado ou não – de mais de 90% dos esgotos domésticos e cerca de 70% dos efluentes industriais não tratados, o que tem gerado a poluição dos corpos de água doce de superfície em níveis nunca antes imaginados (REBOUÇAS, 1997, p. 6).

Segundo o relatório da Conferência Pan-Americana de Saúde e Ambiente Humano Sustentável (Copasad),

atualmente cerca de 30% da população brasileira abastece-se de água proveniente de fontes inseguras, sendo que boa parte daqueles atendidos por rede pública nem sempre recebe água com qualidade adequada e em quantidade suficiente (COPASAD, 1996).

A qualidade da água tem sido comprometida desde o manancial, pelo lançamento de efluentes e resíduos, o que exige investimento nas estações de tratamento e alterações na dosagem de produtos para se garantir a qualidade da água na saída das estações. No entanto, tem-se verificado que a qualidade da água decai no sistema de distribuição pela intermitência do serviço, pela baixa cobertura da população com sistema público de esgotamento sanitário, pela obsolescência da rede de distribuição e pela manutenção deficiente, entre outros. Nos domicílios, os níveis de contaminação elevam-se pela precariedade das instalações hidráulico-sanitárias, pela falta de manutenção dos reservatórios e pelo manuseio inadequado da água.

Por muito tempo no Brasil a problemática da qualidade da água foi deixada de lado. O déficit na cobertura da população brasileira com sistemas de abastecimento de água dirigiu as políticas de saneamento para o atendimento da demanda reprimida, com a implantação e a ampliação de sistemas. Em função disso, as ações de controle e vigilância da qualidade da água foram colocadas em segundo plano.

O volume de recursos aplicados a esse componente do saneamento fez elevar o número de domicílios com canalização interna e ligados à rede geral. Dados de 1997 indicam que 90,4% dos domicílios urbanos têm acesso à rede de distribuição, enquanto apenas 16,7% dos rurais o são (MPO, 1997). No entanto, existe uma distribuição desigual do serviço entre regiões do país, entre a população urbana e a rural e ainda entre os municípios. O acesso aos serviços de abastecimento de água decresce das Regiões Sudeste e Sul para as Nordeste e Norte, tendo-se os menores índices nesta última. O acesso também diminui da população urbana para a rural e dos municípios de maior população para os de menor. Nas áreas urbanas a cobertura decai do centro para a periferia. Decai ainda dos ricos para os pobres (Opas b, 1998). Os dados da última Pesquisa Nacional de Amostras de Domicílios (Pnad/1998) confirmam essa realidade.

O aumento da cobertura da população com esses serviços nas últimas décadas, principalmente nas áreas urbanas, aliado ao agravamento da qualidade das águas nos mananciais de abastecimento e nos sistemas de distribuição, bem como as pressões da sociedade, fizeram com que, no final da década de 1980, as preocupações com a qualidade da água se ampliassem. Legislações passaram a ser elaboradas e deu-se início à revisão das existentes, a exemplo da Resolução nº 357/2005 do Conama, que busca classificar e proteger as águas dos mananciais, e da Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, que estabelece normas e padrões para a qualidade da água de consumo humano (MORAES et al., 1999).

Segundo estudos realizados pela ONG Água e Vida et al. (1996) junto aos serviços autônomos de água e esgoto, incluindo os operados pela Fundação Nacional de Saúde (Funasa), cerca de 50% dos sistemas de abastecimento de água usavam algum tipo de tratamento e, destes, apenas 39% o faziam por meio de estações de tratamento. O controle da qualidade da água era feito em apenas 59% dos municípios que dispunham de laboratórios de análises. Por outro lado, informações sobre a qualidade da água distribuída pelas companhias estaduais de águas e esgotos são desconhecidas, apesar de serem de conhecimento público as dificuldades encontradas por estas para atender ao estabelecido na Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990. Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) revelaram que, na Região Norte do Brasil, 47% dos municípios possuíam sistemas sem tratamento e que 30% dos municípios do país não contavam com controle bacteriológico da água (IBGE, 1989). A figura 1.1 ilustra as disparidades regionais e a figura 1.2 apresenta diferenciações entre estados.

Figura 1.1 – Proporção de municípios com sistema de abastecimento de água com tratamento, por regiões, em 1989 (fonte: apud PNSB, 1989; OPAS b, 1998)

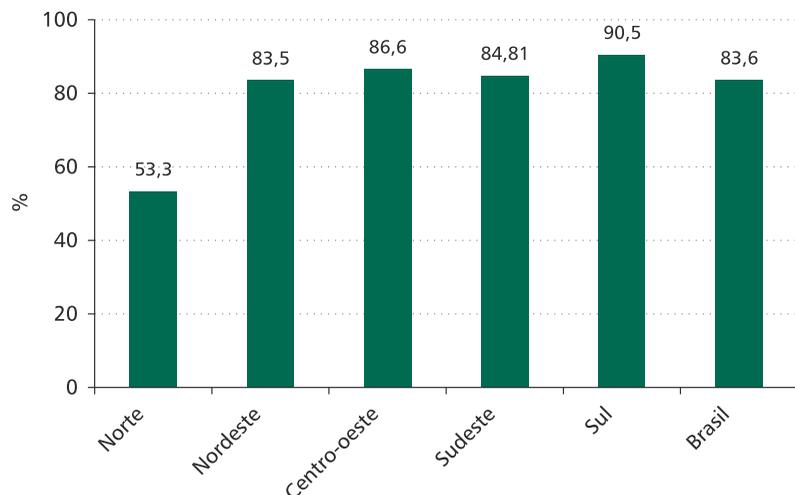


Figura 1.2 – Proporção de municípios com sistema de abastecimento de água com tratamento, por estados (fonte: apud PNSB, 1989; OPAS b, 1998)



O estudo realizado pela Água e Vida et al. (1996), já referido, é particularmente importante por ser o único que trata da intermitência do abastecimento de água. Segundo o mesmo, em cerca de 73% dos municípios estudados há descontinuidade no fornecimento de água, problema atribuído à falta de capacidade dos sistemas em atender à demanda. As causas identificadas para a intermitência estão listadas na tabela 1.1:

Tabela 1.1 – Percentuais de municípios conforme as causas de descontinuidade no abastecimento de água

CAUSAS	%
Insuficiência de captação	25,27
Insuficiência de reservação	24,18
Insuficiência na capacidade de tratamento	10,99
Problemas da rede de distribuição	37,91
Outras	1,65
TOTAL	100,00

FONTE: apud Água e Vida, Assemae e Funasa, 1996 (Opas b, 1998)

As ações de controle e vigilância da qualidade da água têm sido extremamente tímidas. Muitos municípios e localidades não dispõem de pessoal e de laboratórios capazes de realizar o monitoramento da qualidade da água, do manancial ao sistema de distribuição, tendo, até mesmo, dificuldades em cumprir as exigências da Portaria nº 36/1990 do Ministério da Saúde. Segundo a PNSB (1989), das regiões brasileiras, mais uma vez, a Norte dispõe de apenas 32,4% dos municípios com controle bacteriológico da água dos sistemas.

A comunidade técnica brasileira já reconhece a chamada “crise da água” e a necessidade de melhorar as ações de vigilância e controle de sua qualidade, em que a revisão da Portaria nº 36/1990 do Ministério da Saúde seria um dos passos (REVISTA BIO, 39, p. 1997). Em 1997, em Foz do Iguaçu, durante o 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, esse assunto foi extremamente debatido. Para Santos (apud BIO, 1997, p. 40), “o governo não tem condições de negar que a qualidade da água potável merece mais atenção no Brasil”. Segundo ela, “no ano passado o país gastou R\$ 78 milhões com internações em razão das doenças diarreicas”. Para Melo (ibid., p. 41), “falta uma política consistente, com controle social e mecanismos de financiamento, para o controle da qualidade da água”.

No ano de 2000, a CGVAM promoveu a revisão da Portaria nº 36/1990, após realizar um processo de discussão, por meio de seminários e de consultas públicas pela Internet, que culminou com a publicação da Portaria MS nº 1.469/2000, que foi revogada, em março de 2004, pela Portaria MS nº 518/2004.

1.3 A IMPORTÂNCIA DA VIGILÂNCIA E DO CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NA PREVENÇÃO DAS DOENÇAS RELACIONADAS COM A ÁGUA

ÁGUA E SAÚDE

A água pode veicular um elevado número de enfermidades e essa transmissão pode se dar por diferentes mecanismos. O mecanismo de transmissão de doenças mais comumente lembrado e diretamente relacionado à **qualidade da água** é o da ingestão, por meio do qual um indivíduo sadio ingere água que contenha componente nocivo à saúde e a presença desse componente no organismo humano provoca o aparecimento de doença.

Um segundo mecanismo refere-se à quantidade insuficiente de água, gerando hábitos higiênicos insatisfatórios e daí doenças relacionadas à inadequada higiene – dos utensílios de cozinha, do corpo, do ambiente domiciliar. Outro mecanismo compreende a situação da água no ambiente físico, proporcionando condições propícias à vida e à reprodução de vetores ou reservatórios de doenças. Um importante exemplo é o da água empoçada, contaminada por esgotos, como *habitat* para o molusco hospedeiro intermediário da esquistossomose. Outro exemplo desse mecanismo é o da água como *habitat* de larvas de mosquitos vetores de doenças, como o mosquito *Aedes aegypti* e a dengue. O *Aedes aegypti* necessita de coleções de água para o seu ciclo de reprodução.

É importante destacar que tanto a qualidade da água quanto a sua quantidade e regularidade de fornecimento são fatores determinantes para o acometimento de doenças no homem. Conforme mostram os mecanismos de transmissão descritos, a insuficiente quantidade de água pode resultar em (i) deficiências na higiene; (ii) acondicionamento da água em vasilhames, para fins de reservação, podendo esses recipientes tornarem-se ambientes para procriação de vetores e vulneráveis à deterioração da qualidade, e (iii) procura por fontes alternativas de abastecimento, que constituem potenciais riscos à saúde, seja pelo contato das pessoas com tais fontes (risco para esquistossomose, por exemplo), seja pelo uso de águas de baixa qualidade microbiológica (risco de adoecer pela ingestão).

ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SAÚDE

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) são obras de engenharia que, além de objetivarem assegurar o conforto às populações e prover parte da infra-estrutura das cidades, visam prioritariamente superar os riscos à saúde impostos pela água. Para que os SAAs cumpram com eficiência a função de proteger os consumidores contra os riscos à saúde humana, é essencial um adequado e cuidadoso desenvolvimento de todas as suas fases: a concepção, o projeto, a implantação, a operação e a manutenção.

Controlar os riscos à saúde em um SAA inicia-se com a escolha do manancial de onde o sistema será suprido. Assim, mananciais livres de contaminantes naturais, mas sobretudo protegidos contra a contaminação de natureza química ou biológica provocada pelas mais diversas atividades antrópicas, devem ser priorizados. O controle continua com a concepção, o projeto e a operação adequada do tratamento. E se completa nas demais unidades do sistema: captação, estações elevatórias, adutoras, reservatórios e rede de distribuição. Essas unidades constituem risco potencial de comprometimento da qualidade da água e, portanto, devem ser encaradas com a visão de saúde pública.

É importante destacar que não apenas na etapa coletiva dos SAAs podem ser localizados riscos à saúde. Após a ligação predial, a água fornecida pelo sistema público ainda passa por diversas operações, desde o armazenamento predial, até os habituais tratamentos domiciliares, passando por toda a instalação predial. Essa etapa do consumo, em nosso país, impõe elevados riscos à saúde, a ponto de todo o esforço desenvolvido nas diversas unidades do sistema coletivo frequentemente se ver comprometido por um manuseio inadequado da água no nível intradomiciliar. Adicione-se a essa situação de risco a tradicional dificuldade do poder público em estabelecer a vigilância no interior do domicílio, comumente considerado domínio sanitário do indivíduo e não da coletividade.

Situação similar, e em geral ainda mais preocupante, ocorre nas localidades onde inexistem sistemas coletivos de abastecimento de água. Nesse caso, a população recorre a fontes de água diversas, muitas vezes vulneráveis à presença de contaminantes, e também nesse caso é fundamental a ação do poder público, com frequência omissa. Nesses exemplos, fonte de água e condições de armazenamento constituem fatores de risco adicionais àqueles fatores já naturalmente presentes nas instalações domiciliares.

VIGILÂNCIA E CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO COMO INSTRUMENTO DE PROTEÇÃO À SAÚDE

Tanto o controle da qualidade da água, exercido pela entidade responsável pela operação do SAA ou SAC, quanto a sua vigilância, por meio dos órgãos de saúde pública, são instrumentos essenciais para a garantia da proteção à saúde dos consumidores. É falsa a compreensão de que bastam a concepção, o projeto, a implantação, a operação e a manutenção adequados para que um SAA ou SAC esteja livre de riscos à saúde humana. Obviamente, essas etapas são essenciais, mas não suficientes, para garantir a necessária proteção à saúde. Fatores diversos podem atingir um SAA ou SAC, por mais sanitariamente eficientes que estes sejam. As mais imprevisíveis e variadas situações podem ocorrer em um SAA, impondo riscos à saúde. Apenas como exemplos podem ser citadas as seguintes situações de risco:

- a) descarga acidental de contaminante no manancial;
- b) lançamento clandestino de efluentes no manancial;

- c) ocorrência de pressão negativa em tubulação – adutora ou rede de distribuição – e conseqüente penetração de contaminante em seu interior;
- d) rompimento de redes e adutoras;
- e) problemas operacionais e de manutenção diversos na estação de tratamento – coagulação incorreta, produto químico adulterado, lavagem ineficiente de filtros, comprometimento do leito filtrante, danos em equipamentos de manuseio de produtos químicos – que podem resultar em distribuição de água não potável;
- f) penetração de contaminantes diversos nos reservatórios públicos;
- g) ausência de manutenção na rede distribuidora.

Assim, um conhecimento mais completo dessas situações só se verificará com procedimentos corretos de controle e vigilância da qualidade da água. Por meio desses, tem-se a *inspeção do produto* – a água distribuída e consumida. Com essa inspeção, realizada em frequência adequada e nos pontos mais vulneráveis do sistema, tem-se uma visão da probabilidade de ocorrência de episódios de qualidade indesejável da água, o que permite identificar possíveis ocorrências negativas e assim impedi-las ou evitá-las, ou ainda possíveis procedimentos inadequados e assim corrigi-los.

Essa inspeção do produto ocorre mediante a realização de análises físico-químicas e microbiológicas, estrategicamente planejadas, para conjuntos de parâmetros de qualidade, conforme definido na legislação relativa aos padrões de potabilidade. A concepção desse procedimento é *probabilística*. Assim, procura-se, determinar, por uma *amostragem* no sistema, o risco à saúde da qualidade da água.

A avaliação da *qualidade microbiológica* da água tem um papel destacado no processo, em vista do elevado número e da grande diversidade de microorganismos patogênicos, em geral de origem fecal, que pode estar presente na água. Em função da extrema dificuldade, quase impossibilidade, de avaliar a presença de todos os mais importantes microorganismos na água, a técnica adotada é a de se verificar a presença de organismos indicadores. A escolha desses indicadores foi objeto de um processo histórico cuidadoso, realizado pela comunidade científica internacional, de modo que aqueles atualmente empregados reúnem determinadas características de conveniência operacional e de segurança sanitária, nesse caso significando que sua ausência na água representa a garantia da ausência de outros patogênicos. Mais recentemente, pesquisas têm revelado a limitação dos indicadores tradicionais – em especial as bactérias do grupo coliforme – como garantia da ausência de alguns patogênicos, como vírus e cistos de protozoários, mais resistentes que os próprios organismos indicadores.

Quanto à *qualidade física*, a estratégia principal consiste na identificação de parâmetros que representem, de forma indireta, a concentração de sólidos – em suspensão ou dissolvidos – na água. Esses parâmetros têm um duplo significado para a saúde pública. Por um lado, revelam a qualidade estética da água, cuja importância sanitária reside no entendimento de que águas com inadequado padrão

estético, mesmo microbiologicamente seguras, podem conduzir os consumidores a recorrerem a fontes alternativas menos seguras. Por outro lado, águas com elevado conteúdo de sólidos comprometem a eficiência da desinfecção, ou seja, nesse caso sólidos podem se mostrar associados à presença de microorganismos.

Já a qualidade química é aferida pela própria identificação do componente na água, por meio de métodos laboratoriais específicos. Tais componentes químicos não devem estar presentes na água acima de certas concentrações determinadas com o auxílio de estudos epidemiológicos e toxicológicos. As concentrações limites toleráveis significam que a substância, se ingerida por um indivíduo com constituição física mediana, em certa quantidade diária, durante um determinado período de vida, adicionada à exposição esperada da mesma substância por outros meios (alimento, ar, etc.), submete esse indivíduo a um risco inaceitável de acometimento por uma enfermidade crônica resultante. Dois importantes grupos de substâncias químicas, cada qual com origens e efeitos sobre a saúde humana específicos, são as substâncias químicas inorgânicas, como os metais pesados, e orgânicas, como os solventes.

Essas técnicas – amostragem e avaliação laboratorial da qualidade da água – constituem a aferição da qualidade do produto, o que não elimina a inspeção do processo, uma importante ação complementar da vigilância da qualidade da água. Nesse caso, a vigilância verifica as condições físicas e operacionais dos SAAs, identificando potenciais situações de risco e acionando os responsáveis para a sua correção. Dessa forma, atua-se preventivamente, pela antecipação de problemas de qualidade da água, adicionalmente à ação corretiva, determinada após a observação da violação dos padrões de potabilidade da água mediante as análises laboratoriais.

1.4 REFERÊNCIAS

ÁGUA E VIDA; ASSEMAE; FUNASA. *1º Diagnóstico Nacional dos Serviços de Saneamento*. Brasília: ASSEMAE/FUNASA, 1996.

CONFERÊNCIA PAN-AMERICANA SOBRE SAÚDE E AMBIENTE NO DESENVOLVIMENTO HUMANO SUSTENTÁVEL (COPASAD). *Plano Nacional de Saúde e Ambiente no Desenvolvimento Sustentável*. Brasília: Ministério da Saúde, 1995.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB)*. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 86 p.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento (MPO). *Política Nacional de Saneamento*. Brasília: MPO, 1997. 39 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. *Declaração Universal dos Direitos da Água*. Porto Seguro: MMA/SRH, 2000 (*Histoire de L'eau*, George Ifrah, Paris, 1992).

MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C.; TOSTA, C. S. Qualidade da água da rede de distribuição e de beber em assentamento periurbano: estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Abes, 1999.

OLIVEIRA FILHO, A. *Terra, Planeta Água*. Salvador: FNU/CUT, 2000.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. *Cenário do saneamento básico no Brasil: um enfoque sobre as áreas atingidas pela seca e pelo Projeto para Redução da Mortalidade na Infância – PRMI*. Brasília: Opas, 1998b.

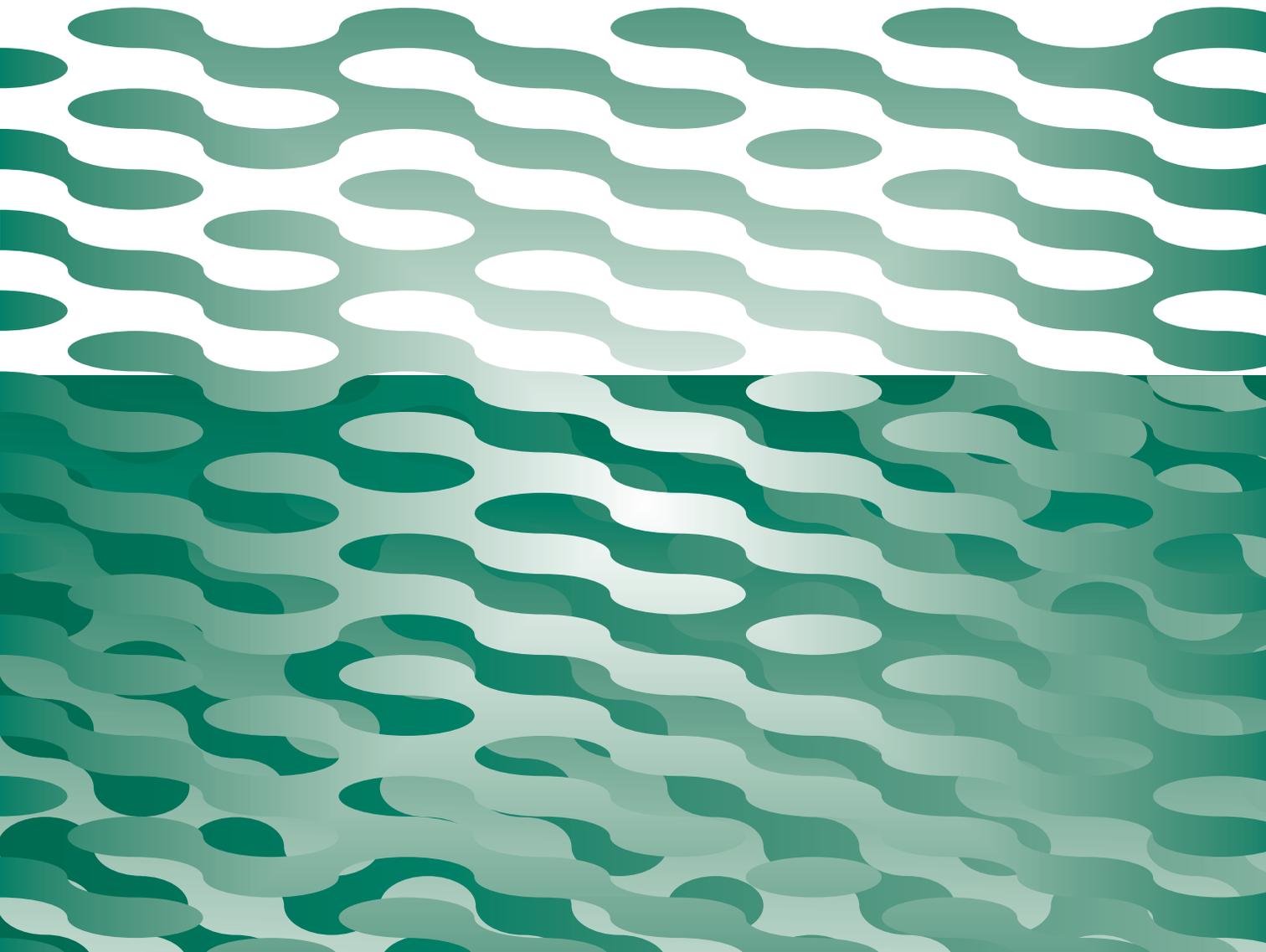
REBOUÇAS, A. C. Panorama da água doce no Brasil. In: REBOUÇAS, Aldo da Cunha (Org.). *Panorama da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil*. São Paulo: IEA/USP; Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1997. p. 59-107.

REVISTA ÁGUAONLINE. *Recomendações do Fórum Mundial da Água*. Brasília, ano I, nº 1, 2000. Disponível em: <<http://www.aguaonline.com.br>>.

REVISTA BIO. Padrão de qualidade da água de novo na berlinda. Rio de Janeiro, ano IX, nº 4, p. 39-41, set.-dez., 1997.

A VIGILÂNCIA EM SAÚDE
AMBIENTAL NO BRASIL

2



2 A VIGILÂNCIA EM SAÚDE AMBIENTAL NO BRASIL

A estruturação da vigilância em saúde ambiental no Brasil tem vínculos com as atribuições do SUS estabelecidas na Constituição de 1988, com a Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990, e com o Plano Nacional de Saúde e Ambiente no Desenvolvimento Sustentável. Porém, foi com a Instrução Normativa nº 01, de 07 de março de 2005, que regulamenta a Portaria nº 1.172/2004 GM, que estabelece as competências da União, Estados, Municípios e Distrito Federal na área de vigilância em saúde ambiental no país.

A criação da Coordenação de Vigilância em Saúde Ambiental (CGVAM), como uma das competências do Centro Nacional de Epidemiologia (Cenepi), foram estabelecidas no Decreto Federal nº 3.450, de 10 de maio de 2000, e aprovadas no regimento interno da Funasa regulamentado por meio da Portaria nº 410, de 10 de agosto de 2000.

Coube, ainda, ao Cenepi responder pela gestão dos sistemas de informação em saúde, do Sistema Nacional de Vigilância Epidemiológica (SNVE), e coordenar a Rede Nacional de Laboratórios de Saúde Pública (BRASIL, 1999).

A partir de junho de 2003, o Cenepi passa a compor a estrutura do Ministério da Saúde, denominando-se Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS). A CGVAM passa, dessa forma, a compor a estrutura da SVS.

A vigilância em saúde ambiental é definida no SINVSA como um conjunto de ações que proporciona o conhecimento e a detecção de qualquer mudança nos fatores determinantes e condicionantes do meio ambiente que interferem na saúde humana, com a finalidade de identificar as medidas de prevenção e de controle de riscos ambientais relacionadas a doenças ou outros agravos à saúde.

Para a execução das medidas propostas prevêm-se ações integradas com outros setores e instituições. O sistema de informação deverá prever o compartilhamento de informações e conhecimentos com outros sistemas sobre os fatores do ambiente que interfiram na saúde (MINISTÉRIO DA SAÚDE/FUNASA, 1998, p. 73).

De acordo com o SINVSA, a vigilância em saúde ambiental será implementada considerando os não biológicos, podendo ser operacionalmente dividida segundo as seguintes áreas de concentração:

- água para consumo humano;
- contaminantes ambientais;
- qualidade do ar;
- qualidade do solo, incluindo os resíduos tóxicos e perigosos;
- desastres naturais e
- acidentes com produtos perigosos.

No âmbito da vigilância da qualidade da água para consumo humano, a Programação das Ações Prioritárias de Vigilância em Saúde (PAP/VS), cumpre papel de instrumento técnico, aprovado pelas Comissões Intergestoras Bipartite (CIB) de cada estado, na qual são definidas as atividades e as metas a serem cumpridas para fortalecer o Sistema Nacional de Vigilância Epidemiológica e Saúde Ambiental.

Assim, a PAP/VS visa ao aumento da capacidade de detectar precocemente fatores de risco à saúde da população, surtos e epidemias e desencadear as medidas para prevenir e controlar doenças e outros agravos. A partir da PPI-ECD é estabelecido o valor do teto financeiro de Epidemiologia e Controle de Doenças de cada município.

2.1 O SUBSISTEMA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE AMBIENTAL RELACIONADA À QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NO BRASIL

Desde 1986, o Ministério da Saúde, por meio da Divisão de Ecologia Humana e Saúde Ambiental, institucionalizou o Programa Nacional de vigilância da qualidade da água para consumo humano, que tinha como meta:

prestar auxílio técnico e financeiro às Secretarias Estaduais de Saúde para que iniciassem um Programa de vigilância da qualidade da água para consumo humano; efetuar uma revisão da legislação afeta ao tema; capacitar tecnicamente os profissionais das Secretarias de Saúde para garantir o apoio laboratorial necessário à verificação do cumprimento da legislação quanto ao padrão físico-químico e bacteriológico da água consumida pela população (OPAS, 1998 c).

O subsistema de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano do Sinvas requer um modelo de atuação da vigilância da qualidade da água para consumo humano no Brasil para se consolidar, devendo adotar um Programa bem estruturado, em nível nacional, com ações a desenvolver nas esferas federal, estadual e municipal, entre as quais se podem destacar:

- coordenação da vigilância da qualidade da água para consumo humano;
- normalização;
- desenvolvimento de recursos humanos;
- normalização do registro dos produtos utilizados no tratamento de água;
- normalização das características dos filtros domésticos;
- elaboração de guias (métodos e procedimentos) e outras publicações para a vigilância da qualidade da água para consumo humano;
- diagnóstico e inspeção permanentes das diversas formas de abastecimento de água;
- monitoramento da qualidade da água para consumo humano;

- estruturação da rede laboratorial para vigilância da qualidade da água para consumo humano;
- identificação e mapeamento do grau de risco à saúde das diferentes formas de abastecimento de água;
- avaliação e análise sistemática de indicadores de saúde e ambiente;
- avaliação e análise integrada dos sistemas de informação;
- atuação junto ao(s) responsável(is) pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água para correção de situações de risco identificadas;
- atuação nos fóruns intra e intersetoriais dos setores afetos à qualidade e à quantidade da água;
- desenvolvimento de estudos e pesquisas;
- disponibilização de informações;
- educação, comunicação e mobilização social.

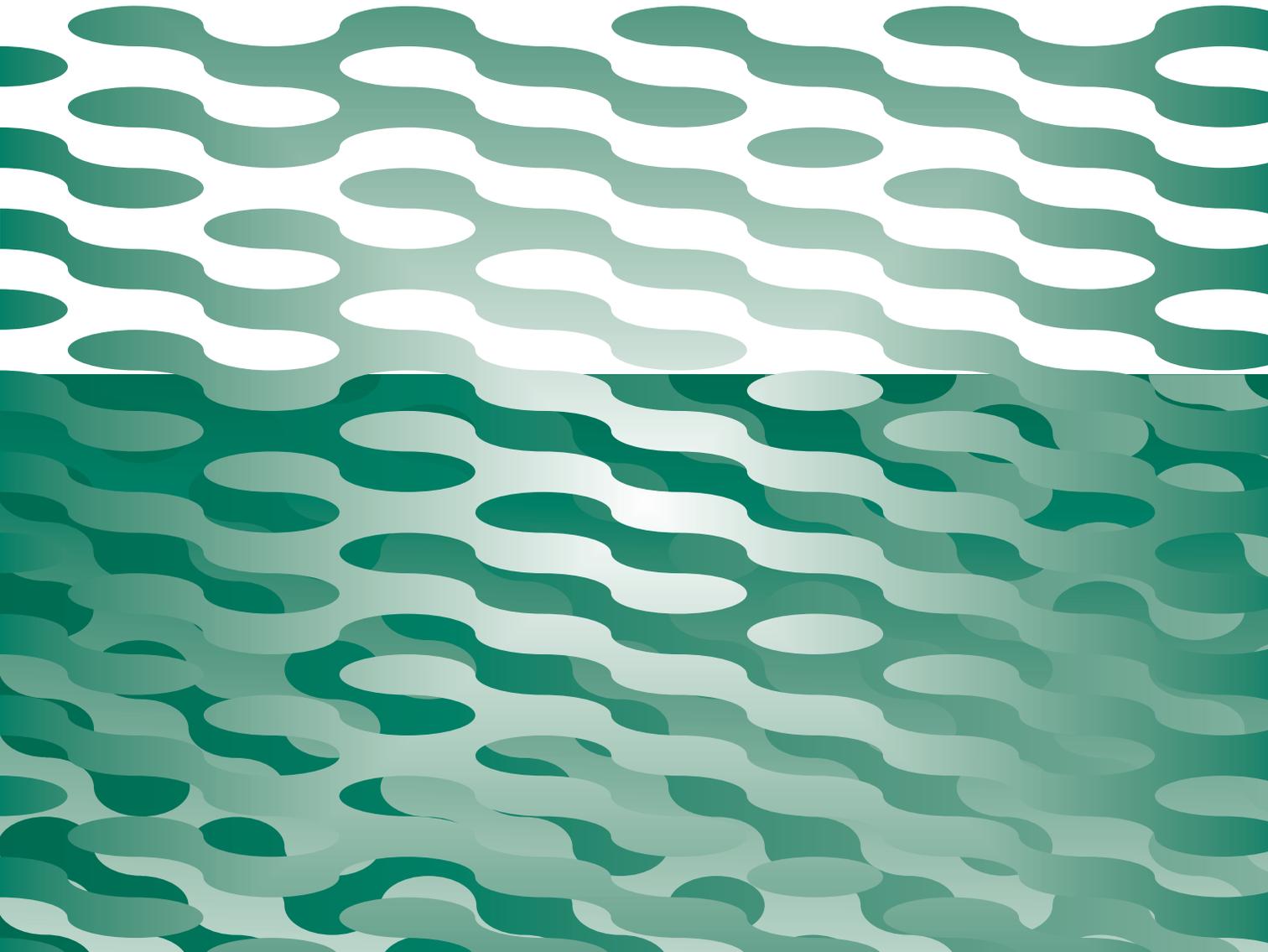
2.2 REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Portaria nº 125, de 14 de fevereiro de 1999. Adequa as competências e atribuições do Regimento Interno da Fundação Nacional de Saúde (Funasa). *Diário Oficial*, Brasília, Seção I, nº 33, 19 fev. 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. *Programação Pactuada Integrada – parâmetros de programação para ações de epidemiologia e controle de doenças*. Brasília: Funasa/MS, 2000.

QUALIDADE DAS ÁGUAS
DE ABASTECIMENTO

3



3 QUALIDADE DAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO

3.1 INTRODUÇÃO

As características físicas, químicas e biológicas da água estão associadas a uma série de processos que ocorrem no corpo hídrico e em sua bacia de drenagem. Ao se abordar a questão da qualidade da água, é fundamental ter em mente que o meio líquido apresenta duas características marcantes, que condicionam de maneira absoluta a conformação desta qualidade:

- capacidade de dissolução;
- capacidade de transporte.

Constata-se assim que a água, além de ser formada pelos elementos hidrogênio e oxigênio na proporção de dois para um, também pode dissolver uma ampla variedade de substâncias, as quais conferem à água suas características peculiares. Além disso, as substâncias dissolvidas e as partículas presentes no seio da massa líquida são transportadas pelos cursos d'água, mudando continuamente de posição e estabelecendo um caráter fortemente dinâmico para a questão da qualidade da água. Nesse aspecto, é bastante esclarecedora a afirmativa do filósofo grego Heráclito de que “nunca se cruza o mesmo rio duas vezes”. Na segunda vez não é o mesmo rio que cruzamos, já que as características da água, em maior ou menor grau, serão seguramente distintas. A conjugação das capacidades de dissolução e de transporte conduz ao fato de que a qualidade de uma água é resultante dos processos que ocorrem na massa líquida e na bacia de drenagem do corpo hídrico. Verifica-se, assim, que o sistema aquático não é formado unicamente pelo rio ou pelo lago, mas inclui obrigatoriamente a bacia de contribuição, exatamente onde ocorrem os fenômenos que irão, em última escala, conferir à água suas características de qualidade.

Outro aspecto bastante relevante refere-se às comunidades de organismos que habitam o ambiente aquático. Em sua atividade metabólica, alguns organismos provocam alterações físicas e químicas na água, enquanto outros sofrem os efeitos dessas alterações. Dessa forma, observa-se a ocorrência de processos interativos dos organismos com seu meio ambiente, fato este que constitui a base da ciência denominada Ecologia.

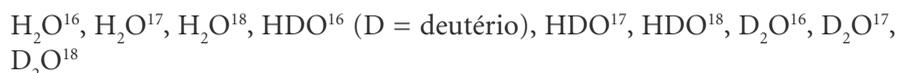
É de conhecimento geral que a estrutura química de uma molécula de água é formada por dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio: H_2O . No entanto, deve ser lembrado que esses dois elementos apresentam formas isotópicas, a saber:

- Hidrogênio : H^1 (próton), H^2 (deutério), H^3 (trítio)
- Oxigênio : O^{16} , O^{17} , O^{18} .

Na atmosfera de nosso planeta, os átomos de oxigênio estão distribuídos na seguinte proporção:

$$10 \text{ átomos } O^{17} : 55 \text{ átomos } O^{18} : 26.000 \text{ átomos } O^{16}$$

A combinação dos diversos isótopos de hidrogênio e oxigênio fornece uma variedade de 48 formas de água, das quais 39 são radioativas e apenas nove são estáveis:



Esta última forma (D_2O^{18}) é conhecida como água pesada, sendo utilizada em reatores nucleares para moderação da velocidade dos nêutrons.

Verifica-se, assim, que existem variantes químicas para uma molécula de água, de acordo com a distribuição dos diversos isótopos de hidrogênio e oxigênio. No entanto, a forma predominante e de maior interesse ecológico é H_2O^{16} . A água, além de ocupar cerca de três quartos da superfície do planeta, é ainda o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva, já que mais de 60% do peso humano é constituído por água, e em certos animais aquáticos e mesmo em alguns legumes e verduras esse percentual pode atingir até 98%. A tabela 3.1 indica como é a distribuição da água no globo terrestre.

Tabela 3.1 – Distribuição de água no globo terrestre (LVOVITCH, 1979)

LOCALIZAÇÃO	VOLUME (10 ³ KM ³)	PERCENTAGEM (%)
Oceanos	1.370.000	93,94
Águas subterrâneas	64.000	4,39
Gelo	24.000	1,65
Lagos	280	0,019
Água doce	150	
Água salgada	125	
Reservatórios	5	
Umidade do solo	85	0,006
Atmosfera	14	0,001
Rios	1,2	0,0001

A água, no nível do mar, apresenta temperatura de ebulição de 100 °C. Curiosamente, ao se avaliar o posicionamento de seus átomos constituintes (hidrogênio e oxigênio) na Tabela Periódica dos Elementos, era de se esperar um ponto de fervura a -80 °C, já que, quanto menor o número de átomos, mais baixa é a temperatura de ebulição. Da mesma forma, o ponto de congelamento da água, 0 °C, deveria baixar a -100 °C se fosse considerado unicamente o posicionamento dos elementos na Tabela Periódica.

3.2 PROPRIEDADES DAS ÁGUAS NATURAIS

MASSA ESPECÍFICA

A massa específica ou densidade absoluta indica a relação entre a massa e o volume de uma determinada substância. Ao contrário de todos os outros líquidos, que apresentam a densidade máxima na temperatura de congelamento, no caso da água ela ocorre a 4 °C, quando atinge o valor unitário. Isso significa que a água nessa temperatura, por ser mais densa, ocupa as camadas profundas de rios e lagos. Em países de clima frio, essa característica especial, conhecida como *anomalia térmica da água*, tem importância vital para a ecologia aquática em períodos de inverno. Sendo a água a 4 °C mais densa que a 0 °C (ponto de congelamento), os rios e os lagos no inverno congelam-se apenas na superfície, ficando a temperatura do fundo sempre acima da temperatura do ponto de congelamento. Dessa forma, é possibilitada a sobrevivência de peixes e outras espécies aquáticas, que obviamente morreriam se o corpo d'água se congelasse integralmente.

Para se entender a anomalia térmica da água, é necessário que se contemplem as variações na estrutura molecular da água de acordo com a temperatura. A água, na forma de gelo, apresenta uma estrutura tetraédrica ou cristalina, caracterizada pela existência de muitos espaços vazios. À medida que a temperatura aumenta, a água vai abandonando a estrutura cristalina e assumindo gradativamente a estrutura conhecida como compacta, na qual as moléculas estão acondicionadas sem espaços vazios. Isso significa que, com o incremento de temperatura, a água vai se tornando cada vez mais densa. Porém, o aumento da temperatura provoca a expansão molecular nos corpos. Verifica-se, assim, a ocorrência simultânea de dois fenômenos antagônicos quando ocorre um aumento de temperatura: enquanto a densidade aumenta, em razão de alterações na estrutura molecular, ela ao mesmo tempo diminui, em decorrência da expansão molecular. A superposição desses dois processos conduz à obtenção do ponto de densidade máxima. Assim, a densidade absoluta da água aumenta com a temperatura até atingir o valor de 4 °C, para, a partir daí, passar a diminuir com esse aumento.

Outro aspecto a ser destacado com relação à densidade da água é o fato de se observarem maiores amplitudes de variação de densidade na faixa de temperaturas mais elevadas. Como exemplo, pode-se citar a diferença de densidade da água entre as temperaturas de 24 e 25 °C, que é 26 vezes maior que a observada entre as temperaturas de 4 e 5 °C. Isso exerce uma influência marcante na estratificação de corpos d'água, principalmente de lagos e represas. Quando é grande a diferença de densidade entre superfície (água mais quente, menos densa) e fundo (água mais fria, mais densa), ocorre a formação de três estratos no corpo d'água: uma camada superior, movimentada pelo ação do vento e, por essa razão, apresentando temperatura uniforme; uma camada intermediária, onde ocorre uma queda brusca de temperatura, e uma camada inferior, de mais baixa temperatura. Tais camadas são denominadas, respectivamente, *epilímnio*, *metalímnio* e *hipolímnio*. Enquanto permanecer, no meio líquido, uma certa distribuição de

temperaturas e, portanto, de densidades, já que ambas estão intimamente relacionadas, o corpo d'água estará estratificado, com o claro delineamento de três camadas distintas. Em épocas mais frias do ano ocorre uma gradativa diminuição da temperatura superficial, até que essa camada atinja valores próximos aos do fundo. Nessa situação, a coluna d'água apresenta densidade aproximadamente uniforme no perfil, o que acaba com a estabilidade anteriormente existente. Se houver um agente externo de energia (vento, por exemplo), o corpo d'água pode circular completamente, com as camadas inferiores indo até a superfície e vice-versa. É o fenômeno conhecido como virada, circulação ou *turn over* do lago ou represa. Quando a temperatura da superfície volta a subir, o corpo d'água vai gradativamente reassumindo sua condição de estratificação. Como as diferenças de densidade são maiores sob temperaturas mais elevadas, lagos situados em regiões de clima quente, como é o caso do nosso país, apresentam estabilidades de estratificação superiores às encontradas em regiões de clima frio, onde as diferenças de densidade entre epilímnio e hipolímnio não são tão marcantes. Evidentemente, isto traz conseqüências para a vida aquática e para a distribuição de substâncias no corpo d'água, já que, em lagos estratificados, a comunicação entre camadas é restrita.

VISCOSIDADE

A viscosidade de um líquido caracteriza a sua resistência ao escoamento. Essa grandeza é inversamente proporcional à temperatura, o que significa que uma água quente é menos viscosa que uma água fria. Tal fato traz naturalmente conseqüências para a vida aquática: os pequenos organismos, que não possuem movimentação própria, tendem a ir mais rapidamente para o fundo do corpo d'água em períodos mais quentes do ano, quando a viscosidade é menor. O mesmo ocorre com partículas em suspensão, que se sedimentam mais intensamente no caso de ambientes aquáticos tropicais. Para muitos organismos, o fato de atingirem o fundo significa a sua morte, em razão da pouca disponibilidade de oxigênio e luz. Por essa razão, muitos deles desenvolvem mecanismos para retardar sua precipitação, o que pode ser observado principalmente com as microalgas. Tais mecanismos estão relacionados à produção de bolhas de gás, excreção de reservas de óleo e até mesmo alterações morfológicas, assumindo às vezes formas semelhantes a guarda-chuvas ou pára-quedas, tudo isso com o intuito de retardar ao máximo sua sedimentação. No caso das alterações morfológicas, elas podem ocorrer de forma cíclica, sempre que a temperatura da água aumentar (períodos de verão, por exemplo), sendo esse fenômeno conhecido por *ciclomorfose*.

TENSÃO SUPERFICIAL

Na interface que separa o meio líquido e o meio atmosférico, ou seja, na camada superficial micrométrica de um corpo d'água, há uma forte coesão entre as moléculas, fenômeno este denominado *tensão superficial*. Às vezes, essa coesão é tão forte que pode ser observada a olho nu em um recipiente de água, ao se tocar levemente sua superfície

com o dedo. Essa fina camada de aparência gelatinosa serve de substrato para a vida de pequenos organismos, que podem habitar tanto a parte superior quanto a inferior da película. A coesão molecular na superfície é afetada por alguns fatores físicos e químicos, como, por exemplo, a temperatura e a presença de substâncias orgânicas dissolvidas. Quanto maior a temperatura, menor é a tensão superficial.

Quando há o lançamento de esgotos industriais em rios e lagos, ocorre um aumento na concentração de substâncias orgânicas dissolvidas, o que também leva a uma diminuição da tensão superficial. Em casos extremos, como, por exemplo, quando da forte presença de sabões e detergentes, a tensão superficial praticamente acaba, trazendo prejuízos à comunidade que vive na interface água-ar e que desempenha importante papel na cadeia alimentar do corpo d'água.

CALOR ESPECÍFICO

Define-se calor específico como a quantidade de energia requerida, por unidade de massa, para elevar a temperatura de um determinado material. A energia necessária para elevar em 1 °C (de 14,5 a 15,5 °C) a temperatura de um grama de água foi definida como sendo uma caloria (1 cal), ficando, pois, estabelecido o calor específico da água pura como igual a 1,0 cal/g °C. O calor específico da água é elevadíssimo, superado, dentre os líquidos, apenas pelo amoníaco e pelo hidrogênio líquido. Isso significa que são necessárias grandes quantidades de energia para promover alterações de temperatura na água ou, de outra forma, que a água pode absorver grandes quantidades de calor sem apresentar fortes mudanças de temperatura. Em razão do alto calor específico da água, ambientes aquáticos são bastante estáveis com relação à temperatura. Isso fica evidente no caso de pequenas ilhas situadas nos oceanos, as quais apresentam temperaturas médias uniformes durante todo o ano, em função da estabilidade térmica da água que as circunda.

CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Ao contrário do calor específico, a condutividade térmica da água é extremamente baixa. Se um corpo d'água permanecesse imóvel, sem turbulência, a difusão do calor seria tão lenta que seu fundo só seria aquecido após vários séculos. Na prática, isso não ocorre porque o transporte de calor também se dá por convecção, ou seja, por movimentos que ocorrem em razão de gradientes de densidade na água (ver circulação ou *turn over*).

DISSOLUÇÃO DE GASES

A água apresenta a capacidade de dissolução de gases, alguns dos quais bastante importantes para a ecologia do ambiente hídrico. O gás de maior relevância para o meio aquático é, sem dúvida alguma, o oxigênio, já que dele dependem todos os

organismos aeróbios que habitam o corpo d'água. Sabe-se que a biota (conjunto de seres vivos) aquática pode ser formada por organismos aeróbios e/ou anaeróbios. Enquanto os primeiros utilizam o oxigênio dissolvido para sua respiração, os últimos respiram utilizando o oxigênio contido em moléculas de diversos compostos, como nitratos (NO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}) e outros.

Para o ser humano, o predomínio de uma condição aeróbia no corpo d'água é fundamental, já que a maioria dos usos da água exige condições de qualidade só encontradas em ambientes aeróbios. No entanto, do ponto de vista ecológico, os ambientes anaeróbios, como pântanos, por exemplo, também apresentam relevância, muito embora não se prestem para a utilização humana. Além disso, muitos sistemas aquáticos anaeróbios são resultantes de antigos sistemas aeróbios que sofreram uma forte degradação de sua qualidade, como, por exemplo, por meio do lançamento de esgotos. Sabe-se ainda que as condições anaeróbias favorecem a proliferação de gases com maus odores, o que naturalmente é indesejável para o ser humano.

A concentração dos gases na água depende da chamada pressão parcial do gás e da temperatura. Sabe-se que, na atmosfera terrestre, os principais gases estão distribuídos aproximadamente na seguinte proporção:

- Nitrogênio (N_2): 78%;
- Oxigênio (O_2): 21%; e
- Gás carbônico (CO_2): 0,03%

A solubilidade química absoluta dos gases na água, à temperatura de 20 °C, é a seguinte:

- CO_2 : 1.700 mg/l;
- O_2 : 43 mg/l;
- N_2 : 18 mg/l

Multiplicando-se essas concentrações absolutas pela pressão parcial dos gases obtém-se a *concentração de saturação dos gases*, isto é, os valores máximos de concentração que podem ser atingidos no meio. Na água, essa concentração de saturação é diretamente proporcional à pressão e indiretamente proporcional à temperatura e ao teor salino. Isso significa que, em condições naturais, as águas de clima tropical são menos ricas em oxigênio que aquelas de clima temperado; os corpos d'água situados próximos ao nível do mar (maior pressão atmosférica) possuem mais oxigênio que os localizados nas montanhas; a água do mar (maior teor salino) apresenta menores teores de oxigênio que a água doce. Um corpo de água doce submetido à pressão de uma atmosfera e com a temperatura de 20 °C possui aproximadamente as seguintes concentrações de saturação para os principais gases:

- O_2 : 9 mg/l;
- N_2 : 14 mg/l;
- CO_2 : 0,5 mg/l

Em geral, é mais conveniente expressar as concentrações de gases em percentuais de saturação, o que é muito mais elucidativo do que o fornecimento de concentrações absolutas. Por exemplo, a concentração de oxigênio de 7 mg/l pode ser um valor bastante satisfatório para rios e lagos em climas quentes, mas será um teor baixo se ela se referir a águas de regiões frias. A ausência de oxigênio em um ambiente aquático é designada pelo termo *anoxia*, enquanto o predomínio de baixas concentrações é expresso por *hipoxia*.

O aumento da concentração de oxigênio, em solução, no meio líquido ocorre, fundamentalmente, por meio de dois fenômenos: aeração atmosférica e atividade fotossintética das plantas aquáticas. Enquanto em rios a fonte principal de oxigênio é a atmosfera, mediante a existência de turbulência em suas águas, no caso de lagos há a dominância da fotossíntese, em decorrência do maior crescimento de microalgas e plantas aquáticas. É interessante observar que, por meio da atividade de fotossíntese, podem ser obtidas temporariamente concentrações de oxigênio superiores ao valor de saturação. Tal fato é designado como *supersaturação* do ambiente aquático. Torna-se importante ressaltar que a supersaturação da água apenas ocorre em decorrência da fotossíntese e nunca da aeração atmosférica.

A diminuição da concentração de oxigênio, em solução, no meio líquido é consequência dos seguintes processos: perdas para a atmosfera (desorção atmosférica), respiração dos organismos, mineralização da matéria orgânica e oxidação de íons.

Em função das entradas e saídas de oxigênio, pode-se avaliar o balanço desse gás no ambiente hídrico. Existe a possibilidade de utilização de modelos, mediante o emprego de coeficientes para reaeração atmosférica, fotossíntese, respiração e mineralização da matéria orgânica. Esses modelos são muito úteis para o estabelecimento de prognósticos relativos à qualidade da água em decorrência da maior ou menor presença de oxigênio.

Além do oxigênio, outros gases são também relevantes para o estudo da qualidade da água. Dentre eles, podem ser citados o gás metano (CH_4), o gás sulfídrico (H_2S), ambos decorrentes de processos de respiração anaeróbia, e o gás carbônico (CO_2), matéria-prima para a fotossíntese e produto final da respiração (na atividade fotossintética há absorção de CO_2 e liberação de O_2 , enquanto na respiração ocorre exatamente o contrário).

DISSOLUÇÃO DE SUBSTÂNCIAS

Além de gases, a água tem a capacidade de dissolver outras substâncias químicas, as quais apresentam relevância na determinação de sua qualidade. A solubilidade dessas substâncias está vinculada ao pH do meio, havendo geralmente um acréscimo da solubilidade com a redução do pH. O aumento da temperatura também favorece a solubilidade das diversas substâncias químicas.

A influência do pH e da temperatura pode ser observada na distribuição de substâncias dissolvidas em rios e lagos. Principalmente nestes últimos, ocorre um gradiente acentuado de pH, com a obtenção de valores elevados na superfície como

decorrência da atividade fotossintética (absorção de ácido carbônico → aumento de pH), e teores mais baixos no fundo, em função do predomínio de processos respiratórios (liberação de gás carbônico → diminuição de pH). Dessa forma, é freqüente a ocorrência de altas concentrações de substâncias dissolvidas no hipolímnio de lagos e represas, fenômeno este que é reforçado pelos baixos teores de oxigênio encontrados naquela região.

Quando acontece a circulação do corpo d'água, toda essa massa de substâncias dissolvidas, dentre elas vários nutrientes, sobe até a superfície, o que pode favorecer o crescimento excessivo de algas e plantas (fenômeno da *eutrofização*).

Entre os compostos dissolvidos na água, merecem destaque:

- nutrientes responsáveis pela eutrofização: compostos de nitrogênio (amônia, nitrito, nitrato) e de fósforo (fosfato);
- compostos de ferro e manganês: tais compostos podem passar pelas estações de tratamento de água na forma dissolvida (reduzida quimicamente), vindo posteriormente a precipitar-se, por meio de oxidação química, na rede de distribuição, provocando o surgimento de água com coloração avermelhada ou amarronzada;
- compostos orgânicos;
- metais pesados; e
- alguns cátions (sódio, potássio, cálcio, magnésio) e ânions (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloretos).

Estas são as principais substâncias dissolvidas utilizadas para a avaliação da qualidade de uma amostra de água.

3.3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS

Após a apresentação feita anteriormente, descrevendo a estrutura da água e do ambiente aquático do ponto de vista ecológico, parte-se agora para o conhecimento das principais características físicas, químicas e biológicas da água, as quais, em seu conjunto, permitem a avaliação da sua qualidade. Como tais características podem ser expressas por meio de concentrações ou outros valores numéricos, elas passarão a ser designadas como parâmetros, alguns destes referenciados como propriedades organolépticas no padrão de potabilidade vigente.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

a) Temperatura

A temperatura expressa a energia cinética das moléculas de um corpo, sendo seu gradiente o fenômeno responsável pela transferência de calor em um meio.

A alteração da temperatura da água pode ser causada por fontes naturais (principalmente energia solar) ou antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas). A temperatura exerce influência marcante na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade de substâncias. Os ambientes aquáticos brasileiros apresentam em geral temperaturas na faixa de 20 °C a 30 °C. Entretanto, em regiões mais frias, como no Sul do país, a temperatura da água em períodos de inverno pode baixar a valores entre 5 °C e 15 °C, atingindo, em alguns casos, até o ponto de congelamento.

Em relação às águas para consumo humano, temperaturas elevadas aumentam as perspectivas de rejeição ao uso. Águas subterrâneas captadas a grandes profundidades freqüentemente necessitam de unidades de resfriamento a fim de adequá-las ao abastecimento. Diversas cidades do interior do Estado de São Paulo utilizam-se de águas subterrâneas após resfriamento.

b) Sabor e odor

A conceituação de sabor envolve uma interação de *gosto* (salgado, doce, azedo e amargo) com o *odor*. No entanto, genericamente usa-se a expressão conjunta: sabor e odor. Sua origem está associada tanto à presença de substâncias químicas ou gases dissolvidos, quanto à atuação de alguns microorganismos, notadamente algas. Neste último caso são obtidos odores que podem até mesmo ser agradáveis (odor de gerânio e de terra molhada, etc.), além daqueles considerados repulsivos (odor de ovo podre, por exemplo). Despejos industriais que contêm fenol, mesmo em pequenas concentrações, apresentam odores bem característicos. Vale destacar que substâncias altamente deletérias aos organismos aquáticos, como metais pesados e alguns compostos organossintéticos, não conferem nenhum sabor ou odor à água. Para consumo humano e usos mais nobres, o padrão de potabilidade exige que a água seja completamente inodora.

c) Cor

A cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas minúsculas de dimensões inferiores a 1 µm – denominadas colóides – finamente dispersas, de origem orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos) ou mineral (resíduos industriais, compostos de ferro e manganês). Corpos d'água de cores naturalmente escuras são encontrados em regiões ricas em vegetação, em decorrência da maior produção de ácidos húmicos. Um exemplo internacionalmente conhecido é o do Rio Negro, afluente do Rio Amazonas, cujo nome faz referência à sua cor escura, causada pela presença de produtos de decomposição da vegetação e pigmentos de origem bacteriana (*Chromobacterium violaceum*).

A determinação da intensidade da cor da água é feita comparando-se a amostra com um padrão de cobalto-platina, sendo o resultado fornecido em unidades de cor, também chamadas uH (unidade Hazen). As águas naturais apresentam, em geral, intensidades de cor variando de 0 a 200 unidades. Valores inferiores a 10 unidades são

dificilmente perceptíveis. A cloração de águas coloridas com a finalidade de abastecimento doméstico pode gerar produtos potencialmente cancerígenos (trihalometanos), derivados da complexação do cloro com a matéria orgânica em solução.

Para efeito de caracterização de águas para abastecimento, distingue-se a cor aparente, na qual se consideram as partículas suspensas, da cor verdadeira. A determinação da segunda realiza-se após centrifugação da amostra. Para atender ao padrão de potabilidade, a água deve apresentar intensidade de cor aparente inferior a cinco unidades.

d) Turbidez

A turbidez pode ser definida como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido. A alteração à penetração da luz na água decorre da presença de material em suspensão, sendo expressa por meio de unidades de turbidez (também denominadas unidades de Jackson ou nefelométricas).

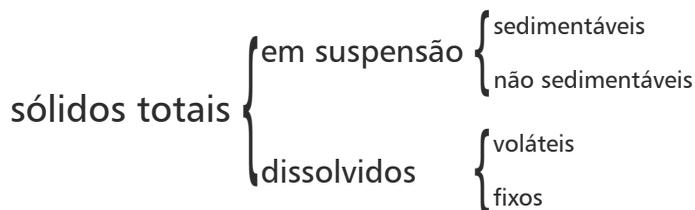
A turbidez dos corpos d'água é particularmente alta em regiões com solos erodíveis, onde a precipitação pluviométrica pode carrear partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo. Grande parte das águas de rios brasileiros é naturalmente turva em decorrência das características geológicas das bacias de drenagem, ocorrência de altos índices pluviométricos e uso de práticas agrícolas muitas vezes inadequadas. Ao contrário da cor, que é causada por substâncias dissolvidas, a turbidez é provocada por partículas em suspensão, sendo, portanto, reduzida por sedimentação. Em lagos e represas, onde a velocidade de escoamento da água é menor, a turbidez pode ser bastante baixa. Além da ocorrência de origem natural, a turbidez da água pode também ser causada por lançamentos de esgotos domésticos ou industriais.

A turbidez natural das águas está, geralmente, compreendida na faixa de 3 a 500 unidades. Para fins de potabilidade, a turbidez deve ser inferior a uma unidade. Tal restrição fundamenta-se na influência da turbidez nos processos usuais de desinfecção, atuando como *escudo* aos microorganismos patogênicos e assim minimizando a ação do desinfetante.

Um outro parâmetro diretamente associado à turbidez é a transparência da água, a qual é usada principalmente no caso de lagos e represas. A transparência é medida mergulhando-se na água um disco de aproximadamente 20 cm de diâmetro (disco de Secchi, em homenagem a seu inventor, um naturalista italiano) e anotando-se a profundidade de desaparecimento. Lagos turvos apresentam transparências reduzidas, da ordem de poucos centímetros até um metro, enquanto em lagos cristalinos a transparência pode atingir algumas dezenas de metros.

e) Sólidos

A presença de sólidos na água é comentada neste tópico relativo aos parâmetros físicos, muito embora os sólidos possam também estar associados a características químicas ou biológicas. Os sólidos presentes na água podem estar distribuídos da seguinte forma:



Sólidos em suspensão podem ser definidos como as partículas passíveis de retenção por processos de filtração. Sólidos dissolvidos são constituídos por partículas de diâmetro inferior a 10^{-3} μm e que permanecem em solução mesmo após a filtração.

A entrada de sólidos na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica (lançamento de lixo e esgotos). Muito embora os parâmetros turbidez e sólidos totais estejam associados, eles não são absolutamente equivalentes. Uma pedra, por exemplo, colocada em um copo de água limpa confere àquele meio uma elevada concentração de sólidos totais, mas sua turbidez pode ser praticamente nula. O padrão de potabilidade refere-se apenas aos sólidos totais dissolvidos (limite: 1000 mg/l), já que essa parcela reflete a influência de lançamento de esgotos, além de afetar a qualidade organoléptica da água.

f) Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da água indica sua capacidade de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. Quanto maior a concentração iônica da solução, maior é a oportunidade para a ação eletrolítica e, portanto, maior a capacidade em conduzir corrente elétrica. Muito embora não se possa esperar uma relação direta entre condutividade e concentração de sólidos totais dissolvidos, já que as águas naturais não são soluções simples, tal correlação é possível para águas de determinadas regiões onde exista a predominância bem definida de um determinado íon em solução.

A condutividade elétrica da água deve ser expressa em unidades de resistência (mho ou S) por unidade de comprimento (geralmente cm ou m). Até algum tempo atrás, a unidade mais usual para expressão da resistência elétrica da água era o *mho* (inverso de ohm), mas atualmente é recomendável a utilização da unidade “S” (Siemens). Enquanto as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

a) pH

O potencial hidrogênio (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido por meio da medição da presença de íons hidrogênio (H^+). É calculado em escala antilogarítmica, abrangendo a faixa de 0 a 14 (inferior a 7: condições ácidas; superior a 7: condições alcalinas). O valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de vários elementos.

As alterações de pH podem ter origem natural (dissolução de rochas, fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais). Em águas de abastecimento, baixos valores de pH podem contribuir para sua corrosividade e agressividade, enquanto valores elevados aumentam a possibilidade de incrustações. Para a adequada manutenção da vida aquática, o pH deve situar-se geralmente na faixa de 6 a 9. Existem, no entanto, várias exceções a essa recomendação, provocadas por influências naturais, como é o caso de rios de cores intensas, em decorrência da presença de ácidos húmicos provenientes da decomposição de vegetação. Nessa situação, o pH das águas é sempre ácido (valores de 4 a 6), como pode ser observado em alguns cursos d'água na planície amazônica. A acidificação das águas pode ser também um fenômeno derivado da poluição atmosférica, mediante complexação de gases poluentes com o vapor d'água, provocando o predomínio de precipitações ácidas. Podem também existir ambientes aquáticos naturalmente alcalinos em função da composição química de suas águas, como é o exemplo de alguns lagos africanos nos quais o pH chega a ultrapassar o valor de 10.

O intervalo de pH para águas de abastecimento é estabelecido pela Portaria nº 1469/2000 entre 6,5 e 9,5. Esse parâmetro objetiva minimizar os problemas de incrustação e corrosão das redes de distribuição.

b) Alcalinidade

A alcalinidade indica a quantidade de íons na água que reagem para neutralizar os íons hidrogênio. Constitui, portanto, uma medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos, servindo assim para expressar a capacidade de tamponamento da água, isto é, sua condição de resistir a mudanças do pH. Ambientes aquáticos com altos valores de alcalinidade podem, destarte, manter aproximadamente os mesmos teores de pH, mesmo com o recebimento de contribuições fortemente ácidas ou alcalinas.

Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-). Outros ânions, como cloretos, nitratos e sulfatos, não contribuem para a alcalinidade. A distribuição entre as três formas de alcalini-

dade na água (bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos) é função do seu pH: pH > 9,4 (hidróxidos e carbonatos); pH entre 8,3 e 9,4 (carbonatos e bicarbonatos); pH entre 4,4 e 8,3 (apenas bicarbonatos). Verifica-se assim que, na maior parte dos ambientes aquáticos, a alcalinidade deve-se exclusivamente à presença de bicarbonatos. Valores elevados de alcalinidade estão associados a processos de decomposição da matéria orgânica e à alta taxa respiratória de microorganismos, com liberação e dissolução do gás carbônico (CO₂) na água. A maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg/L de CaCO₃.

c) Acidez

A acidez, em contraposição à alcalinidade, mede a capacidade da água em resistir às mudanças de pH causadas pelas bases. Ela decorre, fundamentalmente, da presença de gás carbônico livre na água.

A origem da acidez tanto pode ser natural (CO₂ absorvido da atmosfera ou resultante da decomposição de matéria orgânica, presença de H₂S – gás sulfídrico) ou antropogênica (despejos industriais, passagem da água por minas abandonadas). De maneira semelhante à alcalinidade, a distribuição das formas de acidez também é função do pH da água: pH > 8,2 – CO₂ livre ausente; pH entre 4,5 e 8,2 → acidez carbônica; pH < 4,5 → acidez por ácidos minerais fortes, geralmente resultantes de despejos industriais. Águas com acidez mineral são desagradáveis ao paladar, sendo portanto desaconselhadas para abastecimento doméstico.

d) Dureza

A *dureza* indica a concentração de cátions multivalentes em solução na água. Os cátions mais frequentemente associados à dureza são os de cálcio e magnésio (Ca²⁺, Mg²⁺) e, em menor escala, ferro (Fe²⁺), manganês (Mn²⁺), estrôncio (Sr²⁺) e alumínio (Al³⁺).

A dureza pode ser classificada como *dureza carbonato* ou *dureza não carbonato*, dependendo do ânion com o qual ela está associada. A primeira corresponde à alcalinidade, estando portanto em condições de indicar a capacidade de tamponamento de uma amostra de água. A dureza não carbonato refere-se à associação com os demais ânions, à exceção do cálcio e do magnésio. A origem da dureza das águas pode ser natural (por exemplo, dissolução de rochas calcárias, ricas em cálcio e magnésio) ou antropogênica (lançamento de efluentes industriais).

A dureza da água é expressa em mg/L de equivalente em carbonato de cálcio (CaCO₃) e pode ser classificada em:

- mole ou branda: < 50 mg/L de CaCO₃;
- dureza moderada: entre 50 mg/L e 150 mg/L de CaCO₃;
- dura: entre 150 mg/L e 300 mg/L de CaCO₃; e
- muito dura: > 300 mg/L de CaCO₃.

Águas de elevada dureza reduzem a formação de espuma, o que implica um maior consumo de sabões e xampus, além de provocar incrustações nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores, em função da precipitação dos cátions em altas temperaturas. Existem evidências de que a ingestão de águas duras contribui para uma menor incidência de doenças cardiovasculares. Em corpos d'água de reduzida dureza, a biota é mais sensível à presença de substâncias tóxicas, já que a toxicidade é inversamente proporcional ao grau de dureza da água.

Para águas de abastecimento, o padrão de potabilidade estabelece o limite de 500 mg/L CaCO_3 . Valores dessa magnitude usualmente não são encontrados em águas superficiais no Brasil, podendo ocorrer, em menor monta, em aquíferos subterrâneos.

e) Oxigênio dissolvido

Trata-se de um dos parâmetros mais significativos para expressar a qualidade de um ambiente aquático. Conforme já comentado anteriormente, a dissolução de gases na água sofre a influência de distintos fatores ambientais (temperatura, pressão, salinidade).

As variações nos teores de oxigênio dissolvido estão associadas aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpos d'água. Para a manutenção da vida aquática aeróbia são necessários teores mínimos de oxigênio dissolvido de 2 mg/L a 5 mg/L, de acordo com o grau de exigência de cada organismo. A concentração de oxigênio disponível mínima necessária para a sobrevivência das espécies piscícolas é de 4 mg/L para a maioria dos peixes e de 5 mg/L para trutas. Em condições de anaerobiose (ausência de oxigênio dissolvido), os compostos químicos são encontrados na sua forma reduzida (isto é, não oxidada), a qual é geralmente solúvel no meio líquido, disponibilizando portanto as substâncias para assimilação pelos organismos que sobrevivem no ambiente. À medida que cresce a concentração de oxigênio dissolvido, os compostos vão-se precipitando, ficando armazenados no fundo dos corpos d'água.

f) Demandas química e bioquímica de oxigênio

Os parâmetros DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) são utilizados para indicar a presença de matéria orgânica na água. Sabe-se que a matéria orgânica é responsável pelo principal problema de poluição das águas, que é a redução na concentração de oxigênio dissolvido. Isso ocorre como conseqüência da atividade respiratória das bactérias para a estabilização da matéria orgânica. Portanto, a avaliação da presença de matéria orgânica na água pode ser feita pela medição do consumo de oxigênio. Os referidos parâmetros DBO e DQO indicam o consumo ou a demanda de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica contida na amostra de água. Essa demanda é referida convencionalmente a um período de cinco dias, já que a estabilização completa da matéria orgânica exige um tempo maior, e a uma temperatura de 20 °C.

A diferença entre DBO e DQO está no tipo de matéria orgânica estabilizada: enquanto a DBO se refere exclusivamente à matéria orgânica mineralizada por atividade dos microorganismos, a DQO engloba também a estabilização da matéria orgânica ocorrida por processos químicos. Assim sendo, o valor da DQO é sempre superior ao da DBO. Além do mais, a relação entre os valores de DQO e DBO indica a parcela de matéria orgânica que pode ser estabilizada por via biológica. Tanto a DBO quanto a DQO são expressas em mg/L. A concentração média da DBO – que é, entre os dois, o parâmetro normalmente mais utilizado – em esgotos domésticos é da ordem de 300 mg/L, o que indica que são necessários 300 miligramas de oxigênio para estabilizar, em um período de cinco dias e a 20 °C, a quantidade de matéria orgânica biodegradável contida em um (1) litro da amostra.

Alguns efluentes de indústrias que processam matéria orgânica (laticínios, cervejarias, frigoríficos) apresentam valores de DBO na ordem de grandeza de dezenas ou mesmo centenas de gramas por litro. Em ambientes naturais não poluídos, a concentração de DBO é baixa (1 mg/L a 10 mg/L), podendo atingir valores bem mais elevados em corpos d'água sujeitos à poluição orgânica, esta em geral decorrente do recebimento de esgotos domésticos ou de criatórios de animais.

g) Série nitrogenada

No meio aquático, o elemento químico nitrogênio pode ser encontrado sob diversas formas:

- *nitrogênio molecular* (N_2): nessa forma, o nitrogênio está, continuamente, sujeito a perdas para a atmosfera. Algumas espécies de algas conseguem fixar o nitrogênio atmosférico, o que permite seu crescimento mesmo quando as outras formas de nitrogênio não estão disponíveis na massa líquida;
- *nitrogênio orgânico*: constituído por nitrogênio na forma dissolvida (compostos nitrogenados orgânicos) ou particulada (biomassa de organismos);
- *íon amônio* (NH_4^+): forma reduzida do nitrogênio, sendo encontrada em condições de anaerobiose; serve ainda como indicador do lançamento de esgotos de elevada carga orgânica;
- *íon nitrito* (NO_2^-): forma intermediária do processo de oxidação, apresentando uma forte instabilidade no meio aquoso; e
- *íon nitrato* (NO_3^-): forma oxidada de nitrogênio, encontrada em condições de aerobiose.

O ciclo do nitrogênio conta com a intensa participação de bactérias, tanto no processo de nitrificação (oxidação bacteriana do amônio a nitrito e deste a nitrato) quanto no de desnitrificação (redução bacteriana do nitrato ao gás nitrogênio). O nitrogênio é um dos mais importantes nutrientes para o crescimento de algas e macrófitas (plantas aquáticas superiores), sendo facilmente assimilável nas formas

de amônio e nitrato. Em condições fortemente alcalinas, ocorre o predomínio da amônia livre (ou não ionizável), que é bastante tóxica a vários organismos aquáticos. Já o nitrato, em concentrações elevadas, está associado à doença da metaemoglobinemia, que dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea de bebês. Em adultos, a atividade metabólica interna impede a conversão do nitrato em nitrito, que é o agente responsável por essa enfermidade.

Além de ser fortemente encontrado na natureza, na forma de proteínas e outros compostos orgânicos, o nitrogênio tem uma significativa origem antropogênica, principalmente em decorrência do lançamento, em corpos d'água, de despejos domésticos, industriais e de criatórios de animais, assim como de fertilizantes.

h) Fósforo

O fósforo é, em razão da sua baixa disponibilidade em regiões de clima tropical, o nutriente mais importante para o crescimento de plantas aquáticas. Quando esse crescimento ocorre em excesso, prejudicando os usos da água, caracteriza-se o fenômeno conhecido como eutrofização. No ambiente aquático, o fósforo pode ser encontrado sob várias formas:

- orgânico: solúvel (matéria orgânica dissolvida) ou particulado (biomassa de microorganismos);
- inorgânico: solúvel (sais de fósforo) ou particulado (compostos minerais, como apatita)

A fração mais significativa no estudo do fósforo é a *inorgânica solúvel*, que pode ser diretamente assimilada para o crescimento de algas e macrófitas. A presença de fósforo na água está relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, pesticidas). Em águas naturais não poluídas, as concentrações de fósforo situam-se na faixa de 0,01 mg/L a 0,05 mg/L.

i) Ferro e manganês

Os elementos ferro e manganês, por apresentarem comportamento químico semelhante, podem ter seus efeitos na qualidade da água abordados conjuntamente. Muito embora esses elementos não apresentem inconvenientes à saúde nas concentrações normalmente encontradas nas águas naturais, eles podem provocar problemas de ordem estética (manchas em roupas ou em vasos sanitários) ou prejudicar determinados usos industriais da água.

Dessa forma, o padrão de potabilidade das águas determina valores máximos de 0,3 mg/L para o ferro e 0,1 mg/L para o manganês. Deve ser destacado que as águas de muitas regiões brasileiras, como é o caso de Minas Gerais, por exemplo,

em função das características geoquímicas das bacias de drenagem, apresentam naturalmente teores elevados de ferro e manganês, que podem até mesmo superar os limites fixados pelo padrão de potabilidade. Altas concentrações desses elementos são também encontradas em situações de ausência de oxigênio dissolvido, como, por exemplo, em águas subterrâneas ou nas camadas mais profundas dos lagos. Em condições de anaerobiose, o ferro e o manganês apresentam-se em sua forma solúvel (Fe^{2+} e Mn^{2+}), voltando a precipitar-se quando em contato com o oxigênio (oxidação a Fe^{3+} e Mn^{4+}).

j) Micropoluentes

Existem determinados elementos e compostos químicos que, mesmo em baixas concentrações, conferem à água características de toxicidade, tornando-a assim imprópria para grande parte dos usos. Tais substâncias são denominadas *micropoluentes*. O maior destaque nesse caso é dado aos metais pesados (por exemplo, arsênio, cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, níquel, prata, zinco), frequentemente encontrados em águas residuárias industriais. Além de ser tóxicos, esses metais ainda se acumulam no ambiente aquático, aumentando sua concentração na biomassa de organismos à medida que se evolui na cadeia alimentar (fenômeno de *biomagnificação*). Outros micropoluentes inorgânicos que apresentam riscos à saúde pública, conforme sua concentração, são os cianetos e o flúor. Entre os compostos orgânicos tóxicos destacam-se os defensivos agrícolas, alguns detergentes e uma ampla gama de novos produtos químicos elaborados artificialmente para uso industrial (*compostos organossintéticos*). Além de sua difícil biodegradabilidade, muitos desses compostos apresentam características carcinogênicas (geração de câncer), mutagênicas (influências nas células reprodutoras) e até mesmo teratogênicas (geração de fetos com graves deficiências físicas).

CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

a) Microorganismos de importância sanitária

O papel dos microorganismos no ambiente aquático está fundamentalmente vinculado à transformação da matéria dentro do ciclo dos diversos elementos. Tais processos são realizados com o objetivo de fornecimento de energia para a sobrevivência dos microorganismos. Um dos processos mais significativos é a *decomposição da matéria orgânica*, realizada principalmente por bactérias. Esse processo é vital para o ambiente aquático, na medida em que a matéria orgânica que ali chega é decomposta em substâncias mais simples pela ação das bactérias. Como produto final, obtêm-se compostos minerais inorgânicos, como, por exemplo, nitratos, fosfatos e sulfatos que, por sua vez, são reassimilados por outros organismos aquáticos. O processo de decomposição, também designado como estabilização ou

mineralização, é um exemplo do papel benéfico cumprido pelos microorganismos. Ademais, existem algumas poucas espécies que são capazes de transmitir enfermidades, gerando, portanto, preocupações de ordem sanitária.

O problema de transmissão de enfermidades é particularmente importante no caso de águas de abastecimento, as quais devem passar por um tratamento adequado, incluindo desinfecção. No entanto, a determinação individual da eventual presença de cada microorganismo patogênico em uma amostra de água não pode ser feita rotineiramente, já que envolveria a preparação de diferentes meios de cultura, tornando o procedimento complexo e financeiramente inviável. Na prática, o que é feito é a utilização de organismos facilmente identificáveis, cuja ocorrência na água está correlacionada à presença de organismos patogênicos, ou seja, são usados os chamados *organismos indicadores*. O mais importante organismo indicador são as bactérias coliformes, apresentadas a seguir.

b) Bactérias coliformes

As bactérias do grupo coliforme habitam normalmente o intestino de homens e de animais, servindo portanto como indicadoras da contaminação de uma amostra de água por fezes. Como a maior parte das doenças associadas com a água é transmitida por via fecal, isto é, os organismos patogênicos, ao serem eliminados pelas fezes, atingem o ambiente aquático, podendo vir a contaminar as pessoas que se abastecem de forma inadequada dessa água, conclui-se que as bactérias coliformes podem ser usadas como indicadoras dessa contaminação. Quanto maior a população de coliformes em uma amostra de água, maior é a chance de que haja contaminação por organismos patogênicos.

Uma grande vantagem no uso de bactérias coliformes como indicadoras de contaminação fecal é sua presença em grandes quantidades nos esgotos domésticos, já que cada pessoa elimina bilhões dessas bactérias diariamente. Dessa forma, havendo contaminação da água por esgotos domésticos, é muito grande a chance de se encontrar coliformes em qualquer parte e em qualquer amostra de água, o que não acontece, por exemplo, no caso de metais pesados, que se diluem bastante na massa líquida e muitas vezes não são detectados nas análises de laboratório. Além disso, a identificação de coliformes é feita facilmente, já que as bactérias pertencentes a esse grupo fermentam a lactose do meio de cultura, produzindo gases que são observados nos tubos de ensaio.

c) Comunidades hidrobiológicas

As principais comunidades que habitam o ambiente aquático são:

- **Plâncton:** organismos sem movimentação própria, que vivem em suspensão na água, podendo ser agrupados em *fitoplâncton* (algas, bactérias) e *zooplâncton*.

ton (protozoários, rotíferos, crustáceos). A comunidade planctônica exerce papel fundamental na ecologia aquática, tanto na construção da cadeia alimentar quanto na condução de processos essenciais, como a produção de oxigênio e a decomposição da matéria orgânica.

- **Bentos:** é a comunidade que habita o fundo de rios e lagos, sendo constituída principalmente por larvas de insetos e por organismos anelídeos, semelhantes às minhocas. A atividade da comunidade bentônica influi nos processos de solubilização dos materiais depositados no fundo de ambientes aquáticos. Além disso, pelo fato de serem muito sensíveis e apresentarem reduzida locomoção e fácil visualização, os organismos bentônicos são considerados excelentes indicadores da qualidade da água.
- **Nécton:** é a comunidade de organismos que apresenta movimentação própria, sendo representada principalmente pelos peixes. Além do seu significado ecológico, situando-se no topo da cadeia alimentar, os peixes servem como fonte de proteínas para a população e podem atuar como indicadores da qualidade da água.

INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A avaliação da qualidade de uma água deve ser feita de forma integrada, considerando-se o conjunto das informações de caráter físico, químico e biológico. Os diversos parâmetros aqui apresentados constituem instrumentos de avaliação que podem ser agrupados para contemplar as características mais relevantes da qualidade das águas naturais, como, por exemplo:

- grau de mineralização: obtido por meio da análise da condutividade, alcalinidade, dureza;
- poluição orgânica: oxigênio dissolvido, DBO, DQO e amônio;
- presença de nutrientes: nitrogênio e fósforo;
- presença de poluentes significativos: metais pesados, detergentes, pesticidas e compostos organossintéticos;
- contaminação fecal: bactérias coliformes;
- aspecto físico: série de sólidos, cor e turbidez;
- padrão de circulação do corpo d'água: temperatura e oxigênio dissolvido.

3.4 POLUIÇÃO DE MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O termo “poluição” provém do verbo latino *polluere*, que significa sujar. Em um conceito mais amplo, a poluição indica a ocorrência de alterações prejudiciais no meio, seja ele água, ar ou solo. Fala-se então de uma poluição aquática, atmosférica ou do solo. O fato de uma alteração ser prejudicial ou não está, por sua vez,

diretamente ligado ao uso que se faz do ambiente. No caso do meio hídrico, a poluição das águas pode ser conceituada como a ocorrência de fenômenos (adição de substâncias ou de formas de energia, modificações no meio) que direta ou indiretamente alteram a natureza de um corpo d'água e assim prejudicam os usos que dele são feitos. É importante destacar que o prejuízo se refere aqui não apenas ao ser humano, mas também à biota aquática, às atividades sociais e econômicas em geral, aos recursos naturais e aos acervos históricos, culturais e paisagísticos.

A poluição das águas pode ocorrer de três formas:

- introdução de substâncias artificiais e estranhas ao meio, como, por exemplo, o lançamento de agrotóxicos em rios ou a contaminação por organismos patogênicos;
- introdução de substâncias naturais e estranhas ao meio, como o aporte de sedimentos às águas de um lago, reduzindo seu volume útil; e
- alteração na proporção ou nas características dos elementos constituintes do próprio meio, como, por exemplo, a diminuição do teor de oxigênio dissolvido nas águas de um rio em decorrência da presença de matéria orgânica.

Os rios e os lagos que não sofreram influências significativas de atividades humanas e que mantêm aproximadamente as mesmas características naturais são chamados de *prístinos*. Atualmente existem no nosso planeta relativamente poucos exemplos de ambientes aquáticos prístinos, ou seja, praticamente intocados pelo homem.

Um conceito moderno para se designar a qualidade de um ecossistema aquático é o que se refere à *saúde do ambiente*. Um rio ou um lago saudável é aquele que apresenta determinadas características ecológicas bem desenvolvidas, como, por exemplo, uma comunidade diversificada, com forte interação entre os organismos, cadeia alimentar extensa, ciclagem completa dos elementos (o material que é eliminado por um organismo é imediatamente assimilado por outro) e um equilíbrio nas atividades de produção e respiração. A poluição de um ambiente aquático é manifestada por meio de um prejuízo ou limitação dessas características ecológicas.

A origem da poluição pode ser associada a duas causas primárias: o forte crescimento populacional e a expansão das atividades industriais. O intenso crescimento populacional observado nas últimas décadas tem conduzido ao incremento na geração de esgotos e a maior demanda de alimentos, o que por sua vez implica um crescente consumo de agrotóxicos e fertilizantes, agentes poluidores de grande magnitude. Essa explosão populacional ocorre fundamentalmente nos países mais pobres, que não dispõem de infra-estrutura adequada de esgotamento sanitário e de controle de poluição, o que conduz ao estabelecimento de condições negativas para o uso dos ambientes aquáticos. A expansão das atividades industriais, também intimamente relacionada ao crescimento populacional, vem promovendo a transformação de matérias-primas em bens de consumo em escala cada vez maior, gerando, como consequência, grande quantidade de rejeitos, cujo destino final frequentemente é o ambiente aquático.

A poluição de um corpo d'água está fortemente vinculada ao uso que dele se faz. Assim, por exemplo, a presença de nutrientes na água é desejável para fins de aquicultura, mas extremamente prejudicial no caso de retirada de água de lagos ou de represas para abastecimento (em razão da eutrofização, ver próximo item). Uma água rica em algas e plantas pode ser usada para irrigação, mas é inconveniente para geração de energia elétrica (entupimento de turbinas) ou mesmo para navegação ou recreação. Uma água corrosiva pode servir para recreação, mas é inadequada para abastecimento industrial. Um ambiente aquático com altas densidades de patogênicos não pode ser utilizado para recreação, mas é facultado seu uso para transporte. Tais exemplos evidenciam que a caracterização da água como poluída ou não deve estar associada ao uso que dela se pretende fazer.

Os principais agentes poluidores da água são:

- matéria orgânica biodegradável (esgotos, por exemplo), provocando consumo de oxigênio, mortandade de peixes, etc.;
- sólidos em suspensão, acarretando problemas estéticos, depósitos de lodo, proteção a organismos patogênicos, adsorção de poluentes (estes ficam aderidos à superfície dos sólidos suspensos);
- nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, conduzindo ao crescimento excessivo de plantas, cuja posterior decomposição irá prejudicar o balanço de oxigênio do corpo d'água;
- patogênicos, provocando o surgimento de diversas enfermidades de veiculação hídrica;
- matéria orgânica não biodegradável (pesticidas, detergentes), levando à ocorrência de maus odores e de condições tóxicas;
- metais pesados, também produzindo toxicidade e prejudicando o desenvolvimento da vida aquática.

A poluição dos corpos d'água pode ocorrer de forma *pontual*, isto é, concentrada no espaço, como, por exemplo, descarga de canalizações de esgotos em um rio, ou de forma *difusa*, na qual os poluentes chegam ao corpo d'água distribuídos ao longo de sua extensão, como é o caso da poluição por fertilizantes e agrotóxicos usados no cultivo agrícola.

3.5 PRINCIPAIS FENÔMENOS POLUIDORES DA ÁGUA

Após a conceituação da poluição das águas, elaborada no item anterior, apresenta-se aqui a descrição dos principais fenômenos causadores da poluição aquática: contaminação, assoreamento, eutrofização, acidificação e alterações hidrológicas.

CONTAMINAÇÃO

O fenômeno da contaminação consiste na *introdução de substâncias* que provocam alterações prejudiciais ao uso do ambiente aquático, caracterizando assim

a ocorrência da poluição. Os agentes contaminantes de maior importância são a matéria orgânica, os organismos patogênicos, os compostos organossintéticos e os metais pesados.

A contaminação por matéria orgânica tem sua principal origem nos esgotos domésticos e nas águas residuárias de indústrias que processam matéria orgânica, a exemplo de indústrias de alimentos, laticínios, matadouros, frigoríficos, cervejarias, etc. A concentração de matéria orgânica é mais convenientemente expressa por meio da DBO (demanda bioquímica de oxigênio). O lançamento, em corpos d'água, de esgotos que contenham uma elevada DBO provoca um forte crescimento de bactérias cuja função é estabilizar ou decompor essa matéria orgânica. Esse processo inicia-se com a atuação das bactérias aeróbias, que necessitam respirar o oxigênio dissolvido na água para sua sobrevivência. Quanto maior a quantidade de matéria orgânica, maior será o crescimento das bactérias e mais intensa sua atividade decompositora, podendo levar a graves reduções na massa de oxigênio dissolvido no corpo d'água ou até mesmo ao seu desaparecimento (condição de anaerobiose). Na verdade, o problema da contaminação por matéria orgânica não está no contaminante em si, mas na consequência da sua decomposição, afetando negativamente o balanço de oxigênio do corpo d'água. A redução nos teores de oxigênio dissolvido pode provocar mortalidade dos organismos aeróbios (peixes, moluscos, crustáceos e vários microorganismos), solubilização de diversos compostos químicos de presença indesejável, aumento na toxicidade de vários elementos, geração de maus odores e inconvenientes estéticos.

O principal objetivo do tratamento de esgotos domésticos e industriais orgânicos é exatamente reduzir a DBO até uma concentração tal que não cause problemas poluidores no corpo d'água receptor. Cada ambiente hídrico possui uma determinada capacidade assimiladora, isto é, ele pode receber uma certa carga de esgotos (ou seja, de DBO) sem atingir condições de poluição. Nesses casos, a massa de oxigênio disponível no meio líquido é suficiente para permitir a respiração de todas as bactérias aeróbias que irão decompor a matéria orgânica ali aportada. O cálculo da capacidade assimiladora de um rio ou de um lago pode ser feito por meio de modelos, utilizando-se coeficientes que refletem a produção de oxigênio (reaeração atmosférica, fotossíntese) e o seu consumo (respiração dos organismos e redução química).

Considerando-se o fato de que todos os corpos d'água ecologicamente saudáveis possuem uma determinada capacidade assimiladora de matéria orgânica, verifica-se que o lançamento de esgotos domésticos pode, em muitos casos, ser feito sem prejuízos ao corpo d'água. É o que ocorre, por exemplo, em pequenas cidades situadas às margens de rios com grandes vazões. Em tal situação, a massa líquida pode receber a carga de matéria orgânica sem sofrer quaisquer alterações prejudiciais ao seu uso. Essa capacidade do ambiente aquático de restabelecer seu equilíbrio após impactos decorrentes do lançamento de cargas poluidoras recebe o nome de *autodepuração*. Na autodepuração atuam processos físicos (sedimentação da matéria orgânica e reaeração atmosférica), químicos e principalmente

biológicos (assimilação e fotossíntese). Em um curso d'água que recebe esgotos, podem ser identificadas quatro zonas de autodepuração: zona de degradação, zona de decomposição ativa, zona de recuperação e zona de águas limpas. Cada uma dessas zonas apresenta características próprias, sendo habitadas por distintas comunidades aquáticas.

Outros agentes contaminantes de grande impacto em nosso país são os organismos patogênicos, isto é, transmissores de enfermidades, os quais ainda predominam de forma alarmante no Brasil, em decorrência da precária situação sanitária da maioria dos centros urbanos. Em países mais desenvolvidos, onde a maioria absoluta da população está isenta dessas enfermidades, a questão da contaminação por organismos patogênicos não é relevante. Como já visto, o principal indicador da presença desses organismos são as bactérias coliformes, que habitam o intestino dos seres humanos.

Os compostos organossintéticos formam outro grupo de contaminantes que trazem bastante preocupação na poluição dos corpos d'água. Como eles são sintetizados artificialmente, sua biodegradabilidade é muito baixa, já que os organismos decompositores atuam de forma eficiente apenas na degradação de compostos orgânicos sintetizados por meio de processos naturais. Os principais constituintes dos compostos organossintéticos são os *agrotóxicos*, cujos efeitos no sistema nervoso central humano são bastante fortes e deletérios à saúde. A contaminação de um corpo d'água por agrotóxicos ocorre principalmente de forma difusa, o que evidentemente dificulta a adoção de medidas que impeçam sua chegada aos rios e lagos. A única forma de combate ao problema é por meio de uma racionalização no uso de agrotóxicos, envolvendo campanhas esclarecedoras e utilização de mecanismos institucionais e legais para limitação de seu emprego.

Os metais pesados formam o último grupo de contaminantes de grande importância na poluição das águas. Esses contaminantes são originários de distintos processamentos industriais, do uso de fertilizantes e de agrotóxicos. Porém, tendo em vista que em lançamentos industriais sua ocorrência é mais concentrada e localizada, a presença de metais pesados torna-se mais significativa e preocupante nos esgotos provenientes das indústrias. Os efeitos dos metais pesados sobre a biota aquática e sobre os seres humanos são bastante variados, a depender do tipo de metal e da sua concentração no meio. Curiosamente, alguns desses metais (por exemplo, zinco, cobre, níquel) são essenciais ao metabolismo humano, devendo ser ingeridos em teores mínimos (chamados *concentrações-traço*) por meio de alimentos ou da água potável. No entanto, a partir de determinadas concentrações, estes e outros metais pesados passam a ser altamente tóxicos, trazendo graves prejuízos à comunidade aquática e às pessoas e animais que se utilizam de águas contaminadas. Tais metais interferem ainda de forma prejudicial nos processos biológicos de tratamento de esgotos, devendo por isso ser parcialmente removidos, por meio de pré-tratamento, antes dos lançamentos de esgotos industriais na rede pública coletora.

ASSOREAMENTO

O assoreamento consiste no aporte de material mineral (areia, silte, argila) a um corpo d'água, diminuindo sua profundidade e seu volume útil e assim prejudicando diversos usos da água. A principal origem do assoreamento está relacionada a movimentos de terra (abertura de loteamentos, construção de rodovias e exposição do solo, sem proteção, em áreas agrícolas) na bacia de drenagem do rio ou do lago. Quando ocorrem as chuvas, esse material é então carregado pelas águas do escoamento superficial até o corpo d'água mais próximo. Em regiões de clima tropical, como é o caso do Brasil, as precipitações pluviométricas são, em geral, de grande intensidade (intensidade = quantidade de chuva por unidade de tempo). Dessa forma, a remoção da cobertura vegetal em áreas de solos facilmente erodíveis reforça, evidentemente, a preocupação com a erosão e o conseqüente assoreamento de corpos hídricos.

O problema do assoreamento tem atingido maior proporção em lagos e represas situados em centros urbanos, onde o elevado adensamento populacional favorece a disseminação de processos erosivos. Além da redução no volume do corpo d'água, o fenômeno do assoreamento também afeta o componente estético, provocando a formação gradual e muitas vezes acelerada de extensas línguas de terra que vão ocupando e destruindo o espelho d'água. Um outro aspecto negativo refere-se à eliminação parcial da *comunidade bentônica*, aquela que habita o fundo dos rios e dos lagos e que exerce importante papel na cadeia alimentar e na regulação ecológica do corpo d'água.

EUTROFIZAÇÃO

De todos os fenômenos poluidores da água, a eutrofização é aquele que apresenta as mais complexas características, em função de sua base essencialmente biológica. O conceito de eutrofização relaciona-se com uma superfertilização do ambiente aquático, em decorrência da presença de nutrientes. Etimologicamente o termo *eutrófico* significa “muito alimentado” ou “alimentado em excesso”. A eutrofização é, portanto, o fenômeno que transforma um corpo d'água em um ambiente bastante fertilizado ou bastante alimentado, o que implica um crescimento excessivo de plantas aquáticas. Em razão da presença de nutrientes em excesso, os organismos vegetais encontram condições favoráveis ao seu crescimento, o qual pode atingir proporções intensas, caracterizando-se, assim, o estabelecimento da eutrofização.

Os principais nutrientes que provocam o crescimento excessivo das plantas aquáticas são o *nitrogênio* e o *fósforo*. Em alguns casos, a disponibilidade de nutrientes é tão grande que os organismos vegetais chegam a cobrir completamente o espelho d'água de lagos e represas. São nesses ambientes que a eutrofização ocorre com maior intensidade, principalmente em função do elevado período de residência da água, o qual proporciona tempo suficiente para o crescimento das plantas

aquáticas, notadamente algas e macrófitas (plantas aquáticas superiores). Em rios, a eutrofização é menos freqüente em virtude das altas velocidades (isto é, baixos tempos de residência da água) e da elevada turbidez, que constituem condições desfavoráveis ao crescimento de plantas aquáticas. É interessante observar que, na verdade, o fenômeno poluidor propriamente dito não é a eutrofização em si, mas sim a conseqüência do seu estabelecimento. O crescimento exagerado da vegetação aquática faz com que, após sua morte, sejam demandadas grandes quantidades de oxigênio para sua decomposição. É exatamente este o problema principal da eutrofização, ou seja, uma influência negativa no balanço de oxigênio em conseqüência da decomposição da vegetação aquática que cresceu exageradamente em virtude da presença de nutrientes em excesso.

Além de prejuízos ao balanço de oxigênio, a eutrofização causa uma série de inconvenientes, tais como geração de maus odores, proliferação de mosquitos e insetos (cujas larvas encontram condições favoráveis de desenvolvimento nas folhas das plantas aquáticas), mortalidade de peixes, solubilização de compostos diversos na região do fundo do corpo d'água (em decorrência das condições de acidez, proporcionadas pela anaerobiose), prejuízos à navegação e recreação, etc. Particularmente graves são os problemas causados pelas algas em águas de abastecimento. Muitas das algas que se desenvolvem em lagos e em represas eutrofizadas são tóxicas tanto ao homem quanto aos animais, além de conferirem à água sabor e odor repugnantes.

Os compostos nutrientes, cuja presença no corpo d'água dá início ao processo da eutrofização, são originários principalmente dos esgotos domésticos e de criatórios de animais. As concentrações médias de nitrogênio total nas águas residuárias domésticas e de granjas suínícolas situam-se, respectivamente, nas faixas de 35 mg/L a 70 mg/L e 1200 mg/L a 2400 mg/L, enquanto os valores para o fósforo oscilam entre 10 mg/L e 20 mg/L e 1200 mg/L a 1800 mg/L. Nesse aspecto, é importante destacar o conceito de nutriente limitante, isto é, aquele que, sendo essencial para o crescimento de determinada população, está presente na menor concentração relativa à demanda do organismo. Sabe-se que a demanda das algas com relação a nitrogênio e fósforo é próxima do valor $N/P = 10$, que corresponde à constituição de sua biomassa. Se em um determinado corpo d'água a relação N/P for superior a 10, o fósforo atuará como nutriente limitante, já que ele estará presente em concentrações inferiores às demandadas pelos organismos. Nesse caso, não haveria um crescimento de algas em razão da insuficiência de fósforo na massa d'água. Quando N/P é inferior a 10, o nitrogênio assume o papel de nutriente limitante. No entanto, se houver uma elevação da concentração do nutriente limitante, ocorrerá um crescimento populacional, com essa situação persistindo até o ponto em que a concentração desse nutriente passe a ser tão elevada no meio que, gradativamente, um outro nutriente vai assumindo o papel de limitante, por não se apresentar em concentrações suficientes para suprir os elevados requisitos da população formada. Essas considerações são relevantes quando se trata de coibir o crescimento de algas para se reduzir o impacto da eutrofização. Nesse caso, as atenções devem ser dirigidas para impedir a entrada do nutriente

limitante no corpo d'água, seja mediante o tratamento de esgotos, seja por meio de canalizações interceptoras que colem as águas residuárias antes de sua chegada ao corpo d'água. Ao se reduzir ou eliminar o nutriente limitante, o crescimento dos organismos vegetais será interrompido, mesmo que haja farta disponibilidade de outros nutrientes essenciais.

Além dos esgotos domésticos e de criatórios de animais, outras fontes contribuem para o aporte de nitrogênio e fósforo aos corpos d'água: drenagem pluvial urbana, determinadas águas residuárias industriais, fertilizantes, detergentes e alguns agrotóxicos. Existe ainda uma eutrofização natural, de evolução muito mais lenta, provocada pela chegada de nutrientes originários do solo e da vegetação.

A avaliação do estágio de eutrofização em que se encontra um determinado corpo d'água é feita mediante o estudo do seu grau de trofia. Por *trofia* entende-se a intensidade da produção primária (fotossíntese). Quanto maior a população de plantas aquáticas, maior a atividade fotossintética e conseqüentemente mais elevado o grau de trofia. Usualmente, classificam-se os ambientes aquáticos segundo três graus de trofia:

- ambientes oligotróficos (pouco produtivos);
- ambientes mesotróficos (medianamente produtivos);
- ambientes eutróficos (muito produtivos).

Existem várias outras classificações tróficas, que incluem por exemplo variações desde ultra-oligotrófico até hipereutrófico. Alguns parâmetros são freqüentemente utilizados para subsidiar a avaliação do grau de trofia, sendo os mais comuns a concentração de *clorofila* (pigmento verde presente nas plantas), a *transparência* da água e as concentrações de *nitrogênio* e *fósforo*. No entanto, deve ser ressaltado que quase todas as classificações tróficas provêm de estudos realizados em corpos d'água de regiões temperadas, não sendo, portanto, conveniente a sua adaptação a climas tropicais. Em regiões de clima quente, o metabolismo aquático é muito mais acelerado, o que conduz a uma maior resistência dos corpos d'água perante o fenômeno da eutrofização.

ACIDIFICAÇÃO

A acidificação de ambientes aquáticos consiste no forte abaixamento do pH do meio, trazendo prejuízos à biota aquática e a alguns usos da água. A redução de pH no corpo d'água pode ter origem na precipitação pluviométrica com baixos valores de pH, fenômeno este conhecido como *chuva ácida*. A chuva ácida, por sua vez, é decorrente da poluição atmosférica, principalmente em grandes centros urbanos, particularmente pelo lançamento de gases formados por compostos de enxofre e de nitrogênio. Esses gases, bastante freqüentes em regiões industriais, complexam-se com o vapor d'água presente na atmosfera, o que leva à formação de ácidos, notadamente o ácido sulfúrico e o ácido nítrico.

O fenômeno da acidificação de rios e lagos é uma das maiores preocupações ambientais em países altamente desenvolvidos, nos quais a ocorrência dos outros fenômenos poluidores comentados neste item (contaminação, assoreamento e eutrofização) está quase que totalmente sob controle. Muitas vezes a chuva ácida que se precipita sobre determinada região tem origem na poluição atmosférica ocorrida em outra parte ou até mesmo em outro país. É o que acontece por exemplo na Escandinávia, que recebe a poluição atmosférica proveniente de países como Alemanha, Polônia, Holanda, Bélgica, ou também no Canadá, receptor de efluentes atmosféricos gerados nos EUA.

O abaixamento do pH proporciona condições para redução drástica da diversidade da biota aquática, afetando gravemente a cadeia alimentar e alterando, de forma negativa, a ecologia aquática. Vários usos da água são também prejudicados, com destaque para abastecimento, aquicultura e geração de energia elétrica (corrosão em turbinas). Curiosamente, a recreação pode ser exercida em águas fortemente ácidas, já que nossa pele não sofre influências negativas, principalmente pelo fato de que o próprio suor humano já é ácido. Cuidados devem ser tomados apenas com as mucosas e com a abertura dos olhos dentro da água. Deve-se ressaltar que a água de chuva, em condições de equilíbrio químico, apresenta, naturalmente, um pH ácido (em torno de 5,6). No entanto, o fenômeno da acidificação de corpos d'água pode levar à obtenção de teores fortemente ácidos, da ordem de 3 a 4 unidades de pH. É conveniente recordar que o pH é expresso em escala logarítmica, o que vale dizer que uma água com pH 3 é dez vezes mais ácida que outra com pH 4.

Estudos desenvolvidos no Canadá, mediante análise de organismos fossilizados no sedimento de lagos, revelam que muitos corpos d'água já eram ácidos há centenas de anos, portanto, sem sofrer nenhuma influência de poluentes industriais. Essa conclusão baseia-se pela prevalência de determinados grupos de algas no sedimento, os quais possuem uma carapaça de sílica e são habitantes típicos de ambientes aquáticos ácidos.

ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS

Este último fenômeno poluidor é caracterizado fundamentalmente pela retirada de água de rios, em geral para fins de irrigação, provocando prejuízos à utilização da água na região de jusante. Existem exemplos de rios que sofrem uma redução tão grande de vazão que chegam praticamente a secar durante a maior parte do ano. Essas alterações hidrológicas, além de afetar gravemente o aspecto da quantidade de água, também apresentam influências negativas sobre a qualidade, em decorrência do aumento das concentrações graças à diminuição da capacidade diluidora.

O exemplo de alteração hidrológica mais conhecido internacionalmente é o do *Lago Aral*, situado nas atuais repúblicas do Usbequistão e Casaquistão (Ásia Central), às vezes também chamado Mar de Aral, em virtude de sua grande extensão e à característica salina de suas águas. Esse lago vem gradativamente sofrendo uma

forte redução na área de seu espelho d'água, em função da intensa retirada de água de seus dois rios formadores (Rios Amu e Syr) para irrigação de culturas de algodão. Atualmente existem embarcações encalhadas a 120 km do início do atual lago, evidenciando a gravidade e a intensidade dessa alteração hidrológica.

3.6 PROBLEMAS CAUSADOS POR ORGANISMOS EM MANANCIAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

DOENÇAS DE TRANSMISSÃO HÍDRICA

A maior parte das enfermidades transmitidas para o ser humano é causada por microorganismos, particularmente *vírus*, *bactérias*, *protozoários* e *helmintos* (*vermes intestinais*). Entre as enfermidades relacionadas com a água destacam-se aquelas transmitidas pela ingestão de água contaminada, denominadas portanto *enfermidades de veiculação hídrica*. A ocorrência desse tipo de doença pode ser minimizada ou até mesmo evitada mediante a adoção de práticas adequadas de saneamento, como, por exemplo, coleta e tratamento de esgotos domésticos e tratamento de águas de abastecimento. Outro grupo de enfermidades está associado com a falta de água e as conseqüentes limitações na higiene pessoal. Embora não sejam transmitidas pela água, tais enfermidades relacionam-se com as condições de abastecimento de água. Existem ainda doenças, especialmente verminoses, cuja ocorrência está ligada ao meio hídrico na medida em que uma parte do ciclo de vida do agente infeccioso passa-se no ambiente aquático. Finalmente merecem destaque as enfermidades transmitidas por vetores que se relacionam com a água, principalmente insetos que nascem ou que picam dentro ou próximo de corpos d'água. A tabela 3.2 apresenta uma síntese das principais doenças relacionadas com a água.

Tabela 3.2 – Doenças relacionadas com a água

GRUPO DE DOENÇAS	FORMAS DE TRANSMISSÃO	PRINCIPAIS DOENÇAS	FORMAS DE PREVENÇÃO
Transmitidas pela via feco-oral (alimentos contaminados por fezes)	O organismo patogênico (agente causador de doença) é ingerido	1. Diarréias e disenterias, como a cólera e a giardíase 2. Febre tifóide e paratífóide 3. Leptospirose 4. Amebíase 5. Hepatite infecciosa 6. Ascaridíase (lombriga)	1. Proteger e tratar as águas de abastecimento e evitar uso de fontes contaminadas 2. Fornecer água em quantidade adequada e promover a higiene pessoal, doméstica e dos alimentos
Controladas pela limpeza com a água (associadas ao abastecimento insuficiente de água)	A falta de água e a higiene pessoal insuficiente criam condições favoráveis para sua disseminação	Infecções na pele e nos olhos, como o tracoma e o tifo relacionado com pio-lhos, e a escabiose	Fornecer água em quantidade adequada e promover a higiene pessoal e doméstica

Continua...

Continuação

GRUPO DE DOENÇAS	FORMAS DE TRANSMISSÃO	PRINCIPAIS DOENÇAS	FORMAS DE PREVENÇÃO
Associadas à água (uma parte do ciclo da vida do agente infeccioso ocorre em um animal aquático)	O patógeno penetra pela pele ou é ingerido	Esquistossomose	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evitar o contato de pessoa com águas infectadas 2. Proteger mananciais 3. Adotar medidas adequadas para a disposição de esgotos 4. Combater o hospedeiro intermediário
Transmitidas por vetores que se relacionam com a água	As doenças são propagadas por insetos que nascem na água ou picam perto dela	<ol style="list-style-type: none"> 1. Malária 2. Febre amarela 3. Dengue 4. Filariose (elefantíase) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Combater os insetos transmissores 2. Eliminar condições que possam favorecer criadouros 3. Evitar o contato com criadouros 4. Utilizar meios de proteção individual

A presença de determinados organismos em mananciais de abastecimento de água pode provocar vários inconvenientes, tanto para o próprio ambiente aquático quanto para o sistema de tratamento da água captada. Além dos aspectos relacionados à transmissão de enfermidades, já comentados no tópico anterior, merecem destaque os problemas de toxicidade e de geração de sabor e odor. A toxicidade presente em um manancial de abastecimento de água, quando provocada por organismos, deve-se quase exclusivamente à presença de elevadas concentrações de algas azuis (cianofíceas), mais apropriadamente designadas como cianobactérias. Esse grupo de algas, por não apresentar uma membrana nuclear, pode ser considerado como formado por organismos procariontes, cabendo portanto a sua classificação como bactérias. Deve ser lembrado que as cianobactérias foram os primeiros organismos a colonizar nosso planeta, desenvolvendo-se no Período Pré-Cambriano, ou seja, há cerca de 3,5 bilhões de anos. As toxinas produzidas são metabólitos secundários, assim como hormônios e antibióticos, isto é, compostos não utilizados no metabolismo primário das bactérias. Os principais gêneros de algas que podem produzir toxinas são: *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Microcystis*, *Nodularia*, *Nostoc* e *Oscillatoria*. Normalmente o nome da toxina é derivado da denominação da alga produtora (por exemplo, anatoxina, cilindrospermopsina, microcistina, nodularina, etc.), muito embora diversos gêneros de algas possam liberar um mesmo tipo de toxina. Segundo o modo de ação, as toxinas de algas podem ser classificadas essencialmente nos seguintes grupos:

- hepatotoxinas (p. ex., microcistina, cilindrospermopsina)
- neurotoxinas (p. ex., anatoxina)

As *hepatotoxinas* atacam o fígado de homens e animais que venham a ingerir a água contaminada, enquanto as *neurotoxinas* prejudicam o sistema nervoso dos

organismos afetados. Sob o aspecto químico, as toxinas são compostos orgânicos, podendo ser formadas por peptídeos cíclicos (como é o caso da microcistina e da nodularina), por alcalóides (anatoxina, cilindrospermopsina e PPS – *paralytic shellfish poisoning* (toxinas paralisantes de moluscos)) e por lipopolissacarídeos. O método mais adequado para testar a toxicidade das cianotoxinas é mediante a realização de bioensaios (injeção intraperitoneal em camundongos).

Historicamente, os primeiros relatos sobre efeitos deletérios originados pela presença de algas remontam ao final do século passado. A literatura especializada cita diversos casos de envenenamento de gado e de animais domésticos em decorrência da ingestão de água contaminada por toxinas de algas. No entanto, o primeiro registro confirmado de morte de seres humanos causada pela presença de cianotoxinas é bastante recente, tendo ocorrido aqui no Brasil, na cidade de Caruaru (Pernambuco): a água que abastecia uma clínica de hemodiálise, embora tratada, ainda continha elevadas concentrações de microcistina. A injeção dessa água diretamente na veia dos pacientes provocou a morte de pelo menos 64 pessoas. Atualmente as recomendações da Organização Mundial da Saúde já contemplam a presença de algas tóxicas em águas de abastecimento e recreativas, tendo sido estabelecidos níveis de vigilância e de alerta conforme a concentração de organismos (células/ml) ou de pigmentos ($\mu\text{g/l}$) presentes em todos os grupos de algas (clorofila *a*).

A par dos aspectos de toxicidade, as algas também podem conferir sabor e odor às águas de abastecimento. A geração de sabor e odor é causada por metabólitos (produtos do metabolismo) de algas, tais como geosmina e isoborneol. O problema é mais crítico durante a fase de autólise das algas, isto é, ao longo do seu processo de autodecomposição, sendo também mais acentuado em condições de baixo pH das águas. Existem cerca de 34 tipos de sabor e odor, conforme classificação feita pela AWWA (American Water Works Association). Alguns odores podem ser até aromáticos (como, por exemplo, gerânio, rabanete, pepino, terra, tabaco), ao passo que outros são tipicamente fétidos (gambá, peixe, séptico). Além das algas, outros microorganismos podem ser responsáveis por problemas de sabor e odor em águas de abastecimento. Um exemplo são os *actinomicetos*, grupo de bactérias que se assemelham a fungos, os quais dão à água um agradável cheiro de terra molhada. As ferro-bactérias, por sua vez, são responsáveis pelo odor ferruginoso de ambientes aquáticos.

Outro inconveniente causado pela presença de microorganismos em águas de abastecimento refere-se ao aumento dos teores de cor e turbidez. A ocorrência de elevadas populações de algas, por exemplo, acarreta prejuízos à realização da fotossíntese em ambientes aquáticos, já que existe uma sensível redução na profundidade de penetração dos raios solares. Esse fenômeno é mais crítico durante o período de circulação de lagos e represas, o qual, em nosso clima tropical, ocorre essencialmente nos meses de inverno.

Alguns grupos de microorganismos – e mais uma vez as algas são os mais importantes – podem provocar interferências negativas em outros componentes de

um sistema de abastecimento de água, particularmente nas etapas de tratamento da água, reservação e distribuição. Na fase de tratamento, a presença de algas pode conduzir a alterações indesejáveis de pH decorrentes de atividades de fotossíntese e respiração, acarretando transtornos operacionais para a fase de formação de flocos (*floculação*). Na *decantação* da água, as algas podem desenvolver mecanismos para impedir sua sedimentação, causando portanto uma diminuição na eficiência desse processo. Na fase de *filtração*, algas, microcrustáceos e moluscos podem colmatar (entupir) o leito filtrante, o que provoca um aumento na frequência de lavagem dos filtros e reduz sua eficiência operacional. Após o tratamento, quando a água está sendo reservada, alguns microorganismos, entre eles as algas, podem fixar-se nas paredes do reservatório. Finalmente, na etapa de *distribuição* da água, existe a possibilidade de corrosão biológica dos dutos, causada tanto pela ação de algas (produção direta de ácidos) quanto pela de bactérias (modificação química do meio, levando à formação de ácidos).

O controle da presença de organismos em águas de abastecimento pode ser feito de forma preventiva ou corretiva. O controle preventivo relaciona-se à adoção de medidas que visam a impedir a ocorrência dos problemas relatados no tópico anterior. Dessa forma busca-se, por exemplo, impedir o lançamento de esgotos não tratados em cursos d'água que possam servir como fonte de abastecimento. No caso de mananciais constituídos por lagos ou represas, deve-se promover a retirada seletiva da vegetação a ser inundada, objetivando-se minimizar o desenvolvimento de processos intensos de decomposição de matéria orgânica que poderiam levar ao esgotamento da massa de oxigênio dissolvido no corpo d'água. Já o controle corretivo empregado em mananciais de abastecimento de água está associado principalmente à utilização de produtos químicos para a eliminação dos organismos indesejáveis. No caso particular das algas, que constituem a comunidade com maior potencial de prejuízos ao uso da água para abastecimento, é empregado frequentemente o sulfato de cobre como produto algicida. A toxicidade do cobre pode trazer prejuízos à cadeia alimentar aquática, em caso de acumulação desse metal em tecidos de organismos aquáticos, notadamente de peixes. Além disso, em águas ricas em carbonatos, de ocorrência freqüente em nosso país, o cobre é imediatamente precipitado e inativado, o que leva à necessidade do emprego de concentrações mais elevadas de algicida para que se possa obter o efeito desejado. Como conseqüência ocorre o gradual desaparecimento da comunidade bentônica (anelídeos e larvas de inseto que habitam o fundo de corpos d'água), com graves prejuízos ao ecossistema aquático. Outros algicidas atualmente utilizados são o peróxido de hidrogênio (água oxigenada), o oxiclureto de cobre (de menor potencial tóxico que o sulfato), os compostos de amônia, os compostos orgânicos de zinco e alguns solventes aromáticos. Para o controle do crescimento exagerado de macrófitas (plantas aquáticas superiores, tais como aguapés ou baronesas, juncos, taboas), são empregados biocidas de ação específica, como, por exemplo, o 2,4 D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético) e o arsenito de sódio.

3.7 REFERÊNCIAS

BARROS, R. T. V. et al. *Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios*. Belo Horizonte: Desa/UFMG, 1995.

JARDIM, F. A. *Implantação de análises de cianotoxinas e avaliação do potencial tóxico em estações de tratamento da Copasa-MG*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – UFMG, Belo Horizonte, 1999.

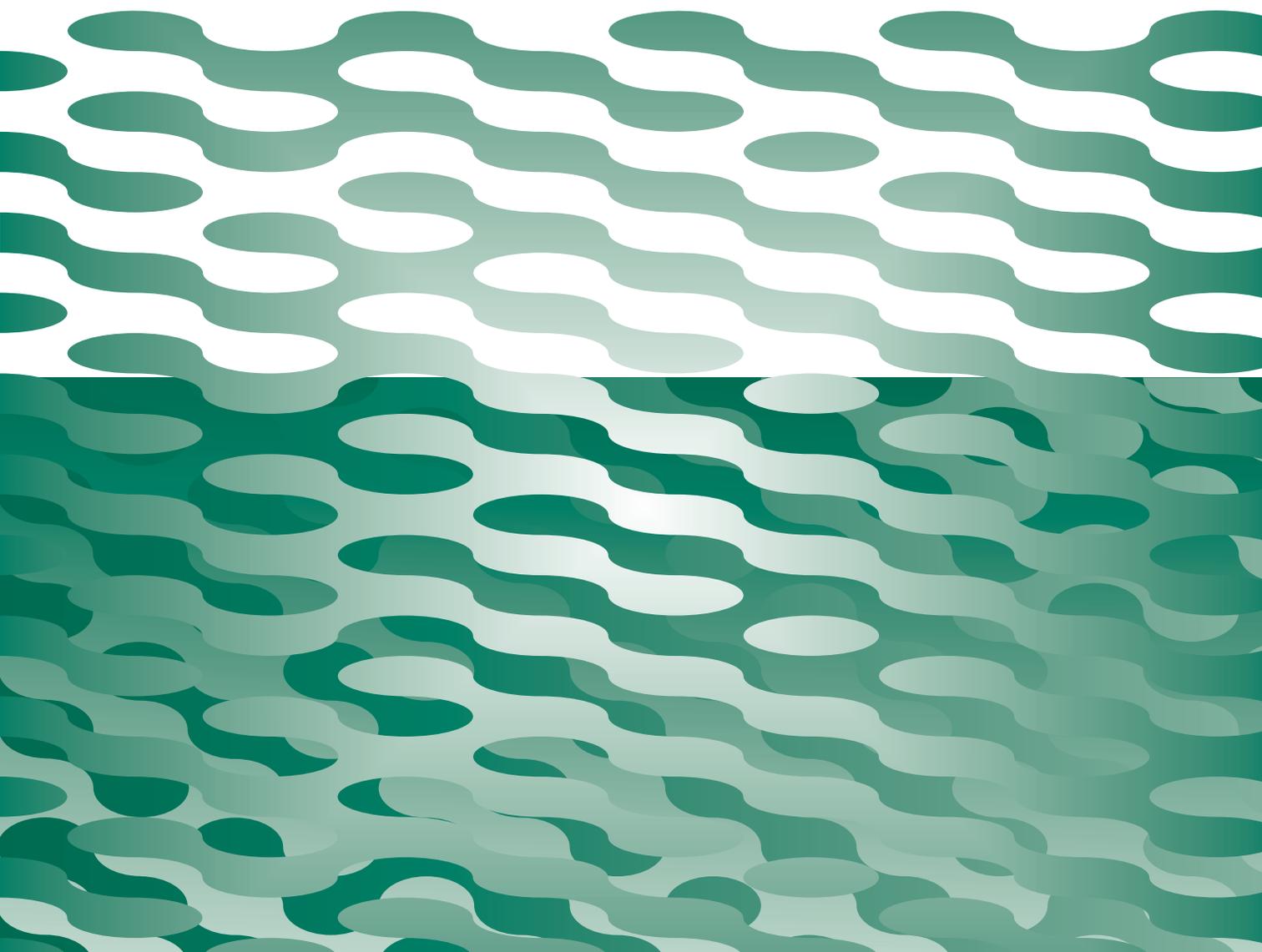
LVOVITCH, M. *Einführung in die Limnologie*. In: SCHWOERBEL, J. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1984.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Desa/UFMG, 1996.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. *Proposta de programa de vigilância e controle de qualidade de águas para o Brasil*. Brasília: Opas, 1998 c.

PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO
DAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO

4



4 PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO

4.1 TIPOS DE CAPTAÇÃO E SEUS EFEITOS SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA

CONSIDERAÇÕES SOBRE A VAZÃO DE DEMANDA

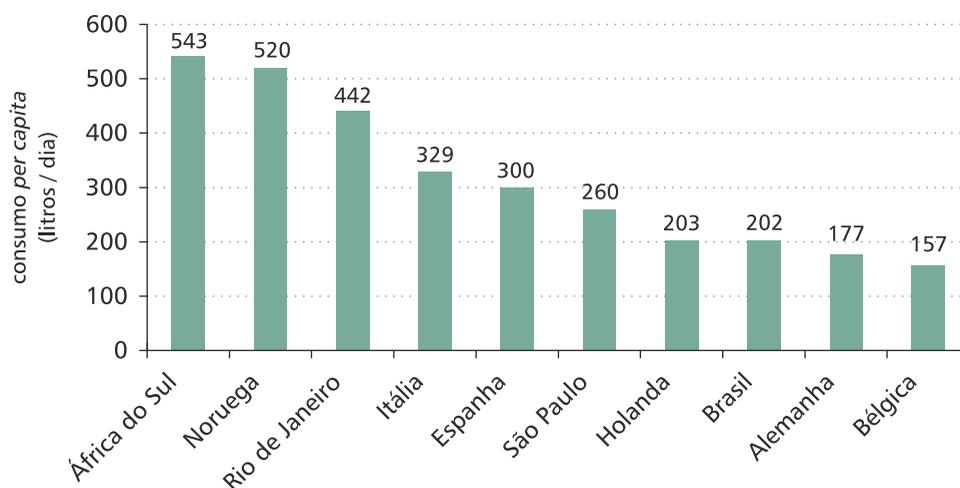
As definições inerentes à captação influenciarão sobremaneira as demais etapas integrantes dos sistemas públicos de abastecimento de água, do tipo e extensão da adutora de água bruta à tecnologia de tratamento a ser empregada. Em termos gerais, as captações podem utilizar mananciais superficiais e subterrâneos. As primeiras se utilizam diretamente dos cursos d'água, de represas e lagos, enquanto as captações subterrâneas basicamente fazem uso de aquíferos confinados e não confinados, denominados, respectivamente, artesianos e freáticos.

A magnitude da vazão de demanda necessária ao atendimento da população abastecível decorre da definição do consumo *per capita* (L/hab.dia), que, por sua vez, envolve uma série de fatores, cuja hierarquização pode ser:

- a) nível socioeconômico da população abastecida;
- b) presença de indústrias;
- c) clima;
- d) porte, características e topografia da cidade;
- e) percentual de hidrometração e custo da tarifa;
- f) administração do sistema de abastecimento de água.

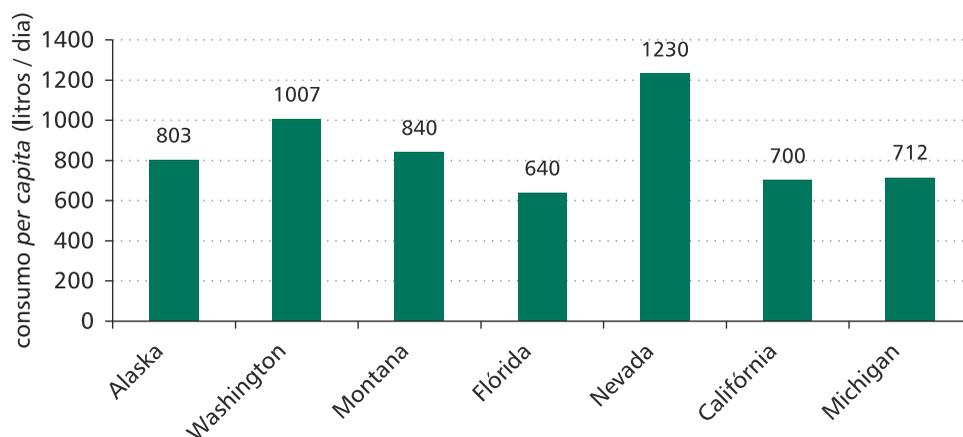
Em função dos fatores antes arrolados, é usual encontrar em cidades brasileiras cotas *per capita* variando de 100 L/hab.dia a 500 L/hab.dia, cuja amplitude se consolida no hiato social que separa as classes menos favorecidas das mais abastadas. Em relação a outros países, África do Sul e Noruega, por exemplo, apresentam cotas médias de 543 L/hab.dia e 520 L/hab.dia, respectivamente, enquanto na Bélgica esse parâmetro é de 157 L/hab.dia. Na figura 4.1 estão apresentados os valores da cota *per capita* média na África do Sul, em alguns estados brasileiros e em países europeus referentes a 1993.

Figura 4.1 – Consumo urbano bruto de água (fonte: INTERNATIONAL WATER SERVICE ASSOCIATION STATISTICS & ECONOMIC COMMITTEE, 1993)



Para efeito de comparação, estudo realizado em 1996 nos Estados Unidos (AWWA, 1998) apontou variação da cota *per capita* média de 494 L/hab.dia, no Estado do Maine na costa leste, atingindo até 1.235 L/hab.dia no Estado de Nevada, na costa oeste. Uma vez que esse índice se refere tão-somente ao abastecimento doméstico e industrial, não contemplando os gastos com irrigação, tal discrepância parece indicar extrema relevância do clima na definição do consumo de água. A figura 4.2 apresenta o consumo *per capita* de alguns estados americanos.

Figura 4.2 – Cota *per capita* de abastecimento doméstico e industrial em alguns estados dos EUA referentes a 1996 (AWWA, 1998)



Contudo, a influência do clima na cota *per capita* fragiliza-se quando a comparação recai entre os Estados do Alaska e da Flórida. Nesse contexto emerge a relevância da presença de indústrias – e outros fatores a elas relacionados – na magnitude da cota *per capita*.

CAPTAÇÕES SUPERFICIAIS

No que tange às captações superficiais, os profissionais responsáveis pela administração dos sistemas de abastecimento de água vêem-se diante de inevitável e progressiva dicotomia, qual seja: a escolha do manancial deverá privilegiar os cursos d'água mais próximos aos centros de consumo, reduzindo os investimentos na adução, mas cuja qualidade haverá de requerer gastos significativos no tratamento, elevando o risco sanitário? Ou a opção deverá recair nos mananciais mais distantes, com água bruta de melhor qualidade, maximizando em contrapartida os custos da adução? Em vista do exposto, os principais fatores intervenientes na definição do manancial superficial e do tipo de captação são a magnitude da vazão necessária, a qualidade da água bruta e o custo das instalações de adução, tratamento e captação propriamente ditas.

Após a definição da vazão de captação, a condição fundamental estabelece-se quando a vazão média do manancial – função das características da bacia hidrográfica – supera aquela necessária ao abastecimento da comunidade. Posteriormente, a partir de registros fluviométricos, estimam-se as vazões máximas e mínimas. As primeiras definirão o tipo de captação que preserve as estruturas hidráulicas nos períodos das cheias.

Em relação à vazão mínima do manancial, duas vertentes descortinam-se. Caso a vazão de demanda seja inferior à vazão mínima, pode-se optar por efetuar captação direta, reduzindo os custos dessa etapa do sistema de abastecimento. Todavia, nessas circunstâncias, a estação de tratamento deverá estar apta a potabilizar água bruta cujas características – principalmente físicas – haverão de apresentar maior espectro de variação entre os períodos chuvoso e de estiagem em função das características da bacia hidrográfica.

Tal amplitude de variação das características da água bruta testifica-se na estação de tratamento de água de Unaí-MG. Durante o período chuvoso, a turbidez da água bruta afluyente à estação apresenta média superior a 300 uT, com picos de 2.000 a 5.000 uT, enquanto, durante a estiagem, essa média é inferior a 6 uT.

A segunda vertente verifica-se quando a vazão de projeto supera a vazão mínima do manancial, situação usual na Região Nordeste do País. Dessa forma, há necessidade da construção de reservatórios de acumulação, objetivando regularizar o aporte e a retirada de água. Durante o período chuvoso, no qual a vazão do curso d'água é superior à demanda do sistema de abastecimento, haverá o armazenamento para posterior liberação no período de estiagem. A definição do volume útil do reservatório envolverá as vazões de demanda e do curso d'água, as perdas por infiltração e evaporação e vazão de jusante.

Apesar de a legislação determinar que, em quaisquer circunstâncias, deverá ser assegurada a vazão de jusante do curso d'água, em diversos sistemas, ora operando com sobrecarga, praticamente não ocorre superávit que permita assegurar

essa vazão durante as estiagens mais severas. Na figura 4.3 apresenta-se um desenho esquemático de um reservatório de acumulação com as diversas variáveis envolvidas.

Figura 4.3 – Esquema típico de um reservatório de acumulação empregado em sistemas de abastecimento de água (adaptado de NAGHETTINI, 1999)



A existência de um reservatório de acumulação no sistema de abastecimento pode alterar as características da água bruta, favorecendo o emprego de tecnologias de tratamento de implantação e operação menos dispendiosas. Aliado à significativa redução dos picos de cor e turbidez, principalmente nas primeiras chuvas após o período de estiagem, sucede-se, também como consequência, menor afluxo de microorganismos patogênicos, tais como bactérias, vírus e protozoários.

Em contrapartida, ao lado da magnitude do aumento de custo, que recomenda seu emprego apenas quando indispensável, pode ocorrer periodicamente a floração de algas e cianobactérias, deteriorando a qualidade da água bruta, encarecendo e/ou reduzindo a eficiência da potabilização. Tal se sucede em função das condições climáticas e das características da bacia hidrográfica, além do progressivo aumento da salinidade em face da evaporação. Adicionalmente, podem suceder picos extemporâneos de algumas características físicas em razão do revolvimento do fundo por ocasião das inversões térmicas, bem como elevação dos teores de ferro e manganês oriundos da decomposição anaeróbica no fundo e conseqüente aumento da concentração de gás carbônico na massa líquida.

Por fim, tais reservatórios podem também se prestar a outros fins, tais como recreação, geração de energia, piscicultura, controle de enchentes e harmonia paisagística.

CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS

A opção por captações subterrâneas apresenta algumas vantagens intrínsecas. A primeira consiste nas características da água bruta, conseqüência da percolação através dos interstícios granulares do solo, o que permite, salvo algumas exceções, prescindir da quase totalidade das etapas inerentes à potabilização. Dessa forma, reduzem-se drasticamente os custos do tratamento, restringindo-o à desinfecção, fluoretação e eventual correção do pH. Para a captação de poços muito profundos, há necessidade da instalação de uma unidade de resfriamento.

Todavia, o emprego de águas subterrâneas com elevada dureza ou concentração de sais dissolvidos, que poderão conferir sabor e odor à água distribuída, poderá concorrer, quando o problema não for convenientemente sanado, para que a população acabe por rejeitar a água e abasteça-se em mananciais sanitariamente comprometidos.

Uma segunda vantagem associada à utilização de manancial subterrâneo reside, na maioria dos casos, na inexistência de uma adutora de água bruta, pois a unidade de desinfecção pode ser instalada próxima ao poço.

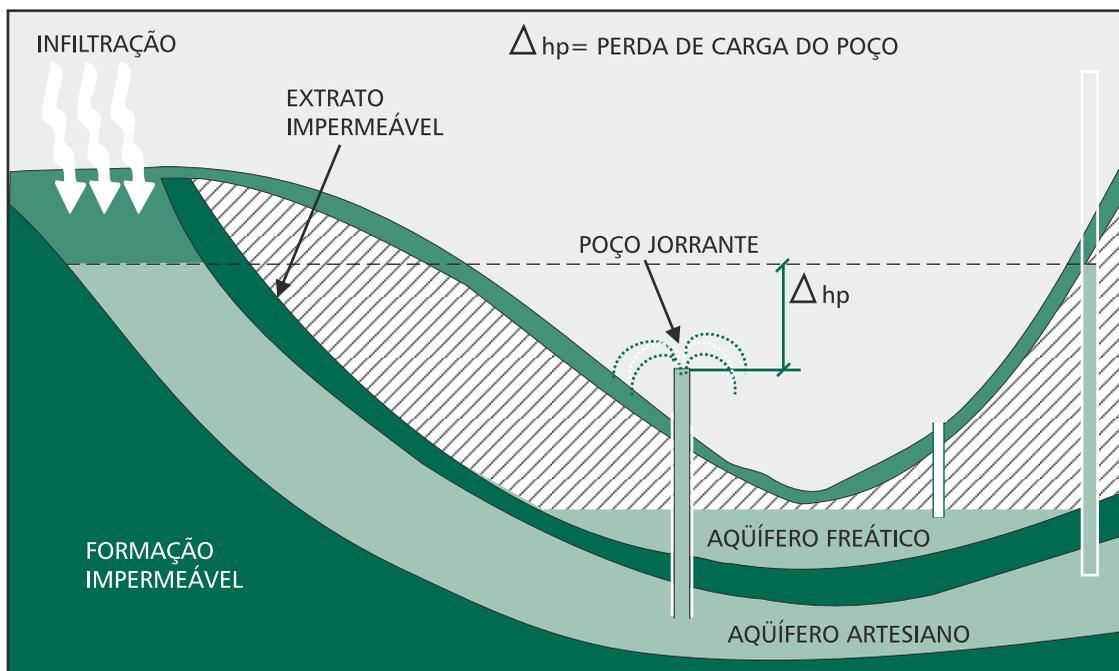
Conforme citado anteriormente, o aproveitamento da água subterrânea pode ser realizado por intermédio dos aquíferos artesianos ou freáticos. Denomina-se aquífero freático o lençol situado acima de uma camada impermeável de solo, submetido à pressão atmosférica, normalmente de menor profundidade e menor custo de escavação. Todavia, uma vez que a zona de recarga abrange praticamente toda a extensão do lençol, conseqüentemente aumenta a possibilidade de contaminação por fossas, postos de gasolina e outras fontes de poluição difusa.

Diversas pequenas comunidades são abastecidas por poços rasos que captam água em aquíferos freáticos, bastante susceptíveis à contaminação. Na maioria dos casos, tal ocorre em função da inexistência de redes coletoras de esgotos, acarretando o emprego extensivo de fossas negras, e pela escavação e revestimento inadequados dos poços. Nesse contexto, inspeção sanitária realizada na cidade paulista de Araraquara em 41 poços rasos não constatou nenhuma unidade devidamente protegida de contaminação. Na mesma vertente, de um total de 5.200 poços avaliados no Município de Ponta Grossa (PR), 94% foram considerados desprotegidos. Levantamento realizado nos Estados Unidos também confirmou essa tendência, apontando para um percentual de 60% dos poços utilizados para abastecimento público construídos sem a necessária proteção (GONZAGA, 1995).

O aquífero artesianos situa-se confinado entre duas camadas impermeáveis, usualmente a maior profundidade em relação ao lençol freático, e submetido a pressão

superior à atmosférica. A zona de recarga apresenta uma área restrita, o que reduz a possibilidade de contaminação. A figura 4.4 apresenta um desenho esquemático dos aquíferos freático e artesiano.

Figura 4.4 – Desenho esquemático dos aquíferos e poços (adaptado de NAGHETTINI, 1999)



A perfuração de poços deve alicerçar-se, sempre que os recursos disponíveis permitirem, no levantamento do perfil geológico do terreno, com o objetivo de identificar com maior acurácia a profundidade e a magnitude do lençol subterrâneo e definir a melhor localização do poço.

4.2 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

FATORES INTERVENIENTES NA DEFINIÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

A função precípua das estações de tratamento consiste, em última instância, em tornar a água potável, ou seja, adequar suas características ao padrão de potabilidade vigente. Para a consecução de tal objetivo, diversos fatores interferem em maior ou menor monta na definição da tecnologia de tratamento a ser empregada na potabilização das águas naturais, entre os quais se destacam:

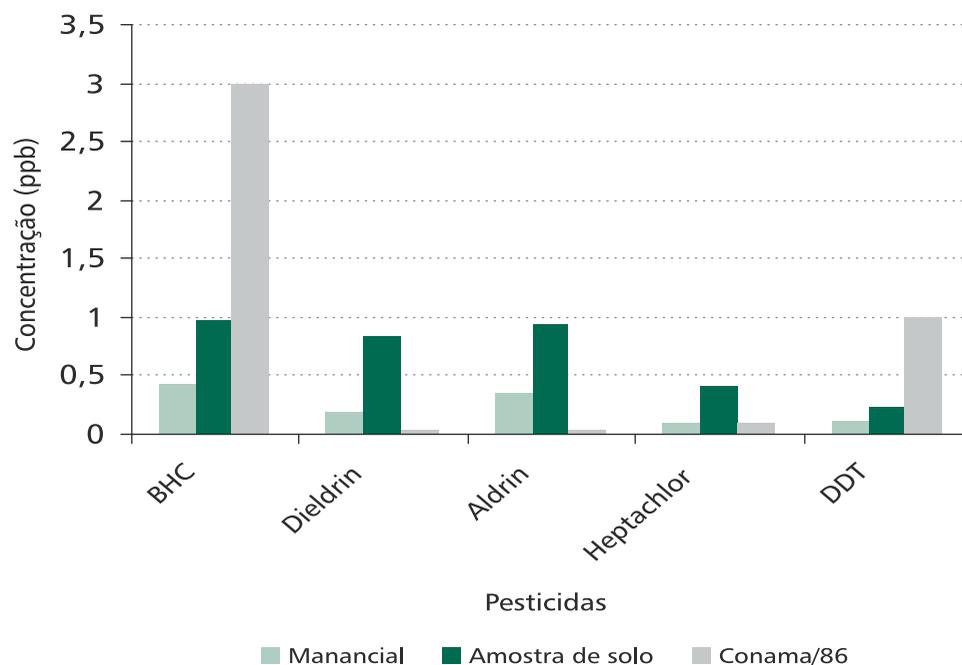
- a) características físicas, químicas e biológicas da água bruta;
- b) localização geográfica da comunidade a ser abastecida;
- c) nível técnico do pessoal de operação condicionado ao desenvolvimento institucional dos serviços de saneamento;
- d) custos de implantação e operação;
- e) disponibilidade de área para construção da unidade de tratamento;
- f) flexibilidade operacional em face das alterações periódicas das características da água bruta;
- g) padrão de potabilidade vigente;
- h) para estações de maior porte, equipamentos e disponibilidade de área para disposição do lodo.

Indubitavelmente as características físicas, químicas e biológicas da água bruta (a), fortemente influenciadas pelo tipo de manancial, adquirem maior relevância em relação aos demais fatores, principalmente em função da progressiva restrição dos padrões de potabilidade (g). Uma tentativa de hierarquização das características da água bruta, no que tange à dificuldade de remoção ou relevância da característica na potabilização, poderia ser alinhavada da seguinte forma: algas, *E. coli*, cor verdadeira, turbidez, ferro e manganês, alcalinidade e pH, temperatura, condutividade elétrica e compostos orgânicos.

Em relação à primeira característica, a presença de elevada concentração de algas na água bruta acarreta extenso rol de problemas. Da colmatagem dos leitos filtrantes à produção de toxinas passíveis, em situações mais brandas, de conferir odor e sabor à água tratada e, nos casos mais críticos, de causar sérios danos à saúde dos usuários. Ainda que as técnicas de controle das algas possam ser aplicadas nos próprios mananciais, nas estações de tratamento as ações praticamente se restringem à pré-desinfecção e à adsorção. Nessas circunstâncias freqüentemente se torna necessário o emprego de carvão ativado, objetivando a remoção dos compostos orgânicos e eventuais precursores de trihalometanos.

Aliada à relação com a eficiência da desinfecção, a turbidez como parâmetro de controle da qualidade assume ainda maior relevância no tratamento de águas brutas de mananciais cujas bacias são intensamente exploradas por atividades de agropecuária e, conseqüentemente, acarretam o aporte de pesticidas. Nesse contexto, pesquisa realizada na cidade paulista de Bauru demonstrou que mesmo quando a água bruta apresentou concentrações de distintos pesticidas superiores aos limites preconizados pela legislação, a água tratada manteve tais concentrações inferiores às da água bruta e às recomendadas pela Portaria nº 36/1990 (vigente à época), conforme os resultados contidos no gráfico da figura 4.5 (RISSATO et al., 1998).

Figura 4.5 – Resultados de análises de pesticidas referentes ao verão de 1997 na cidade de Bauru/SP (RISSATO, 1998)



Uma vez que a estação de tratamento de Bauru não dispõe de nenhuma unidade especificamente concebida para tal fim, a partir desses resultados apresentados concluiu-se que a remoção dos pesticidas estaria relacionada à da turbidez, decorrente da capacidade de adsorção de alguns tipos de argilas a essas substâncias.

Os fatores (b) e (c) estão intrinsecamente relacionados entre si e adquirem significativa importância na definição da tecnologia e, principalmente, na operação e na manutenção dos equipamentos porventura a ela vinculados. Nesse contexto insere-se o emprego de dosadores de produtos químicos, agitadores mecanizados das unidades de flocculação, válvulas pneumáticas para descarga de lodo de decantadores e equipamentos de lavagem auxiliar de filtros, entre outros.

Da mesma forma, os fatores (d), (e) e (h) estão relacionados ao tamanho e às características socioeconômicas da população a ser abastecida. Usualmente, nas comunidades de maior porte, o custo da área para construção da estação de tratamento constitui fator relevante para a definição da tecnologia de tratamento. Em contrapartida, os custos e a facilidade de manutenção dos equipamentos permitem ampliar o espectro de alternativas para as unidades responsáveis pelos processos e pelas operações unitárias inerentes à potabilização.

Por fim, a flexibilidade operacional (f) é fator indispensável à adequação do sistema de abastecimento às variações sazonais de demanda – localidades com população flutuante – e, principalmente, das características da água bruta.

A esta segunda premissa refere-se a resolução do Conama. Todavia, como tal resolução é atemporal, ou seja, não se refere à frequência anual das características das águas naturais arroladas, o meio técnico usualmente opta pela tecnologia mais segura, e por vezes mais conservadora, apta a potabilizar a água bruta nas condições mais desfavoráveis.

TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

As tecnologias de tratamento de água podem apresentar diversos processos e operações unitárias responsáveis pela adequação da água bruta ao padrão de potabilidade. Para a consecução desse objetivo, a potabilização das águas naturais constitui-se basicamente da conjunção de dois fenômenos complementares e indispensáveis: a clarificação e a desinfecção.

A clarificação significa a remoção dos sólidos em suspensão, coloidais ou dissolvidos, voláteis ou fixos, sedimentáveis ou não. As partículas de maiores diâmetros – bactérias, protozoários, algas, matéria orgânica particulada, grãos de areia, entre outras – encontram-se geralmente suspensas no meio líquido em razão simplesmente de correntes de arraste e outras forças físicas preponderantes. Por sua vez, as partículas de menores diâmetros, sólidos coloidais (argilas, vírus, matéria orgânica finamente particulada, etc.) e dissolvidos (sais, maior fração da matéria orgânica, etc.) podem apresentar interações químicas com a massa líquida e seus constituintes, encontrando-se ionizados ou solvatados. Esses sólidos podem ser mais ou menos facilmente removidos dependendo das suas dimensões, forma, grau de reatividade e constituição química, de origem orgânica ou inorgânica, sendo responsáveis principalmente por algumas características físicas da água, tais como turbidez, cor aparente e verdadeira.

Em última análise, as tecnologias de tratamento apresentam duas vertentes distintas, com e sem coagulação química, essencialmente em função do tipo de unidade filtrante utilizada. A ausência de coagulação, com raras exceções, conduz ao emprego da filtração lenta, freqüentemente associada ao emprego de unidades de pré-tratamento – usualmente pré-filtros de pedregulho de escoamento ascendente ou descendente e filtros dinâmicos. O emprego dessas unidades de pré-filtração objetiva em primeira instância atenuar os picos de turbidez, embora também ocorra redução substancial da concentração de algas e coliformes na água bruta. Tais unidades de pré-tratamento são também comumente empregadas a montante de unidades de filtração direta. Todavia, vale ressaltar o emprego dessa tecnologia com coagulação realizada em pré-filtros na Colômbia e como unidade polidora a jusante de filtros rápidos em Zurique e Amsterdam.

No emprego da coagulação química, as duas principais tecnologias de tratamento constituem-se na filtração direta e no denominado tratamento convencional ou em ciclo completo, com distintas unidades para mistura rápida, floculação, decantação ou flotação e filtração.

Filtração lenta

Indubitavelmente, constituem-se nas maiores vantagens do emprego da filtração lenta, além do referido fato de essa tecnologia usualmente prescindir de coagulação química, a simplicidade da operação de limpeza do leito filtrante, ainda que trabalhosa, o reduzido percentual despendido com água de lavagem e a eficiência na remoção de patogênicos. Nesse contexto, o efluente dos filtros lentos apresenta qualidade bacteriológica significativamente superior ao dos filtros rápidos, mesmo quando a turbidez supera 1,0 uT. Tal constatação é corroborada pela Portaria 518 ao estabelecer turbidez máxima efluente de unidades de filtração lenta de 2,0 uT.

O leito filtrante apresenta espessura de 0,70 m a 1,40 m e camada-suporte de 30 cm a 40 cm. Todavia, diversas pesquisas em unidades piloto têm demonstrado que a retenção de impurezas e a remoção de microorganismos se efetuam na camada superficial do leito, de espessura inferior a 10 cm, na qual se desenvolve a película biológica característica de tais unidades. Quando aplicados à purificação de águas de baixa turbidez, apresentam carreiras de filtração superiores a 30 dias, período entre duas lavagens consecutivas, usualmente encerradas pela colmatagem dessa camada superficial do leito filtrante, acarretando o consumo da carga hidráulica disponível. Neste estágio, deve-se proceder à raspagem da fina camada superficial do leito filtrante, e a areia retirada somente retorna ao filtro após a quarta ou quinta limpeza consecutiva.

As principais limitações referem-se essencialmente às características da água bruta e, para os sistemas de maior porte, à maior necessidade de área, decorrente das baixas taxas de filtração, freqüentemente inferiores a $6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$. Tal limitação confirma-se, por exemplo, na área da ordem de 1.200 m^2 necessária a uma estação com vazão média afluente da ordem de 570 L/s. Esta utiliza tecnologia convencional de tratamento com unidades de mistura rápida, floculação mecanizada de eixo vertical, decantação de escoamento horizontal e filtração rápida em leitos duplos. Uma eventual conversão para a filtração lenta necessitaria de uma área superior a 8.200 m^2 , admitindo-se taxa de filtração de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$. Dessa forma, salvo exceções, a filtração lenta torna-se mais vantajosa para pequenas e médias comunidades, nas quais o custo do terreno assume menor relevância, quando cotejado com outros insumos.

Aliadas às características da água bruta e à existência de unidades de pré-tratamento, somam-se, como fatores intervenientes no desempenho dos filtros lentos, as características do leito filtrante – espessura e tamanho dos grãos –, a taxa de filtração e o período necessário ao amadurecimento da película biológica.

Filtração direta

A tecnologia de filtração direta utiliza filtros de escoamento descendente ou ascendente, podendo contar com unidades de pré-floculação. Em algumas instalações, ambas as unidades filtrantes são empregadas, com o filtro de escoamento descendente funcionando como polidor final, tecnologia denominada *dupla filtração*.

Nas estações de filtração direta com unidades de escoamento descendente predominam os filtros de dupla camada, constituída de antracito e areia, de espessura 15 cm a 35 cm e 45 cm a 90 cm, respectivamente. Em razão de a densidade do antracito (1,4) ser significativamente inferior à da areia (2,65), dispondo-o sobre a areia durante as lavagens, e sua porosidade superior (0,48 a 0,38), sucede uma acentuada penetração das partículas no leito filtrante. Tal disposição acarreta uma elevação mais gradual da perda de carga e carreiras de filtração mais longas. Dessa forma, mesmo em instalações de filtração direta, operam com taxas de 240 a 360 m/dia.

Os filtros ascendentes apresentam leito filtrante de areia com espessura da ordem de 1,80 m, camada-suporte de 40 cm e operam com taxas de filtração entre 120 e 180 m/dia. Constituem-se também no tipo de unidade filtrante adequada à filtração direta, capazes de assimilar com eficiência eventuais picos de turbidez da água bruta, em razão da espessura e da granulometria do leito, bem como do fato de o escoamento realizar-se no sentido favorável à gradual redução dos diâmetros dos grãos. Dessa forma, toda a extensão do leito filtrante é utilizada na filtração e não apenas uma tênue camada superficial, a exemplo dos filtros de escoamento descendente de camada simples.

A realização de descargas de fundo intermediárias, visando ao esgotamento do volume de água armazenado sobre o leito filtrante, concorre para que tais unidades apresentem carreiras de filtração mais longas – quando comparadas aos filtros de dupla camada –, compensando o maior gasto de água durante as lavagens. A eficiência das descargas de fundo intermediárias resulta da alta retenção de impurezas na interface entre a camada-suporte e o leito de areia.

O espectro do emprego da tecnologia de filtração direta é mais amplo quando comparado à filtração lenta, graças às características da água bruta e à menor necessidade de área, principalmente para comunidades de maior porte.

Tratamento convencional

A tecnologia de tratamento convencional (também denominado ciclo completo) tem sido a mais extensivamente utilizada no país, principalmente em razão das variações sazonais das características da água bruta – por vezes em função da progressiva deterioração dos mananciais. Por tratamento convencional entende-se a instalação potabilizadora que apresenta unidades distintas responsáveis pelos processos e operações unitárias inerentes ao tratamento. Dessa forma, essa tecnologia contempla necessariamente as etapas de mistura rápida, floculação, decantação ou flotação, filtração e desinfecção.

Em virtude do raro emprego de unidades de pré-tratamento, reduzindo o espectro de aplicação de tecnologias com a filtração lenta ou direta, a filosofia que fundamenta essa tecnologia consiste em que a estação de tratamento deva estar apta a produzir água dentro dos parâmetros preconizados pela Portaria nº 518/2004, mesmo nos períodos de pico de turbidez e cor. Tal afirmação tes-

tifica-se pelo desempenho da estação de tratamento de Unaí/MG, cujas características da água bruta – principalmente em termos de turbidez – apresentam significativas variações ao longo do ano, atingindo no período chuvoso, por dias sucessivos, índices superiores a 1.000 uT, em decorrência das características geomorfológicas e da ocupação da bacia hidrográfica.

Todavia, a despeito das inequívocas vantagens do tratamento convencional no atendimento ao padrão de potabilidade, em muitas circunstâncias a unidade potabilizadora poderia operar como filtração direta, nos períodos de estiagem, quando as características da água bruta o permitissem. Dessa forma, verificar-se-ia significativa redução da dosagem de coagulantes e da geração de lodo. Pesquisas em unidades piloto apontaram para uma redução da dosagem de sulfato alumínio de até 50% em relação à necessária para o tratamento convencional.

Tratamento domiciliar

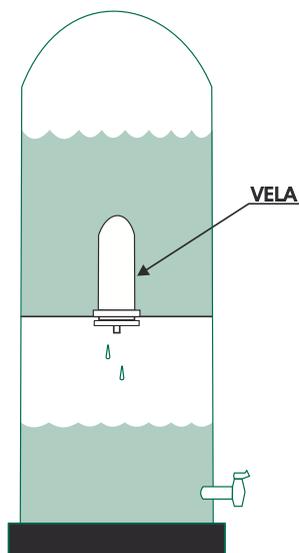
O processo de clarificação tem como objetivo principal a remoção da turbidez – tornando a água com um aspecto aceitável para o consumo – e dos microorganismos associados.

O emprego da filtração domiciliar constitui um hábito cultural dos brasileiros, ainda que seja discutível a necessidade real desses dispositivos. Seria possível argumentar, a seu favor, a idéia de que constituiria a última barreira sanitária, capaz de reter eventuais partículas, até mesmo microorganismos presentes na água. Todavia, existem argumentos contrários à sua utilização, como a baixa eficiência e a irregularidade na remoção da turbidez e dos patogênicos, ou a formação de uma película biológica, em torno do elemento filtrante, na qual pode ocorrer o desenvolvimento de patogênicos oportunistas.

Não se verifica, portanto, consenso quanto à aplicabilidade dos filtros domiciliares. O tipo de filtro, a forma como é realizada a operação de limpeza e a qualidade da água bruta são determinantes no sucesso da utilização desses dispositivos. Contudo, em situações nas quais a turbidez não é excessivamente elevada, a combinação filtração–desinfecção domiciliares pode resultar em uma água com razoáveis condições de consumo.

Os filtros domiciliares com vela de porcelana são os mais extensivamente utilizados, cujo desenho esquemático é apresentado na figura 4.6. Uma operação importante nos filtros de vela é a limpeza, na qual é tradicional o emprego de material abrasivo, como o sal e o açúcar. Entretanto, essa prática não é recomendável, pois a superfície porosa da vela, normalmente vidrada, pode ser danificada. Essa operação causa uma sensação de melhora na capacidade de filtração da vela, todavia o que ocorre é um comprometimento de seu desempenho.

Figura 4.6 – Modelo usual de filtro de vela

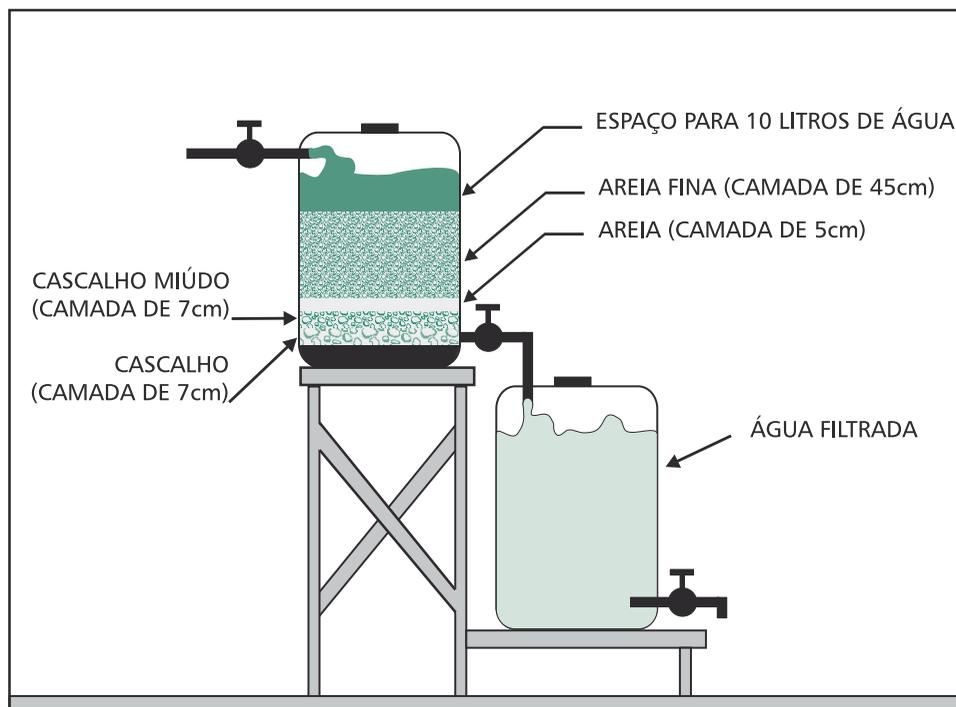


Adicionalmente aos filtros de vela podem ser utilizados os filtros de areia, cujo funcionamento assemelha-se ao dos filtros lentos. A limpeza desse tipo de filtro deve ser realizada por meio de raspagem da sua camada mais superficial. Após diversas limpezas, a espessura original do leito filtrante deverá ser reconstituída.

É comum a previsão de uma camada de carvão vegetal, na parte inferior do filtro de areia, com o objetivo de adsorver compostos responsáveis pela presença de sabor ou odor. A figura 4.7 apresenta um desenho esquemático desse tipo de filtro.

Além dos filtros mencionados, há atualmente no mercado uma ampla gama de unidades domiciliares de tratamento de água, que associam filtração e processos de desinfecção a uma variedade enorme de aparelhos domiciliares de filtração. Existem os que empregam recursos para a desinfecção, como a ozonização e o nitrato de prata. Entretanto, não é possível assegurar uma total eficácia desses aparelhos, seja pela conversão incompleta do oxigênio em ozona, no primeiro caso, seja pela progressiva perda do poder bactericida, no segundo. Há os dispositivos que utilizam carvão ativado com o intuito de adsorver sabor e odor. Contudo, é preciso que seja feita a troca periódica do meio adsorvente, quando de sua saturação. Existem também os dispositivos de filtração, como terra diatomácea, carvão, areia e materiais sintéticos. Nesses, a eficiência da limpeza do filtro é primordial para seu funcionamento adequado.

Figura 4.7 – Esquema de um filtro doméstico de areia



Pesquisa recente desenvolvida com o objetivo de avaliar a eficiência microbiológica de dez unidades domiciliares de tratamento de água, empregando água desclorada contaminada com esgotos sanitários, apontou algumas conclusões interessantes. Entre as unidades domiciliares de tratamento de água avaliadas, apenas dois filtros – um de gravidade e outro de pressão – e uma unidade com radiação ultravioleta atenderam aos padrões de potabilidade de água para consumo humano nos quais as análises se basearam, constantes na Portaria nº 36/1990 do Ministério da Saúde (BORGES, 2000).

4.3 DESINFECÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO

CONCEITUAÇÃO E HISTÓRICO DA DESINFECÇÃO

A desinfecção constitui a etapa do tratamento cuja função precípua consiste na inativação dos microorganismos patogênicos, realizada por intermédio de agentes físicos e/ou químicos. Ainda que nas demais etapas da potabilização haja redução do número dos microorganismos agregados às partículas coloidais, tal intento não consiste no objetivo principal dos demais processos e operações unitárias usuais no tratamento das águas de abastecimento. A desinfecção deve ser considerada indis-

pensável e prioritária sempre que a água estiver contaminada, ou para o efluente da estação de tratamento minimizar eventuais contaminações na rede de distribuição. Em uma segunda vertente, a destruição completa de todas as formas vivas presentes nas águas naturais denomina-se *esterilização*.

Embora recomendações enfocando a necessidade profilática da cloração dos esgotos domésticos datem de 1831/1832, somente a partir da constatação efetuada em 1854 pelo médico inglês John Snow – comprovando empiricamente a relação intrínseca entre a água consumida e a transmissão da cólera – que o processo de desinfecção começou a se disseminar pelos sistemas de abastecimento de água.

Na América do Norte, o emprego do cloro e seus compostos como os primeiros desinfetantes praticamente sobrepõe o histórico do processo de desinfecção à própria evolução do emprego desse gás. No início do século, o cloro e seus compostos passaram a ser empregados como desinfetantes nas estações de tratamento de água de Chicago, Nova Jersey, Montreal, Nova York, Cleveland, entre outras, perfazendo já em 1918 mais de mil sistemas de abastecimento, para uma vazão total da ordem de 132 m³/s. Na mesma época, com o intuito de assegurar o residual na rede de distribuição e reduzir os odores na água tratada, iniciou-se em Ottawa e Denver o emprego da cloroamoniação como alternativa de desinfecção.

Vale ressaltar as razões que culminaram com a disseminação do cloro e seus compostos como desinfetantes a partir do início do século XX. Podem ser destacadas, entre outras:

- a) inativação em tempo relativamente curto dos microorganismos até então conhecidos, presentes nas águas naturais;
- b) nas dosagens usualmente empregadas na desinfecção, o cloro não é tóxico aos seres humanos e não confere odor ou sabor às águas;
- c) disponível a custo razoável e de fácil transporte, manuseio, armazenamento e aplicação;
- d) produção de residuais relativamente estáveis;
- e) fácil determinação pelo método iodométrico disponível à época.

Na Europa sucedeu-se um processo distinto. Há registros do emprego intermitente de compostos de cloro nos sistemas de abastecimento de Maidstone, Inglaterra, e Midlekerde, Bélgica, em 1897 e 1902, respectivamente. O uso contínuo da cloração ocorreu inicialmente na cidade de Lincoln, Inglaterra, em 1905. Em outra vertente, verificou-se o emprego do ozônio como desinfetante na cidade francesa de Nice em 1906, embora registros anteriores se reportem à primeira aplicação em águas de abastecimento na cidade holandesa de Oudshoorn em 1893. Nos Estados Unidos, a primeira instalação de ozonização efetuou-se também em 1906 na cidade de Nova York e em 1987 apenas cinco estações de tratamento empregavam esse gás na pré-desinfecção, objetivando a remoção de compostos orgânicos precursores da formação de trihalometanos passíveis de conferir sabor e odor à água tratada.

FATORES INTERVENIENTES NA DESINFECÇÃO

A eficiência da desinfecção é governada por um extenso rol de fatores, entre os quais se destacam:

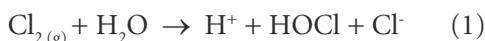
- a) características físicas, químicas e biológicas da água;
- b) o tipo, a forma – encistada ou não – e a concentração dos microorganismos;
- c) o tipo e a concentração do desinfetante e o grau de dispersão na massa líquida;
- d) o tempo de contato entre o desinfetante e a massa líquida.

Em relação às características da água, a presença de material em suspensão, referenciada pelos teores de turbidez, reduz a eficiência da desinfecção na inativação dos microorganismos patogênicos. Diversas pesquisas confirmaram uma menor remoção de coliformes na desinfecção com compostos de cloro quando a turbidez se elevava acima de 1,0 uT.

Também a presença de compostos orgânicos e de outros compostos oxidáveis irá comprometer o poder de ação do desinfetante sobre os microorganismos, caso este agente seja um oxidante.

Entre as variáveis mencionadas, que contribuem para a eficiência da desinfecção, o tempo de contato e as características do desinfetante são aquelas mais facilmente sujeitas a controle técnico.

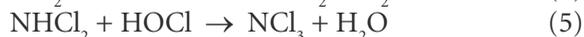
No emprego dos compostos de cloro como desinfetantes, algumas das afirmativas arroladas anteriormente já foram devidamente comprovadas. Por exemplo, entre as características químicas das águas, sabe-se que o pH exerce papel significativo na eficiência da desinfecção, ainda que a temperatura da água interfira em menor monta no processo. Isso se sucede graças à dissociação do ácido hipocloroso (HOCl) e conseqüente formação do íon hipoclorito (OCl⁻). As equações a seguir ilustram o fato:



Uma vez que o ácido hipocloroso é um desinfetante muito mais eficiente – pesquisas apontam para um poder bactericida 40 a 80 vezes maior – e sua dissociação acelera-se com a elevação do pH, este influencia significativamente o processo de desinfecção.

Uma das explicações para tal discrepância parece bastante singela. Na camada mais externa, o cloro apresenta sete elétrons, sendo susceptível de ganho ou perda de elétrons, e sua valência pode variar de (-1) a (+7). Para a formação do ácido hipocloroso, o cloro apresenta-se com valência positiva (+1) – no caso do íon hipoclorito, valência (-1) e alta estabilidade –, com tendência a ganhar elétrons, e alto poder oxidante. Dessa forma, o cloro pode penetrar na parede celular das bactérias que, como as partículas coloidais, apresentam predominantemente carga negativa, e inibir a oxidação da glicose, vital para o crescimento bacteriano.

O ácido hipocloroso pode combinar-se com amônia e com outros compostos amoniacais para a formação de compostos clorados denominados *cloramias*, de acordo com as equações (3), (4) e (5):



As reações anteriores são governadas pelo pH e pela temperatura da água, fatores intervenientes na dissociação do ácido hipocloroso. As monocloraminas (NH_2Cl), as dicloraminas (NHCl_2) e as tricloraminas (NCl_3) contribuem para a concentração do cloro residual combinado. Dessa forma, o cloro total disponível constitui o somatório entre o cloro livre e o combinado.

Na desinfecção, satisfeita a demanda de cloro decorrente dos compostos amoniacais, o prosseguimento do processo de cloração acarreta a oxidação das cloramias já formadas, produzindo compostos como HCl, N_2 , entre outros. Após a oxidação total das cloramias, o cloro adicionado converte-se em cloro livre, processo denominado cloração ao *breakpoint*. Dosagens de cloro após o *breakpoint* asseguram a inobservância de odor e sabor nas águas de abastecimento.

Para a maioria das águas naturais brasileiras, cujas temperaturas médias diárias oscilam entre 20 ± 3 °C, o pH ideal para a desinfecção seria $6,5 \pm 0,5$, culminando com um percentual de formação do HOCl de 72 a 95%.

PRINCÍPIOS DA INATIVAÇÃO DOS PATOGÊNICOS

A desinfecção processa-se graças à conjugação de um ou mais dos seguintes mecanismos, cuja prevalência é função do tipo de desinfetante empregado:

- a) destruição da estrutura celular do microorganismo;
- b) interferência no metabolismo, acarretando a inativação de enzimas;
- c) interferência na biossíntese e no crescimento celular evitando a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e coenzimas.

Para o caso específico de desinfecção por raios ultravioleta, o DNA e o RNA absorvem a luz ultravioleta nos comprimentos de onda 200-260 nm. Essa absorção promove a formação de dímeros que conduzem a uma deficiência na produção de proteínas e na sua replicação, impossibilitando a reprodução celular.

O mecanismo bioquímico da desinfecção pelo ozônio efetua-se com a desestabilização da membrana celular, incluindo a estrutura de proteínas aí inseridas. Dessa forma, a membrana perde sua função seletiva e de suporte para enzimas essenciais ao metabolismo celular. O ozônio pode também difundir-se para o interior da célula e oxidar a matéria orgânica existente, interferindo em sua atividade ou mesmo destruindo diversos componentes celulares.

O cloro, com seu poder oxidante, interage com a parede celular bacteriana, desestruturando-a e levando a uma exposição da membrana celular. Posteriormente, sucede a extrusão dos constituintes vitais da célula – DNA, RNA, proteínas, entre outros –, o que acarreta alterações nos processos bioquímicos associados à membrana celular, destruição dos componentes intracelulares e conseqüente morte celular.

TIPOS DE DESINFETANTES

A desinfecção da água pode ser realizada por meio de diferentes processos, físicos ou químicos, sendo possível até mesmo uma combinação entre eles.

Os processos físicos consistem na aplicação direta de energia sob a forma de calor ou luz (ultravioleta ou gama). O mais antigo processo de desinfecção consiste na fervura da água, assegurando a inativação da totalidade dos microorganismos após um tempo de ebulição de um minuto. Para cada variação de 1.000 m em altitude, deve-se acrescentar mais um minuto ao referido tempo de ebulição. Esta constitui uma prática segura e recomendável quando há dúvida sobre a potabilidade da água ou em uma situação de emergência. Todavia, tal alternativa é praticamente restrita ao consumo doméstico, inviabilizando, sob o ponto de vista econômico, seu emprego mesmo para sistemas de pequeno porte.

Na mesma vertente, o emprego das radiações ultravioleta parte da premissa de que a eficácia da desinfecção pelo uso dessa técnica está ligada essencialmente à qualidade da água a ser tratada, embora algumas pesquisas reportem sua utilização para esgotos domésticos. Assim, seu emprego viabiliza-se para águas de baixa turbidez ou em associação com outro desinfetante. Adicionalmente, há ainda o principal inconveniente de esse processo não garantir o efeito residual do desinfetante. Entretanto, a desinfecção que se vale de radiações ultravioleta não confere sabor à água, nem dá origem a subprodutos.

Os processos químicos consistem na exposição da água à ação de diversos produtos, durante um intervalo de tempo suficiente e em concentrações adequadas, visando à inativação dos microorganismos, usualmente por meio de oxidação. Além do cloro e seus compostos, tais produtos químicos podem ser:

- a) halogêneos: todos os halogêneos são desinfetantes – destacando-se, além do cloro, o iodo e o bromo – cujo poder de oxidação decresce com o peso molecular; as propriedades germicidas e de penetração, de modo geral, aumentam com o peso atômico.
- b) iodo: pouco solúvel na água; pode agir como molécula I_2 ou íon I^- . É eficaz quando presente como I_3^- associado à molécula orgânica. Usualmente empregado na desinfecção domiciliar.
- c) bromo: menos eficaz como bactericida, sendo mais afetado pela presença de matéria orgânica.
- d) ozônio (O_3): é um agente oxidante poderoso, pouco solúvel em água, exigindo cuidadosa mistura. A dosagem necessária à inativação dos microorganis-

mos depende muito do teor de matéria orgânica. Para a desinfecção de águas coaguladas e filtradas, recomenda-se 0,125 mg de O_3 a 0,750 mg de O_3 por litro de água.

- e) prata: processo denominado “katadyn” que se baseia na ação oligodinâmica da prata. O íon Ag destrói bactérias em concentrações acima de 15 mg/L. A prata é posta em contato com a água em areia, material cerâmico, etc. Sua ação é lenta, não causando odor ou sabor. Esta técnica não possui efeito na presença de matéria orgânica ou amônia.
- f) cal: é um desinfetante em pH bastante elevado (10 ou mais). Adicionando-se cal em quantidades tais que estabeleçam um mínimo de alcalinidade cáustica, verifica-se a ação bactericida. Em algumas estações de tratamento, a adição de cal para a redução de dureza dispensou desinfecção posterior. Dosagens muito variadas devem ser determinadas em cada caso.

SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO

Na América do Norte, a preocupação com o padrão de potabilidade iniciou-se somente em 1914, referenciando-se à contaminação bacteriológica, embora o primeiro sistema de abastecimento de água, que empregava tubos de madeira, date de 1799, na cidade de Philadelphia. A partir daí, com o intervalo médio da ordem de 15 anos, diversos padrões de potabilidade foram se sucedendo, elevando progressivamente as restrições quanto às características físicas, químicas e biológicas das águas de abastecimento.

A evolução dos padrões de potabilidade culminou com a inserção, a partir do final da década de 1970, dos trihalometanos como parâmetros de qualidade de água para consumo humano, em função de pesquisas que apontavam as possíveis propriedades carcinogênicas dos mesmos. Esses compostos constituem-se em quatro espécies de metano-halogenados: clorofórmio (triclorometano), diclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio, subprodutos da desinfecção efetuada com compostos de cloro, quando a água apresenta teor significativo de matéria orgânica. Em razão de tal fato, diversas pesquisas em tratamento de água realizadas nos Estados Unidos reportam-se ao Carbono Orgânico Total (COT) como balizador da eficiência do processo ou da operação unitária enfocada.

A partir de 1983, a United States Environmental Protection Agency (USEPA) fixou o nível máximo de contaminante (MCL) em 0,1 mg/L para o somatório dos quatro compostos. As pesquisas desenvolvidas e em curso, apontando a associação de tais compostos ao câncer, culminaram com a redução do MCL para 0,08 mg/L. Atualmente, as restrições ao uso indiscriminado do cloro como desinfetante concorreram para o recrudescimento do emprego de desinfetantes alternativos como amônia, ozônio, radiações ultravioleta, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, entre outros.

Os THM constituem subprodutos da cloração de águas com teor de matéria orgânica, referenciada principalmente na Demanda Bioquímica de Oxigênio, na concentração de COT e, para maioria das águas naturais, na cor verdadeira. Vale ressaltar que os THM não são os únicos subprodutos da desinfecção, mas, principalmente, verifica-se maior prevalência na formação de espécies halogenadas do que de outros subprodutos, e seus efeitos na saúde têm sido avaliados há mais de duas décadas.

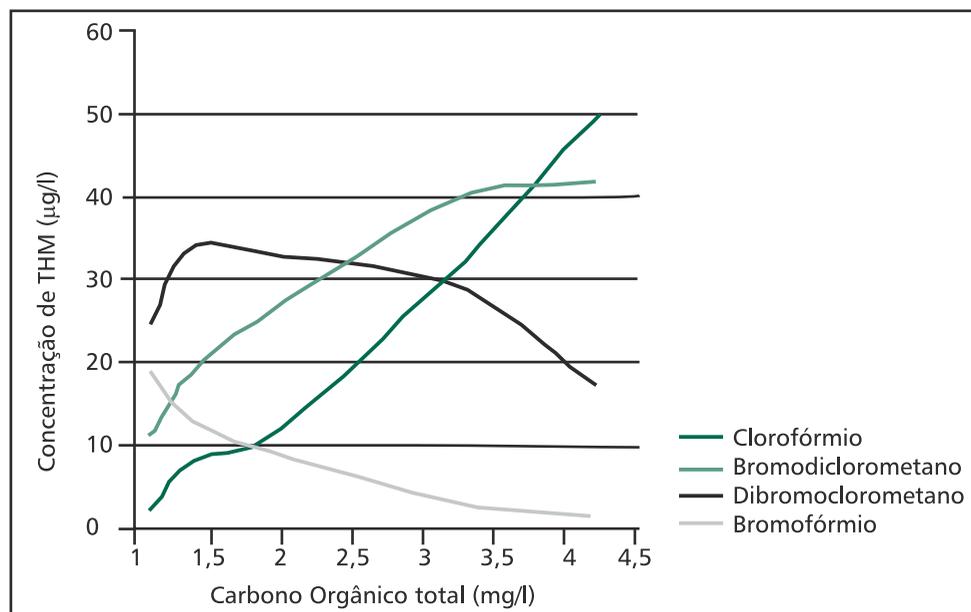
A partir do início da década de 1970 diversos estudos toxicológicos e epidemiológicos realizados nos Estados Unidos comprovaram a correlação entre o emprego de compostos de cloro e as propriedades carcinogênicas dos subprodutos da desinfecção. Conforme anteriormente assinalado, tais pesquisas culminaram com a introdução, em 1979, pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), da concentração máxima permissível de 100 µg/l, posteriormente reduzida para 80 µg/l, dos compostos trihalometanos nas águas de abastecimento. Na tabela 4.1 são apresentadas as concentrações máximas permissíveis de trihalometanos – somatório das concentrações das quatro espécies já mencionadas – para águas de abastecimento público em alguns países.

Tabela 4.1 – Concentração máxima permissível de trihalometanos em águas de abastecimento de alguns países (MACÊDO, 1997)

PAÍS	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE TRIHALOMETANOS (µg/l)
Alemanha	25
Brasil	100
Canadá	100
França	10
Holanda	75

Uma pesquisa realizada com águas sintéticas objetivou avaliar os riscos de câncer – à razão de número de casos anuais por milhão de pessoas – decorrentes da formação de trihalometanos. Inicialmente, aferiu-se a formação individual das quatro espécies em função da concentração de COT. Os ensaios foram realizados à temperatura de 25 °C, tempo de contato de três horas, concentração de brometo de 0,2 mg/L e dosagens de cloro de 0,5 mg/L a 1,5 mg/L. Na figura 4.8 apresentam-se os principais resultados desses ensaios.

Figura 4.8 – Concentrações das espécies de THM resultantes da cloração de águas sintéticas (BLACK et al., 1996)



Da análise dos resultados apresentados na figura 4.8 depreende-se que a concentração total de THM – somatório das quatro espécies – supera os limites máximos permissíveis no Brasil (100 µg/L) para teor de COT superior a 3 mg/L. Embora as águas naturais usualmente apresentem baixas concentrações de íon brometo – concentrações mais elevadas sucedem-se em áreas costeiras –, que favorece a significativa formação de compostos bromados, o limite de 3 mg/L de COT pode ser superado para outras águas de abastecimento sem acarretar concentrações elevadas de THMs.

A partir das concentrações aferidas de COT nas águas brutas estudadas, pôde-se estimar, com razoável precisão, as concentrações de THMFP, indicador da formação potencial de THMs ao longo do processo de tratamento. Posteriormente, diversos pesquisadores demonstraram boas correlações entre THMFP e COT para águas naturais potabilizáveis. Em estudo mais recente, determinou-se uma equação de correlação entre tais variáveis, obtidas por meio da análise das 59 seqüências de amostras de água bruta.

Na tabela 4.2 fornecem-se os valores máximos recomendados pela Organização Mundial da Saúde para todos os subprodutos da desinfecção. Para alguns desses compostos, o valor foi calculado a partir da seguinte probabilidade: o risco de obter um único caso de câncer adicional numa população de 100 mil indivíduos, havendo um consumo *per capita* de dois litros de água por dia durante setenta anos.

Tabela 4.2 – Concentração máxima recomendada pela OMS para os subprodutos da desinfecção (1993)

SUBPRODUTOS	VALOR RECOMENDADO (µg/l)	OBSERVAÇÕES
Bromato	25	Risco de 7×10^{-5}
Clorito	200	
2.4.6 Triclorofenol	200	Risco de 10^{-5}
Formaldeído	900	
Bromofórmio (CHBr ₃)	100	
Dibromoclorometano (CHBr ₂ Cl)	100	
Bromodichlorometano (CHBrCl ₂)	60	Risco de 10^{-5}
Clorofórmio (CHCl ₃)	200	Risco de 10^{-5}
Ácido dicloroacético	50	
Ácido tricloroacético	100	
Tricloroacetaldeído	10	
Dicloroacetoneitrilo	90	
Dibromoacetoneitrilo	100	
Tricloroacetoneitrilo	1	

Atualmente, as restrições ao uso indiscriminado do cloro como desinfetante concorreram para o intensificação do emprego de desinfetantes alternativos como amônia, ozônio, radiações ultravioletas, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, entre outros. Entretanto, recentemente, outros trabalhos evidenciaram que também produtos como o dióxido de cloro e o ozônio levam à formação de moléculas que apresentam riscos à saúde a longo prazo.

A utilização de tratamentos específicos, visando à redução de subprodutos gerados durante a desinfecção, não deve, de forma alguma, significar uma diminuição na eficiência do processo, no que tange ao seu propósito básico de garantir às populações uma água isenta de microorganismos patogênicos.

SISTEMAS DE DESINFECÇÃO PARA COMUNIDADES DE PEQUENO PORTE

Conforme mencionado, diversas pequenas comunidades são abastecidas por poços rasos que captam água em aquíferos freáticos, bastante susceptíveis a contaminações. Na maioria dos casos, tal se sucede em função da inexistência de redes coletoras de esgotos, acarretando o emprego extensivo de fossas negras, e pela escavação e revestimento inadequados dos poços. Desta forma, serão apresentadas a seguir algumas soluções simplificadas para a desinfecção de águas de pequenas instalações e em domicílios.

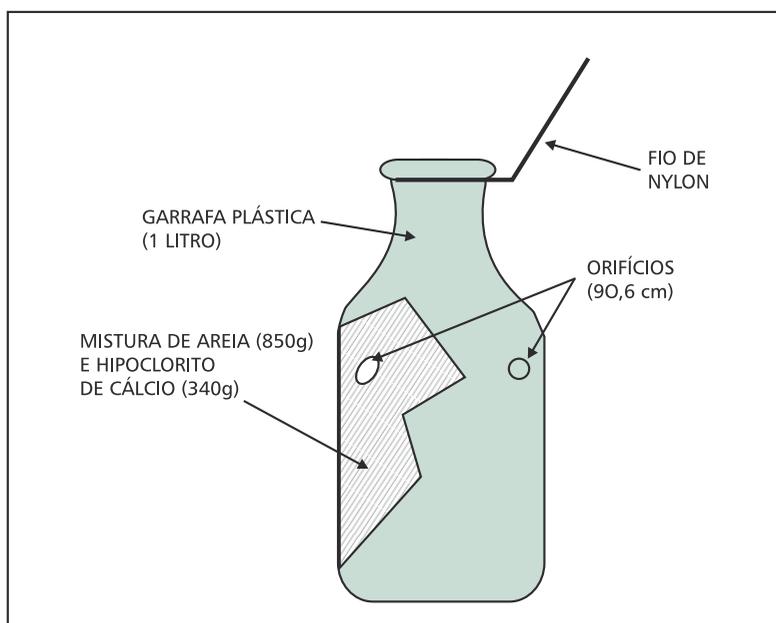
Clorador por difusão

O clorador por difusão consiste de um equipamento para dosagem de cloro, passível de ser instalado no interior de poços rasos, reservatórios públicos ou domiciliares, que libera cloro em concentrações relativamente homogêneas, mantendo um teor residual até o término de sua vida útil.

O difusor constitui-se de um recipiente contendo uma mistura de areia com hipoclorito de cálcio. Materiais como garrafas plásticas, bambu, casca de coco, entre outros, podem ser utilizados como recipiente.

A areia tem a função de facilitar a liberação lenta do cloro para a água. No caso de um recipiente de 1.000 mL, utilizam-se 340 g de hipoclorito de cálcio em pó e 850 g de areia lavada. São feitas duas perfurações diametralmente opostas de 0,6 cm de diâmetro, a 10 cm abaixo do gargalo, para promover o contato entre o desinfetante e a massa líquida. Essa mistura é suficiente para a desinfecção de um volume da ordem de 2 mil litros de água. Contudo, em função do volume do reservatório ou da vazão de recalque do poço, haverá necessidade do emprego de mais de uma unidade. Na figura 4.9 apresenta-se um desenho esquemático de um clorador por difusão.

Figura 4.9 – Desenho esquemático de um clorador por difusão



Testes desenvolvidos com esse dispositivo no município de Ibitité concluíram que o cloro difunde-se nos poços durante um período médio de 30 dias. Pesquisas recentes têm sido feitas com o clorador por difusão, com o intuito de testar

seu comportamento em face das variantes técnicas – qualidade da areia empregada, vazão, depreciação de cloro ativo – e sua eficiência na remoção de patógenos específicos.

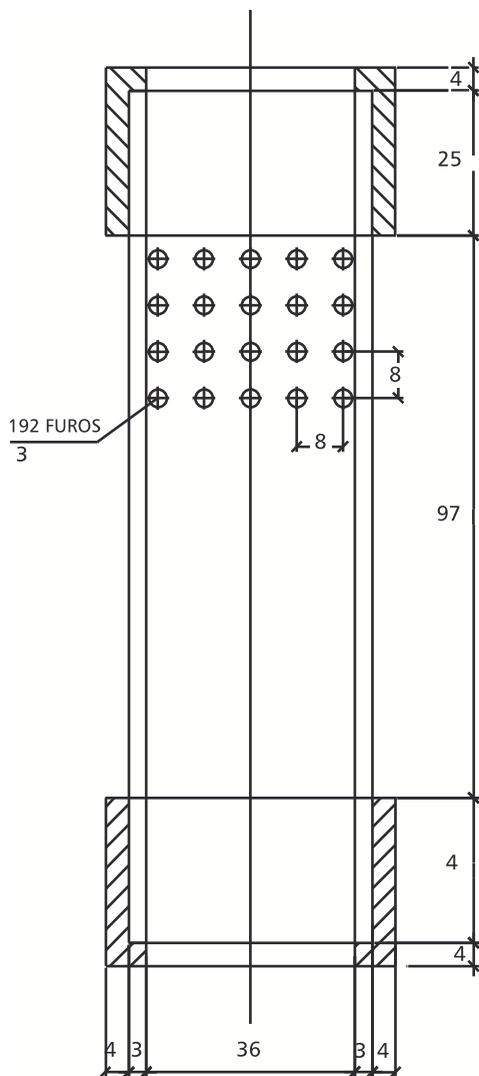
Tendo em vista o uso indiscriminado de poços rasos no país, especialmente nas localidades onde inexistem um sistema público de abastecimento de água, a utilização desse dispositivo para desinfecção pode constituir uma boa garantia da qualidade da água de consumo.

Clorador de pastilhas

O clorador de pastilhas foi desenvolvido a partir de um convênio firmado em 1978 entre a Copasa e a Secretaria de Estado da Educação de Minas Gerais, com o objetivo de melhorar a potabilidade da água distribuída a várias escolas da rede estadual de ensino da região metropolitana de Belo Horizonte. O projeto visava à construção de um dispositivo de desinfecção que aliasse eficiência, baixo custo de investimento e simplicidade operacional.

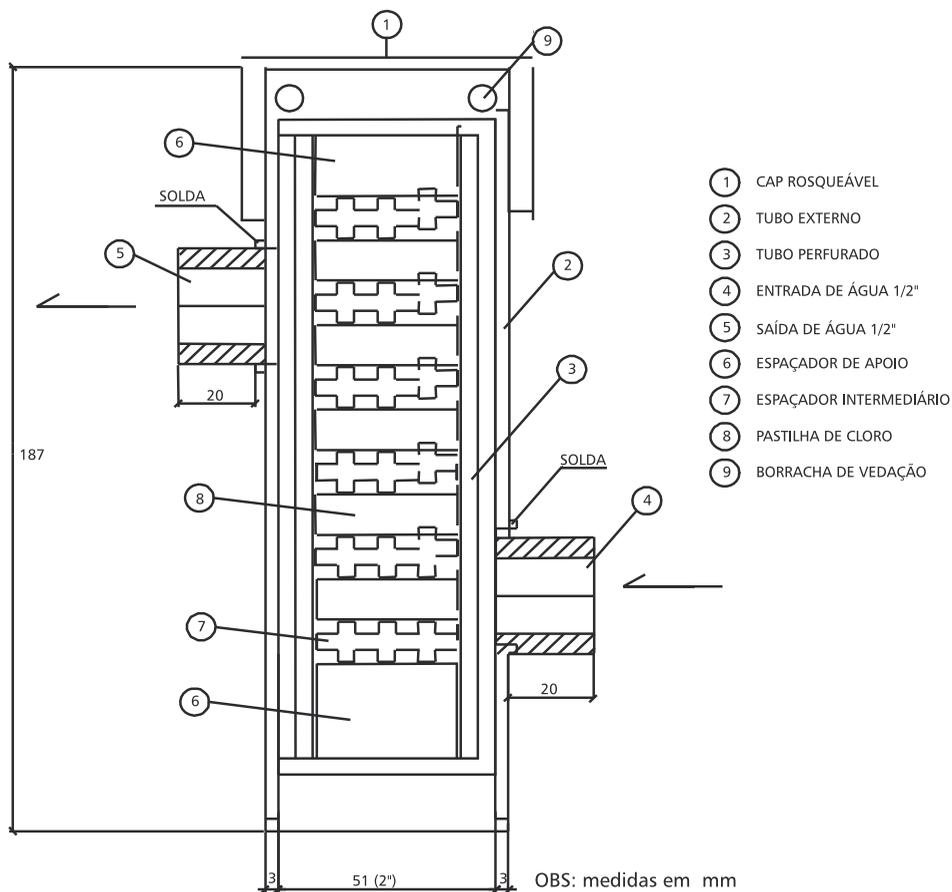
O clorador de pastilhas é composto de tubo externo com cap rosqueável e orifícios de entrada/saída de água com diâmetros de 12,7 mm, tubo perfurado, pastilhas falsas, espaçadores de apoio e intermediário. Podem ser utilizadas pastilhas de hipoclorito de cálcio ou cianureto clorado, embora as últimas sejam recomendadas apenas para a desinfecção de águas de piscinas. O cloro residual é conferido à água por meio do fenômeno de progressiva abrasão das pastilhas. Nas figuras 4.10 e 4.11 apresentam-se desenhos esquemáticos do referido dispositivo.

Figura 4.10 – Corte longitudinal e detalhe do tubo perfurado (HONÓRIO, 1989)

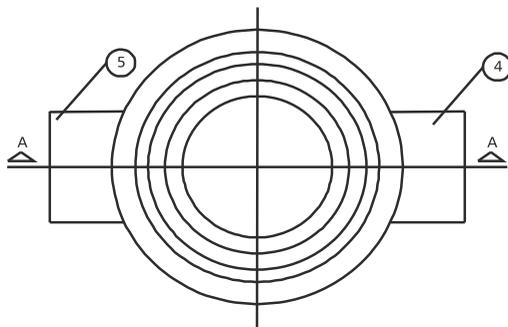


Obs: medidas em mm

Figura 4.11 – Corte longitudinal e detalhe do clorador de pastilhas (HONÓRIO, 1989)



Corte A-A



Vista superior

A forma atual do clorador surgiu após algumas modificações do dispositivo inicialmente elaborado. Essa forma permite uma maior funcionalidade do equipamento por colocar as pastilhas em maior contato com a água por meio dos espaçadores, além de dificultar a formação de fluxos preferenciais. A introdução das “pastilhas falsas” possibilitou uma melhor distribuição do produto, aplicado nos locais mais adequados.

O clorador de pastilhas pode ser instalado em um trecho paralelo à adutora de água bruta, na forma de *by-pass*, apresentando como vantagens:

- a) possibilidade de regular a velocidade de entrada no dispositivo, condicionante do desgaste da pastilha, por meio de um registro instalado no *by-pass*, sem prejuízo da vazão aduzida;
- b) a presença de dois registros, instalados a montante e a jusante do dispositivo, facilita a operação de reposição das pastilhas, que requer a interrupção do fluxo no clorador.

O fato de a instalação ser efetuada diretamente na adutora permite maior facilidade de sua localização. Tendo sido projetado para suportar pressões de até 10 kPa (aproximadamente 100 mca), é facilitada a instalação do clorador em locais mais acessíveis, principalmente quando a água bruta afluí a reservatórios situados em cotas muito elevadas.

A duração média das pastilhas, e por consequência as sucessivas substituições, deve ser definida por intermédio do controle do cloro residual. Tal dispositivo pode ser utilizado para pequenas vazões – de até 4 L/s – ou mesmo em redes de maior vazão. Entretanto, o clorador torna-se economicamente viável para pequenos sistemas, sítios, escolas, entre outros.

DESINFECÇÃO DOMICILIAR

A desinfecção domiciliar é usualmente recomendada para água distribuída sem tratamento ou de qualidade duvidosa. São comumente utilizados como agentes desinfetantes o cloro, com mais frequência o hipoclorito de sódio, e o iodo.

Para o caso do cloro, deve ser calculada a diluição necessária para o preparo da solução, observando-se o teor de cloro livre do produto empregado – usualmente entre 12% a 15% para o hipoclorito de sódio. Recomenda-se o preparo da solução a 2% e dosagens entre 1 mg/L e 5 mg/L, objetivando atender à demanda de cloro, decorrente da eventual presença de matéria orgânica na água, e ao teor de residual.

No emprego do iodo como desinfetante são utilizados tintura de iodo a 8% e uma solução de hipossulfito de sódio. Vinte gotas da tintura de iodo devem ser colocadas em um recipiente de 20 litros e, em seguida, este é completado com a água a ser tratada. Essa mistura deverá ficar em repouso por uma hora. Após esse período, 20 gotas da solução de hipossulfito são adicionadas. O recipiente é então agitado e novamente deixado em repouso por mais uma hora.

A finalidade da solução de hipossulfito é neutralizar o excesso de iodo que ainda se encontra na água, após o primeiro período de repouso. Se as 20 gotas da solução de iodo não produziram uma tonalidade amarelada na água, significa que esta se encontra altamente contaminada, sendo necessária, portanto, uma quantidade adicional de desinfetante. Nesse caso, deve-se adicionar uma gota de tintura de iodo e agitar a mistura, sucessivamente, até que se obtenha uma tonalidade amarelada.

4.4 RESERVAÇÃO E A QUALIDADE DA ÁGUA

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As unidades de reservação são tradicionalmente concebidas e operadas tendo-se como objetivos principais o atendimento às demandas máximas diária e horária, bem como, quando necessário, o combate a incêndios e a outras situações emergenciais, além da equalização das pressões no sistema de distribuição. Usualmente, os projetos dos reservatórios de abastecimento enfatizam essencialmente a integridade estrutural, os aspectos funcionais e estéticos, a distância aos centros de consumo, entre outros. As questões associadas à qualidade da água nos reservatórios são usualmente tratadas como itens de importância secundária, resumindo-se à manutenção dessas unidades. Entretanto, vários episódios recentes de surtos de doenças de veiculação hídrica foram relacionados a problemas na reservação, principalmente pela deterioração da qualidade da água tratada.

Na concepção do sistema de reservação, diversas variáveis devem ser consideradas e investigadas pelo projetista. Uma elevada razão *volume do reservatório/vazão aduzida*, resultando em tempos de detenção longos, e a configuração inadequada dos dispositivos de entrada e saída de água no reservatório, acarretando a estratificação das águas de diferentes idades, podem afetar negativamente as características do efluente. O tempo de residência – tempo de detenção ou tempo de retenção hidráulica – é diretamente afetado pela frequência do ciclo enchimento–esvaziamento do reservatório e pela variação volumétrica nesses ciclos, e estes, por sua vez, estão relacionados com a capacidade do reservatório.

Longos tempos de detenção nos reservatórios favorecem o crescimento e a aclimação das bactérias nitrificantes às condições de pH e à presença do residual do desinfetante, favorecendo a nitrificação. Em águas cloradas, tal fenômeno representa uma queda nas concentrações do cloro residual, uma vez que o cloro (agente oxidante) é utilizado na oxidação por bactérias do nitrogênio amoniacal (amônia) a nitrogênio nitroso (nitrito) e este, por sua vez, a nitrogênio nítrico (nitrato). Dependendo das práticas empregadas no controle desses microorganismos (longos períodos de cloração com cloro livre), pode ocorrer o ataque do desinfetante ao biofilme no sistema de distribuição, aumentando ainda mais o risco do crescimento de bactérias.

Por sua vez, dependendo da configuração dos dispositivos de entrada e saída de água, ou seja, do número, da distância e da posição relativa entre as canalizações afluente e efluente, bem como da existência de obstáculos para a dispersão do fluxo, observam-se diferentes comportamentos hidráulicos do fluxo – mistura completa, fluxo em pistão ou um estágio intermediário – e o aparecimento de zonas de estagnação. Em unidades com dispositivo comum de entrada e saída, geralmente situado no fundo da estrutura do tanque de reservação, verifica-se preferencialmente uma situação do tipo “primeiro a chegar, último a sair”, na qual as águas mais distantes deste apresentam elevadas idades e conseqüentemente baixos valores do residual do desinfetante. Usualmente as unidades de reservação localizadas no final da rede de distribuição, denominadas *reservatórios de jusante*, apresentam tal configuração.

Diferentemente, em reservatórios com dispositivos de chegada e saída distintos, geralmente posicionados em lados opostos na estrutura de reservação, o fluxo comporta-se comumente como “primeiro a chegar, primeiro a sair”, situação na qual a idade média das águas em seu interior será basicamente dependente do tempo de detenção hidráulico e da condição de mistura. Essas unidades são comumente localizadas no início das redes de distribuição, sendo denominadas *reservatórios de montante*.

Ainda em relação à condição de mistura, reservatórios de acumulação podem contribuir substancialmente para o aumento da idade média da água, dependendo de sua operação, locação e geometria. No tratamento de esgotos, é conhecida a utilização de tanques e bacias esféricas ou cúbicas, a fim de se promover uma boa mistura em seus interiores. As unidades de reservação com elevada razão *comprimento/largura* ou *altura/raio* comportam-se como reatores de fluxo de pistão, ou seja, podendo apresentar pouca ou nenhuma mistura da massa líquida. Nestes últimos observa-se, por amostragem em diversas profundidades, uma variação significativa das concentrações de cloro, sendo maiores as concentrações de cloro nas regiões próximas ao dispositivo de entrada.

Em reservatórios com elevado quociente *altura/largura* e cujo dispositivo de chegada se encontra no seu fundo, não há uma mistura entre as águas das camadas superiores (maiores idades) e inferiores (menores idades). Nesses casos, o tempo de residência tem significativo efeito sobre a idade média do efluente.

A qualidade do efluente de reservatórios do tipo “mistura completa” é mais sensível à variação volumétrica. Estudos demonstraram que o impacto da variação volumétrica de reservatórios sobre a idade da água no sistema de distribuição é altamente dependente do número e da locação dessas unidades. Em unidades de reservação nas quais não há uma flutuação substancial no volume, a idade média das águas verificada em seu interior pode ser muito elevada, podendo atingir dias ou mesmo semanas.

Adicionalmente, a determinação da posição relativa do reservatório à superfície do terreno – enterrado, semi-enterrado, apoiado e elevado – é um fator importan-

te a ser considerado. Reservatórios de distribuição elevados são preferidos graças à condição mais favorável de “mistura completa” e à maior variação volumétrica durante os ciclos de enchimento e esvaziamento.

As concentrações de cloro, bem como de outros constituintes, dependem das idades médias da água tratada. Desde o momento em que o efluente final tratado deixa a estação, começam a ocorrer diversas reações químicas e bioquímicas. O cloro livre é relativamente instável e sua concentração é menor em idades maiores.

NITRIFICAÇÃO EM RESERVATÓRIOS

Entre os diversos problemas associados à deterioração da água tratada, a nitrificação merece atenção especial dos profissionais responsáveis pela operação dos sistemas de abastecimento de água. A nitrificação é um processo microbiológico, realizado pelas bactérias nitrificantes, tais como as pertencentes ao gênero *Nitrosomonas*, de oxidação da amônia a nitrito e posteriormente a nitrato.

É desejável a remoção total da amônia presente na água bruta nas estações de tratamento, uma vez que a ocorrência desse fenômeno no sistema de distribuição apresenta inúmeros efeitos adversos: aumento das concentrações de nitrito e nitrato, redução do cloro residual, aumento das populações de bactérias heterotróficas e reduções do pH, da alcalinidade e do teor de oxigênio dissolvido, implicando um maior ônus para a remediação do problema e para o atendimento ao padrão de potabilidade.

Vários estudos recentes têm buscado avaliar a incidência da nitrificação em sistemas de abastecimento de água que utilizam a cloração. Nos Estados Unidos, aproximadamente dois terços dos grandes e médios sistemas de abastecimento que empregam esse gás apresentam águas com algum grau de nitrificação, mais pronunciadamente nos meses quentes do ano.

A ausência de luz solar pode promover um crescimento de bactérias nitrificantes, tornando os reservatórios cobertos mais susceptíveis à nitrificação. Todavia, reservatórios descobertos apresentam maior risco da proliferação de algas e de contaminação por outros microorganismos. As bactérias nitrificantes são extremamente resistentes à desinfecção por cloração, pois o produto da concentração de cloro pelo tempo de contato necessário à eliminação das bactérias nitrificantes é consideravelmente maior que o verificado para a *E. coli*. Dessa forma, há a tendência de esses organismos aderirem à superfície de colóides e sólidos suspensos, que lhes servem de “escudos protetores” e de substrato rico em nutrientes. Nos reservatórios de sistemas afetados pela nitrificação, verifica-se um elevado grau desses organismos em sedimentos aderidos às suas paredes e ao seu fundo.

OUTROS PROBLEMAS ASSOCIADOS À RESERVAÇÃO

Algas

O florescimento algal verificado em reservatórios de acumulação – expostos a intempéries e à radiação solar – utilizados como mananciais para abastecimento público pode ocorrer também, ainda que com menor frequência, em reservatórios de distribuição descobertos, produzindo efeitos adversos, passíveis de serem detectados por diversos parâmetros de controle da qualidade da água. Entre estes se destacam a possibilidade da produção de toxinas e o aumento da matéria orgânica particulada dissolvida ou em suspensão, responsável pela elevação das concentrações de precursores da formação de compostos trihalometanos. Adicionalmente, a deterioração de mananciais prejudica e, em alguns casos, inviabiliza o tratamento das águas naturais, em virtude da elevação do custo da potabilização, acarretando maior dosagem de produtos químicos e redução das carreiras de filtração.

O ciclo de crescimento algal apresenta quatro etapas distintas. A primeira etapa é caracterizada por um crescimento lento da população de algas. Em seguida, observa-se a denominada fase exponencial, na qual sucede uma explosão da população algal, atingindo seu valor máximo. Posteriormente, na fase estacionária, não se verifica uma variação na contagem de indivíduos. Finalmente, o número de células reduz-se drasticamente, em virtude da baixa relação *número de indivíduos/quantidade de nutrientes*.

A detecção prévia da floração de algas pode ser realizada por intermédio do monitoramento de determinadas variáveis e pela observação de alterações nas condições usuais de pH, teor de oxigênio dissolvido, turbidez, concentração de clorofila *a* e fotossíntese, sendo este último parâmetro avaliado por meio da fluorescência natural, aferida por aparelhos medidores de radiação. Tais medidas podem conduzir a diagnósticos e a ações preventivas, evitando-se, por conseguinte, o comprometimento do abastecimento de água potável. Para tanto, são necessárias a compreensão do fenômeno do crescimento algal e principalmente a identificação do período de transição entre as fases inicial e exponencial do florescimento algal.

Na tabela 4.3 a seguir apresentam-se as principais variáveis de controle, diagnóstico e ações que configuram a matriz de decisão para monitoramento de um reservatório aberto de água tratada, integrante do sistema de abastecimento da cidade de Los Angeles (EUA).

Tabela 4.3 – Matriz de decisão do monitoramento de reservatórios de abastecimento

VARIÁVEL DE CONTROLE	FATORES CONTRIBUINTE	CONDIÇÕES OBSERVADAS				
<i>Clorofila a</i>	População de algas	□	↑	↑	↓	□ ou ↓
Fotossíntese	Irradiação solar; temperatura; nutrientes	□	↑	↑	↓	□ ou ↓
Turbidez	População de algas; partículas em suspensão; substâncias dissolvidas; vento, ondas	□	↓	↓	↑	↓
Oxigênio dissolvido	Fotossíntese; respiração; mistura do fluido	↔	↔	↑	↓	↔ ou ↓
pH	Fotossíntese; cloro	↔	↔	↔ ou ↑	↔ ou ↓	↔ ou ↓
Diagnóstico		Estável	Surto de crescimento iminente	Crescimento em progressão	Crescimento em declínio	Carga de sólidos não identificada
Ação		Operações rotineiras	Inspeção, tratamento	Inspeção, tratamento	Inspeção	Inspeção

- = sem alterações por três dias
 ↑ = três acréscimos consecutivos superiores a 5%
 ↓ = três decréscimos consecutivos superiores a 5%
 ↔ = nenhuma alteração no dia anterior
 ↑ = acréscimo no dia anterior superior a 20%
 ↓ = decréscimo no dia anterior superior a 20%

Deterioração do concreto

Aliada aos fatores já alinhavados – decaimento do cloro residual combinado ou livre em função da oxidação de compostos orgânicos e/ou inorgânicos e florescimento algal –, a qualidade da água pode sofrer alterações em função do contato da água armazenada com o concreto das paredes do reservatório. Esse fenômeno é explicado pelas distintas concentrações de carbonato de cálcio na água e na superfície de contato das unidades de reservação, observando-se uma deterioração do concreto. Tal processo ocorre mais acentuadamente no caso de águas brandas, por apresentarem menores concentrações de carbonato de cálcio (mg/L CaCO₃), configurando-se em um meio mais ávido pelo sal.

Prince (apud PERSECHINI, 1994) identificou determinados parâmetros de qualidade da água como responsáveis pela agressividade de águas muito brandas, recomendando os seguintes valores para tais parâmetros:

- Sólidos totais dissolvidos : 50 mg/L a 150 mg/L;
- pH > 6,0;
- CO₂ < 20 mg/L

A preocupação com a deterioração do concreto justifica-se na medida em que tal fenômeno implica a formação de uma superfície rugosa e, conseqüentemente, de um substrato bem mais propício à adesão de patogênicos e outros microorganismos, bem como pelo comprometimento da estrutura de tais unidades.

4.5 REDES DE DISTRIBUIÇÃO

INTRODUÇÃO

A rede de distribuição consiste na última etapa de um sistema de abastecimento de água, constituindo-se de um conjunto de condutos assentados nas vias públicas ou nos passeios, aos quais se conectam os ramais domiciliares. Dessa forma, a função da rede de distribuição é conduzir as águas tratadas aos pontos de consumo, mantendo suas características de acordo com o padrão de potabilidade. Na rede de distribuição, dois principais tipos de condutos podem ser classificados:

- a) condutos principais, também denominados *tronco* ou *mestres*. Canalizações de maior diâmetro responsáveis pela alimentação dos condutos secundários, utilizados para o abastecimento de extensas áreas da cidade;
- b) condutos secundários, canalizações de menor diâmetro responsáveis pelo abastecimento dos pontos de consumo. A alimentação desses pontos depende diretamente dos primeiros, e a área abastecida por um conduto desse tipo é restrita às suas vizinhanças.

O traçado dos condutos deve, preferencialmente, considerar aspectos referentes à pavimentação das vias, ao tráfego local e à proximidade de grandes consumidores.

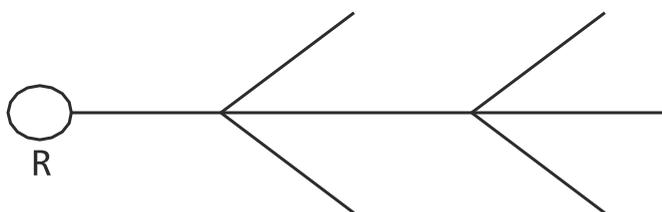
TIPOS DE REDES

Conforme a disposição dos condutos principais, podem ser definidos basicamente dois tipos de redes: ramificadas e malhadas.

Redes ramificadas

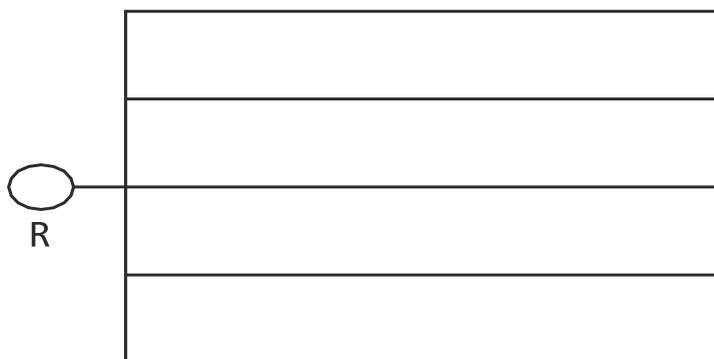
Nesse tipo de rede, os condutos são dispostos a partir de um conduto principal central. Em uma primeira alternativa, essa ramificação da rede assemelha-se a uma *espinha de peixe*. Esse esquema é típico de cidades de menor porte que apresentam desenvolvimento particularmente linear. Na figura 4.12 apresenta-se um desenho esquemático desse tipo de rede ramificada.

Figura 4.12 – Desenho esquemático de uma rede ramificada tipo *espinha de peixe*



Em uma segunda alternativa de traçado de redes ramificadas (figura 4.13), os condutos principais são paralelos e ligam-se em suas extremidades a outros condutos principais. Também neste caso os diâmetros das tubulações decrescem na direção do fluxo.

Figura 4.13 – Desenho esquemático de uma rede ramificada tipo *grelha*

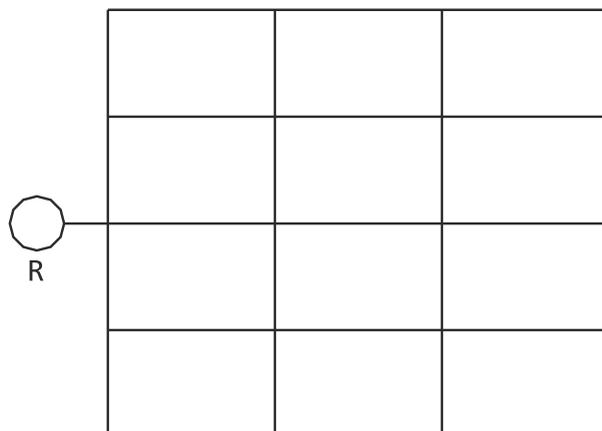


As redes ramificadas apresentam como principais limitações ao seu emprego a paralisação da quase totalidade do abastecimento por ocasião de eventuais manutenções dos condutos principais e também pela significativa redução das concentrações de cloro residual nas extremidades da rede.

Redes malhadas

Nesse caso, os condutos formam circuitos ou anéis que têm a disposição de anéis ou malhas, disposição esta muito mais empregada do que a de redes ramificadas. Diferentemente destas últimas, nas redes malhadas, graças à forma de circuitos, a interrupção do escoamento em qualquer trecho não necessariamente paralisa setores a jusante, pois o escoamento pode ocorrer segundo sentidos distintos aos condutos principais. Em relação à qualidade da água distribuída, as redes malhadas minimizam a possibilidade de redução significativa da concentração de cloro residual, em virtude da inexistência de *pontas secas* nas extremidades. A figura 4.14 apresenta um desenho esquemático desse tipo de rede de distribuição.

Figura 4.14 – Desenho esquemático de uma rede malhada



Mesmo nas grandes cidades, o traçado das redes de distribuição consiste em uma mescla dos dois tipos. Enquanto nas regiões centrais ou mais adensadas predominam as redes malhadas, nas áreas periféricas ou em expansão as redes ramificadas são conectadas às primeiras e extensivamente empregadas.

As redes de distribuição devem dispor de registros e dispositivos de descarga instalados em pontos adequados a fim de lhes facilitar a manutenção.

FUNCIONAMENTO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

A rede de distribuição deve funcionar continuamente com pressão dinâmica superior a 100 kPa – aproximadamente 10 mca –, segundo recomendações da Norma Brasileira, objetivando minimizar a possibilidade da ocorrência de pressões negativas que possam acarretar contaminações na rede. Tais contaminações ocorrem em pontos de vazamentos da rede de distribuição próximos à rede coletora de esgotos, acarretando a sucção dos despejos. Mesmo assim, em casos excepcionais admite-se a instalação das tubulações imersas em líquidos poluídos. Tal assertiva explica a elevação dos custos de implantação de redes de distribuição de água em cidades nas quais o aquífero freático se apresenta próximo à superfície.

As canalizações de água devem, sempre que possível, ser assentadas em valas situadas a mais de três metros de distância da rede coletora de esgotos. Nos cruzamentos, a distância vertical deve ser superior a 1,8 metro. Caso esses limites não possam ser seguidos, devem ser tomados cuidados especiais para a proteção da canalização de água para que não haja contaminação, tais como o revestimento dos condutos de esgotos com concreto.

No assentamento de novas tubulações ou em caso de reparos das existentes, deve-se cuidar da desinfecção destas com uma solução concentrada de cloro (50 mg/L) durante 24 horas. A solução deve ser descarregada após esse período e as

canalizações envidadas com água limpa. Devem ser feitos exames bacteriológicos para controlar essa operação.

Na operação das redes de distribuição, os vazamentos constituem um dos principais fatores intervenientes nas perdas do sistema de abastecimento. Considera-se vazamento toda água que é perdida no sistema, para a qual não há possibilidade de medição e cobrança, enquanto desperdício é a água perdida por responsabilidade do consumidor, que é medida e cobrada. Teoricamente é possível construir um sistema absolutamente estanque, mas não é o que realmente ocorre com o decorrer do tempo, principalmente em razão das juntas mal executadas.

Além da perda de receita do sistema de abastecimento, os vazamentos podem facilitar a entrada de água contaminada no interior da tubulação. Mesmo em sistemas continuamente sob pressão, há a possibilidade de ocorrência de pressões negativas e a conseqüente entrada de água do subsolo para a tubulação. Nas cidades, essa água é geralmente comprometida pelos vazamentos das galerias de esgotos e águas pluviais e pelas infiltrações da superfície. As pressões negativas podem ainda ocorrer pela descontinuidade de pressão decorrente do fechamento de válvulas para manutenção ou pelo subdimensionamento de tubulações, acarretando elevação da perda de carga na rede. Tais interrupções no abastecimento explicam a usual construção de reservatórios domiciliares no país.

Ainda que menos freqüente, outro grave problema na operação e na manutenção das redes está relacionado com as rupturas dos condutos. A ruptura na rede pode ter como única conseqüência a paralisação total ou parcial do abastecimento na região, além da contaminação. Todavia, em função do traçado da rede, se a linha rompida não estiver separada por registros em suas ligações, haverá necessidade de uma manobra maior, afetando regiões ainda maiores do sistema.

Uma ruptura de um conduto principal pode ter como prejuízo toda uma região ou bairro. No caso de alguma linha de grande diâmetro e alta pressão, a correção do problema pode abrir grande escavação, afetando as construções próximas ao local. Caso a construção da rede pluvial na área não tenha sido muito eficiente, há também o risco de inundação de grande área enquanto é feito o esvaziamento da linha. Pode ocorrer também que, ao serem fechados os registros, ocorra uma onda de balanço na linha, de grande velocidade, provocando um golpe de aríete, o que pode causar até outra ruptura.

Com o passar do tempo, um problema que pode vir a ocorrer refere-se à redução da capacidade de escoamento das canalizações. As principais causas dessa redução podem ser:

a) Corrosão interna das canalizações metálicas com a formação de tubérculos

Caso a água tratada contenha teores de ferro em solução sob a forma de íon ferroso, poderão ocorrer a oxidação e a precipitação, criando-se depósitos que, com o decorrer do tempo, aumentam de volume formando protuberâncias denominadas *tubérculos*. Vale ressaltar que, em algumas canalizações mais antigas de ferro fundido, verificou-se o apa-

recimento de tubérculos mesmo na condução de água tratada com ferro total inferior à concentração de 0,3 mg/L recomendada pelas Portarias nº 36/1990 e nº 1.469/2000.

Além da velocidade de escoamento – limitada pela Norma Brasileira em 0,6 m/s e 3,5 m/s – diversos fatores podem aumentar a ocorrência de incrustações, relacionados às características das tubulações e da água tratada. Entre os primeiros se destacam a natureza do tubo, o grau de impurezas e as características do revestimento interno. Entre as características físicas e químicas destacam-se o pH, a temperatura, o oxigênio dissolvido, o gás carbônico e a concentração de sais dissolvidos.

b) Incrustações

Algumas águas são consideradas quimicamente instáveis e suscetíveis de causar problemas no sistema de distribuição, especialmente nas instalações prediais de água quente. Águas de elevada dureza, ricas em sais de cálcio e magnésio e, menos freqüentemente, de ferro e alumínio podem ser bastante incrustantes. Esses sais podem ocorrer naturalmente na água bruta ou serem conseqüência de dosagens elevadas dos produtos químicos usualmente empregados no tratamento. Contudo, em alguns casos a incrustação pode ser benéfica, formando uma camada que protege a tubulação contra os efeitos da corrosão.

c) Deposição de materiais orgânicos e de minerais insolúveis

Os mananciais podem apresentar grande variedade de qualidade, principalmente nas estações chuvosas, quando as águas se apresentam ricas em partículas em suspensão. Tais partículas, nos sistemas de abastecimento nos quais a água não é tratada adequadamente, são carregadas para a rede de distribuição, podendo ocorrer a deposição nos trechos de baixa velocidade ou nas pontas de rede e assim reduzir a seção de escoamento, podendo acarretar pressões negativas.

Em virtude dos fatores mencionados, a progressiva deterioração das tubulações da rede de distribuição concorre para reduzir a estanqueidade das juntas, elevando a freqüência de vazamentos e as perdas do sistema.

FORMAÇÃO DE BIOFILMES

Considerações iniciais

A prevalência de bactérias nas redes de distribuição tem sido detectada desde o início do século XX, mesmo nos sistemas que apresentavam água tratada aparentemente isenta de microorganismos. Com o desenvolvimento da microscopia eletrônica, foram realizadas diversas pesquisas que apontaram a existência de comunidades de microorganismos aderidas às paredes das tubulações. A hipótese mais provável consiste na sobrevivência dos microorganismos e posterior readaptação no interior dos condutos formando os denominados *biofilmes*.

Os biofilmes constituem uma fina película biológica formada no interior das redes de distribuição de água por meio da fixação e da multiplicação dos microorganismos nas paredes internas dos condutos. Alguns tipos de microorganismos aderem diretamente à superfície do tubo, por meio de sua membrana celular. Outros tipos de bactérias formam uma cápsula de polissacarídeos denominada *Glycocalyx*, que ancora a bactéria à superfície da tubulação. O fluxo da água passa carreando os nutrientes essenciais à sobrevivência e ao crescimento desses microorganismos. Além das bactérias, nessa película podem se desenvolver diversas espécies de fungos, protozoários, actinomicetos e outros pequenos invertebrados. Tais microorganismos são passíveis de conferir sabor e odor, além de problemas de saúde e estéticos à água distribuída.

Diversos fatores interferem na sobrevivência das bactérias à ação do desinfetante, tais como a agregação e a aderência à superfície dos condutos, a forma encapsulada – em alguns casos, até três vezes mais resistente –, a espécie predominante e as condições sob as quais ocorreu seu desenvolvimento.

Dessa forma, bactérias do grupo coliforme, de origem fecal ou não, ao persistirem ou penetrarem no sistema de distribuição – por intermédio de vazamentos, retrossifonagem ou em pontos da rede submetidos a pressões negativas –, podem se desenvolver no interior dos biofilmes, mesmo quando a água apresentar concentração elevada de cloro residual.

Fatores intervenientes na formação dos biofilmes

A taxa de formação de biofilmes depende das propriedades físico-químicas da interface, da aspereza da superfície e de fatores fisiológicos relativos aos microorganismos. A velocidade de escoamento da água e possíveis efeitos dos desinfetantes podem ser importantes para minimizar a aderência do biofilme à superfície da tubulação.

Já há alguns anos, pesquisadores têm investigado os fatores intervenientes no crescimento dos biofilmes, concluindo que o mesmo ocorre quando a matéria orgânica e os sedimentos se acumulam nas redes de distribuição de água e a temperatura da água se eleva. Fatores hidráulicos e ambientais como o pH, a temperatura e a pluviosidade, além da presença de resíduos de desinfetantes, a corrosão e a acumulação de sedimentos têm sido relacionados ao crescimento de bactérias nas águas de abastecimento.

a) Fatores ambientais

A temperatura da água talvez seja o mais relevante fator determinante do crescimento das bactérias. A temperatura influencia na eficiência do tratamento, na taxa de crescimento microbiano, na eficiência de desinfecção, na dissipação do residual de desinfetante e nas taxas de corrosão. Secundariamente, o aumento da temperatura acarreta a elevação da demanda e, conseqüentemente, da velocidade de escoamento, maximizando o transporte de nutrientes.

A pluviosidade é outro fator ambiental que pode influenciar a qualidade da água de abastecimento. As concentrações de nutrientes orgânicos na água bruta relacionam-se com a elevação da turbidez nos períodos chuvosos, paralelamente à dificuldade de diversas unidades de tratamento na potabilização de águas muito turvas. Em alguns sistemas de abastecimento foram rotineiramente registradas elevações da presença de bactérias coliformes nas redes de distribuição sete dias após as precipitações mais intensas.

b) Fatores hidráulicos

A velocidade da água pode influir no crescimento microbiano de formas paradoxais. Altas velocidades acarretam a elevação do fluxo de nutrientes e do residual do desinfetante para a superfície da tubulação, além do efeito de cisalhamento que pode minimizar a formação dos biofilmes. Nesse contexto, a (nem sempre possível) reversão do sentido do fluxo no interior das redes também minimiza tal formação. Em outra vertente, velocidades baixas favorecem o acúmulo de sedimentos – e de nutrientes –, a queda da concentração residual do desinfetante e, nas pontas secas, a elevação da concentração de microorganismos.

c) Disponibilidade de nutrientes

O carbono orgânico, o nitrogênio e o fósforo constituem nutrientes essenciais ao crescimento da comunidade microbiana, assumindo uma relação entre suas concentrações da ordem de 100:10:1 para as bactérias heterotróficas. Especificamente o carbono orgânico, cuja concentração nas águas naturais, usualmente no intervalo de 1,0 mg/L a 3,0 mg/L, relaciona-se com a cor verdadeira, constitui fonte de energia, sendo imprescindível ao crescimento celular e à assimilação de nutrientes pelos microorganismos.

d) Acúmulo de sedimentos

Conforme já mencionado, baixas velocidades de escoamento podem fomentar a deposição de sedimentos orgânicos e inorgânicos nas redes de distribuição. Além de reduzir o efeito do desinfetante, tais depósitos tornam-se *habitats* adequados ao crescimento de microorganismos. Além dos colóides e das partículas suspensas não removidas no tratamento, finos de carvão ativado empregados nas estações podem contribuir para a formação do substrato dos biofilmes.

e) Concentração residual do desinfetante

A manutenção da concentração residual de desinfetante também apresenta inevitável dicotomia. Dosagens mais elevadas minimizam o crescimento de microorganismos nas redes de distribuição. Já foram registradas reduções de 2 logs (99%)

na concentração de bactérias existentes nos biofilmes do aqueduto de Los Angeles para residuais de cloro entre 1 mg/L e 2 mg/L. A elevação desse residual para 3 mg/L a 5 mg/L acarretou uma redução de 3 logs. Todavia, tais concentrações podem concorrer para a formação de trihalometanos, aumento da taxa de corrosão nos condutos e de reclamações dos usuários.

f) Corrosão e tipo de material

A corrosão de sistemas de distribuição pode resultar de fatores químicos, físicos ou biológicos. A corrosão pode formar nódulos nas paredes de sistemas de distribuição, os quais sejam capazes de concentrar nutrientes e de dar proteção aos organismos contra a ação do desinfetante e das forças de cisalhamento do fluxo da água. O cloro residual por si só pode aumentar a corrosão por meio da reação com íons de ferro e a conseqüente precipitação de hidróxido de ferro, passível de ser um importante nutriente para o crescimento microbiano.

Em relação ao material constituinte dos condutos, por motivos já expostos, as tubulações de ferro são mais susceptíveis à formação dos biofilmes, quando comparadas às de cobre, aço galvanizado e PVC.

4.6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NB-592: projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público*. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

AWWA. *Journal Main Stream*, vol. 43, n. 10, October 1998.

BLACK, B. D.; HARRINGTON, G. W.; SINGER, P. C. Reducing cancer risks by improving organic carbon removal. *Journal of American Water Works Association*, n. 6, p. 40-52, June 1996.

BORGES, E. S. M. *Avaliação da eficiência da remoção bacteriológica em unidades domiciliares de tratamento de água*. 2000. 145 p. Dissertação de Mestrado. EEUFMG, Belo Horizonte, 2000.

COTRUVO, J.; VOGT, C. D. Rationale for water quality standards and goals. AWWA – *Water Quality and Treatment*. 4. ed. McGraw-Hill, Inc., 1990.

DE LUCA, S. J.; PEREIRA, A. M. S. *Análise de trihalometanos em águas de abastecimento público*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 15. Belém, *Anais...* setembro de 1989.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. *Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas*. Rio de Janeiro: Abes, 1999, 114 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Control of biofilm growth in drinking water distribution systems*. Seminar Publication, 55 p., June 1992.

FAIR, G. M; Geyer, J.C; OKUN, D. A. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. México: Limusa, 1973.

GONZAGA, A. S. M. *Clorador por difusão: avaliação de desempenho e de parâmetros de projeto*. 1996. 72 p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1996.

HAAS, C. N. *Disinfection*. AWWA – *Water quality and treatment*. 5. ed. McGraw-Hill, Inc., 1999.

HONÓRIO, J. A. S. *Contribuição ao estudo do clorador de pastilha para uso em sistemas de abastecimento de água de pequeno porte*. 1989. 102 p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1989.

MACÊDO, J. A. B. Determinação de trihalometanos em águas de abastecimento público e de indústria de alimentos. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 3, n. 1, p. 7, março 1997.

MARTINS, J. A. Redes de distribuição de água. *Técnica de abastecimento e tratamento de água*. São Paulo: Cetesb, 1978. 549 p.

MELLEM, F. N. Limpeza, revestimento e desinfecção. *Operação e manutenção de sistemas de distribuição de água*. São Paulo: Cetesb, 1976. 523 p.

NAGHETTINI, M. C. *Engenharia de recursos hídricos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, EEUFMG, 1999. (Apostila). 251 p.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Desinfecção da água*. Gabinete Regional para a Europa, março 1996.

PERSECHINI, M. I. M. *Soluções de projeto adotadas nos reservatórios de distribuição de água para abastecimento público dos sistemas Serra Azul e Rio Manso segundo recomendações da NB-593/77*. 1994. 103 p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1994.

PINTO COELHO, M. M. L.; BAPTISTA, M. B. *Fundamentos de Engenharia Hidráulica*. Belo Horizonte: UFMG, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, 1998. (Apostila). 235 p.

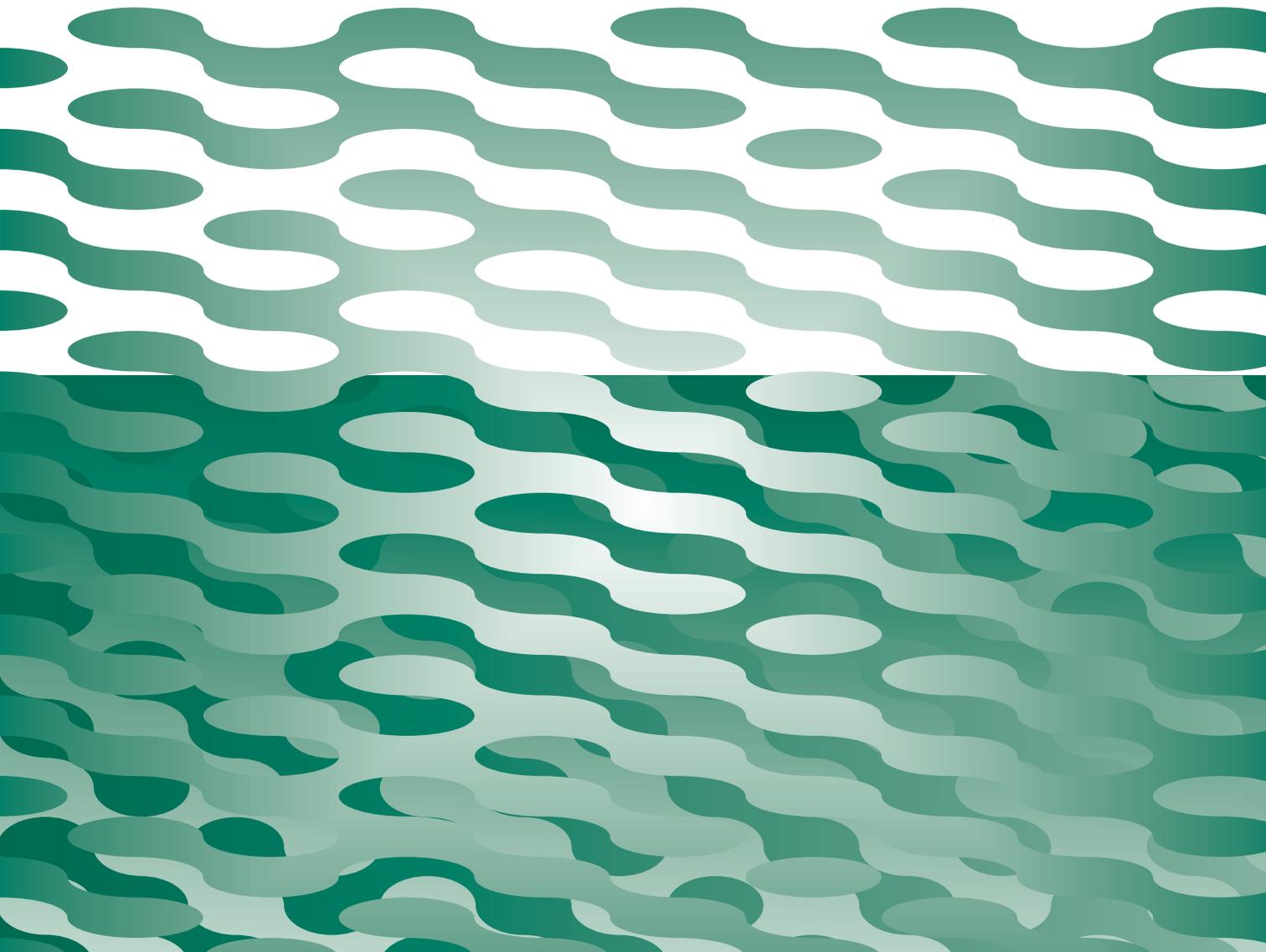
REVISTA MINEIRA DO SANEAMENTO BÁSICO. *O clorador de pastilhas – a nova invenção mineira*. Ano III, n. 19, Belo Horizonte, 1985.

RISSATO, S. R.; GALHIANE, M. S.; LIBÂNIO, M.; VON SPERLING, E. *Assessment of the presence of organochlorides in the water supply system of Bauru (Brazil)*. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVI, Lima. *Anais...*, novembro 1998.

VIANA, F. C. *Desinfecção da água de cisterna – uso dos cloradores por difusão*. 2. ed. Setor de Epidemiologia, Departamento de Medicina Veterinária Preventiva da Escola de Veterinária da UFMG, 1984.

CONTROLE E VIGILÂNCIA DA QUALIDADE
DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

5



5 CONTROLE E VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

5.1 ASPECTOS CONCEITUAIS

No momento em que se procura estruturar o Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano, no âmbito da consolidação dos serviços e ações no SINVSA, torna-se importante enfatizar e, na medida do possível, delimitar conceitos como vigilância, controle e monitoramento.

O conceito de vigilância pode ser entendido como o acompanhamento sistemático de eventos adversos à saúde, com o propósito de aprimorar as medidas de controle, incluindo em sua aplicação a coleta sistemática da informação, a análise dos dados e a disseminação das informações adequadamente analisadas (WALDMAN, 1998). De acordo com o mesmo autor, entre os objetivos da *vigilância da saúde*, poder-se-iam destacar:

- identificar tendências, grupos e fatores de risco com vistas a elaborar estratégias de controle de eventos específicos adversos à saúde;
- descrever o padrão de ocorrência de doenças de relevância em saúde pública;
- recomendar, com bases objetivas e científicas, as medidas necessárias para prevenir ou controlar a ocorrência de específicos agravos à saúde; e
- avaliar o impacto de medidas de intervenção.

Esse termo surge na perspectiva de uma análise ampliada das relações entre os modos de vida de distintos grupos populacionais e as diversas expressões do processo saúde–doença, cuja operacionalização busca integrar as ações de vigilância epidemiológica, sanitária e ambiental (TEIXEIRA et al., 1998). Nesse sentido, a vigilância em saúde ambiental é definida no SINVSA como um conjunto de ações que proporciona o conhecimento e a detecção de qualquer mudança nos fatores determinantes e condicionantes do meio ambiente que interferem na saúde humana, com a finalidade de identificar as medidas de prevenção e controle de riscos ambientais relacionados às doenças ou outros agravos à saúde. Genericamente, a criação de um sistema de informações, em conjunto com as demais esferas da vigilância, fornecerá subsídios para a intervenção (por intermédio de medidas de prevenção e controle), a fim de produzir impactos positivos no ambiente e, conseqüentemente, para a saúde (CÂMARA et al., 1998).

Nesse contexto, a vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano pode ser entendida como o conjunto de ações adotadas continuamente pelas autoridades de saúde pública para garantir que a água consumida pela população atenda ao padrão e às normas estabelecidas na legislação vigente e para avaliar os riscos que a água de consumo representa para a saúde humana.

Waldman (1998) alerta que não se deve confundir vigilância com ações de controle. Citando Langmuir (1971), o autor enfatiza que as ações de vigilância devem assumir um papel de “olhos e ouvidos da autoridade sanitária”, assessorando-a quanto à necessidade e à propriedade de medidas de controle. Ademais, ressalta o mesmo autor, *vigilância* não deve também ser entendida como sinônimo de *epidemiologia*, sendo esta, como ciência ou prática da saúde, bem mais ampla que a vigilância.

Na própria Portaria MS nº 518, de 25 de março de 2004, assim como na Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990, ambas do Ministério da Saúde, procura-se distinguir controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, como destacado a seguir:

- controle da qualidade da água para consumo humano – conjunto de atividades, exercidas de forma contínua pelo(s) responsável(is) pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção dessa condição;
- vigilância da qualidade da água para consumo humano – conjunto de ações adotadas continuamente pela autoridade de saúde pública para verificar se a água consumida pela população atende a esta Norma e para avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana.

Cabe destacar uma importante distinção entre essas definições: as ações de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano são atribuições do setor saúde, enquanto as ações de controle da qualidade da água para consumo humano são de competência do(s) responsável(is) pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água.

Waldman (1998) procura ainda distinguir os termos *vigilância* e *monitoramento*. Segundo o autor, o termo monitoramento, recentemente introduzido no idioma português, é usado em textos técnicos na área da saúde com o mesmo significado de *monitoring* em inglês, no sentido de acompanhar e avaliar. Entretanto, no mesmo sentido, o termo *monitoramento* há muito se encontra consolidado no âmbito da Engenharia Sanitária e Ambiental.

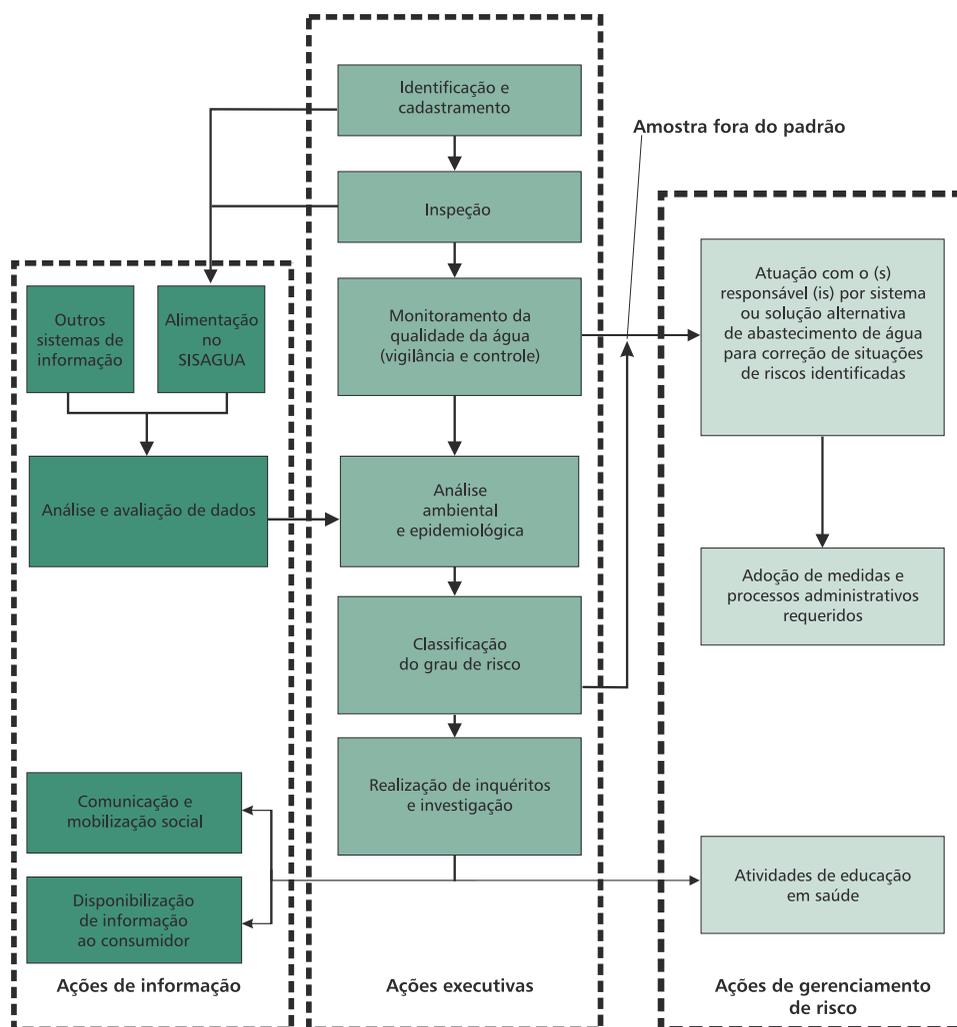
De acordo com Last (1988), o termo monitoramento pode ser entendido como a elaboração e a análise de mensurações visando a detectar mudanças no ambiente ou no estado de saúde da comunidade. Para Waldman (1998), entre as aplicações do monitoramento em saúde pública inclui-se a análise contínua de indicadores da qualidade de produtos de consumo humano e de riscos ambientais, para oferecer subsídios às medidas pertinentes.

Assim, o monitoramento seria um instrumento da vigilância quando aplicado em um sistema de informações para a agilização das medidas de controle.

À luz desse exercício conceitual, programas de monitoramento permitiriam a obtenção dos indicadores para a implementação do subsistema de vigilância em

saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano, ou seja, a criação e a alimentação de um sistema de informações cuja análise regular, em conjunto com as distintas esferas das vigilâncias ambiental, sanitária e epidemiológica, possibilita a identificação de fatores de risco (fontes e sistemas de abastecimento de água para consumo humano) e populações vulneráveis à exposição do risco (consumo de água), subsidiando o desencadeamento de medidas de controle (figura 5.1).

Figura 5.1 – Ações básicas para operacionalização da vigilância da qualidade da água para consumo humano



Fonte: Adaptado do Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano.

Em que pese a importância dessa delimitação conceitual, para que as distinções não se percam em sutilezas semânticas, na prática e no momento de implantação do Programa Nacional o importante é que o setor saúde incorpore o exercício da vigilância da qualidade da água para consumo humano, adequando-o ao melhor e possível arranjo institucional na ponta do sistema, ou seja, na esfera municipal no âmbito do SUS.

5.2 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS

O estudo, a avaliação e o controle da qualidade das águas de abastecimento no nosso país estão associados fundamentalmente a dois dispositivos legais: Portaria MS nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, e Resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama).

A Portaria MS nº 518/2004 contém normas e padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano a serem observados em todo o território nacional. Cabe ao Ministério da Saúde, em articulação com as autoridades sanitárias competentes dos estados, Distrito Federal e municípios, a adoção das medidas necessárias ao fiel cumprimento da legislação. A portaria apresenta as definições e os conceitos mais relevantes à sua interpretação e aplicação e dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. Na Portaria nº 36/1990, o padrão de potabilidade era dividido em três grupos: características físicas, organolépticas e químicas (componentes orgânicos e inorgânicos que afetam a saúde); características bacteriológicas; e características radioativas. Na Portaria MS nº 518/2004, o padrão de potabilidade foi dividido da seguinte maneira: padrão microbiológico (incluindo padrão de turbidez para a água pós-filtração ou pré-desinfecção); padrão para substâncias químicas que representam risco à saúde (substâncias inorgânicas e orgânicas, agrotóxicos, cianotoxinas, desinfetantes e produtos secundários da desinfecção); padrão de radioatividade; e, padrão de aceitação para consumo humano. As Portarias encontram-se reproduzidas na íntegra nos Anexos I, II e III.

A tabela 3 da Portaria MS nº 518/2004 apresenta o padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde (Anexo II), merecendo destaque alguns aspectos relacionados a esse padrão que estão resumidos e brevemente justificados como a seguir:

Componentes inorgânicos

- essencialmente, foram mantidas as substâncias contidas na Portaria nº 36/1990 graças à sua importância para a saúde indicada pelos estudos toxicológicos disponíveis;
- foram incluídas outras substâncias (p. ex.: antimônio) em função de sua importância toxicológica;
- foi excluída a prata, em razão da pequena relevância toxicológica das concentrações usualmente encontradas na água;

- os Valores Máximos Permitidos (VMP) adotados foram os recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), com exceção do cádmio, para o qual foi estabelecido o limite preconizado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) em função de limitação analítica.

Componentes orgânicos

- algumas substâncias foram incluídas em função de seu relevante emprego industrial no país e/ou de sua importância para a saúde (p. ex.: o cloreto de vinila, que é carcinogênico);
- essencialmente, foram adotados os VMPs sugeridos pela OMS;
- cabe destacar a inclusão de um VMP para cianotoxinas, mais especificamente microcistinas, em função do reconhecido problema de saúde pública decorrente da presença em excesso de cianobactérias em mananciais eutrofizados. O não-estabelecimento de VMP para outras cianotoxinas deve-se à escassez de informações e não-disponibilidade de técnicas analíticas padronizadas.

Agrotóxicos

- foram incluídos e/ou excluídos vários princípios ativos de agrotóxicos, com base em informações sobre a comercialização de diversos produtos no Brasil e a permissão de uso pelo Ministério da Saúde. Alguns foram mantidos, apesar de não serem mais comercializados no país, em virtude da sua prolongada persistência no meio ambiente;
- foram priorizados os cinquenta produtos mais usados no país, principalmente os herbicidas, que representam mais de 60% de todos os praguicidas comercializados no Brasil;
- o glifosato, apesar de não possuir toxicidade elevada, foi incluído como medida cautelar de saúde pública por ser um dos herbicidas mais utilizados no Brasil;
- todos os VMP adotados coincidem com os recomendados pela OMS.

Desinfetantes e produtos secundários da desinfecção

- para a adoção desses parâmetros, foram considerados os diferentes processos de desinfecção (cloro, dióxido de cloro e ozonização);
- o formaldeído e os ácidos haloacéticos foram excluídos, por serem suficientemente cobertos pela determinação de bromato e trihalometano total;
- os VMPs adotados basearam-se nos valores guias da OMS (trihalometano total, cloro, bromato, monocloramina e 2,4,6 triclorofenol) e nas normas da EPA (clorito- adaptado aos cálculos da OMS).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), em sua Resolução nº 357/2005, define a classificação das águas do território nacional com os seguintes objetivos: assegurar seus usos preponderantes; definir o grau de exigência para tratamento de efluentes; facilitar o enquadramento e o planejamento do uso de recursos hídricos, criando instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas; e preservar a saúde humana e o equilíbrio ecológico aquático. Estabeleceu-se a divisão das águas em três grandes grupos: doces, salobras e salinas. As primeiras, usualmente empregadas para consumo humano são subdivididas em classes:

a) Classe Especial – Águas destinadas:

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

b) Classe 1 – Águas que podem ser destinadas:

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

Nas águas de Classe 1, deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termo tolerantes /100 mL em 80% ou mais de pelo menos seis amostras, colhidas durante o período de um ano com frequência bimestral. A DBO₅ dias, a 20°C, até 3 mg/L O₃. Materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais, óleos e graxas, substâncias que comuniquem gosto ou odor, corantes provenientes de fontes antrópicas, e resíduos sólidos objetáveis deverão estar virtualmente ausentes da água.

c) Classe 2 – Águas que poder destinadas:

- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esportes e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e,
- À aquicultura e à atividade de pesca.

Nas águas de Classe 2 estão estabelecidos as condições e padrões da classe 1 com exceção da presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais e os coliformes termotolerantes para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução Conama nº 274/2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1000 coliformes termotolerantes /100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A DBO₅ dias a 20°C até 5 mg/L O₃.

d) Classe 3 – Águas que podem ser destinadas:

- ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- à pesca amadora;
- à recreação de contato secundário; e
- à dessedentação de animais.

Nas águas de Classe 3, a presença de coliformes termotolerantes para o uso de recreação de contato secundário não deverá ser excedido um limite de 2 500 coliformes termotolerantes /100 mililitros em 80% ou mais de 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral, DBO₅ dias, 20°C de até 10 mg/L O₂ e pH de 6,0 a 9,0. Além destes requisitos, as águas deverão apresentar concentrações de substâncias abaixo dos limites estabelecidos para esta classe.

e) Classe 4 – Águas que poder destinadas:

- à navegação; e,
- à harmonia paisagística.

Nas águas de Classe 4, a concentração de oxigênio dissolvido deve ser superior a 2,00 mg/L, em qualquer amostra, e o pH deve estar entre 6 e 9.

Finalmente, vale mencionar a Política Nacional dos Recursos Hídricos – Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 –, que dispõe sobre todos os aspectos da gestão da água. Baseia-se nos fundamentos de que a água é um bem de domínio público, constituindo um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos destina-se ao consumo humano e à dessedentação de animais. A lei considera ainda a *bacia hidrográfica* como a unidade territorial para a implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos, devendo-se adotar uma gestão descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

5.3 IMPORTÂNCIA DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA NACIONAL DE VIGILÂNCIA AMBIENTAL EM SAÚDE RELACIONADA À QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Em seu atual estágio de desenvolvimento socioeconômico, o Brasil apresenta-se como um país pleno de contrastes, que lhe conferem a marca da *heterogeneidade estrutural*, ou seja, da convivência, por vezes em um mesmo conglomerado espacial, de elementos de modernidade e atraso. Teorias como esta têm sido amplamente utilizadas para explicar o atual perfil epidemiológico do país (POSSAS, 1989), identificado como típico, ao mesmo tempo peculiar, de *transição epidemiológica* (MONTEIRO, 1995).

Aqui, ao contrário do observado nos países industrializados, a transição epidemiológica não é marcada pela gradual substituição da predominância das doenças típicas da “pobreza” por doenças características da “riqueza”, mas sim pela convivência entre ambas; ou seja, à medida que a incidência das doenças da “modernidade” aumenta, permanecem resíduos elevados de doenças do “atraso”.

Nesse quadro, o país apresenta ainda elevada incidência de doenças infecciosas e parasitárias, muitas das quais, sem dúvida, encontram entre suas causas a precariedade da infra-estrutura sanitária.

Dados oficiais disponíveis indicam que mais de 80% da população urbana brasileira tem acesso a serviços de abastecimento de água, porém não mais que 40% dela é atendida por serviços adequados de esgotamento sanitário (HELLER; ARAÚJO, 1995).

Percebe-se nessas estatísticas uma ilustração dos contrastes e da heterogeneidade antes referidos como elementos definidores do atual perfil epidemiológico e sanitário do país. Esses números revelam também a fragilidade e a insuficiência das “barreiras sanitárias” existentes para o efetivo controle das doenças de transmissão hídrica, mais especificamente daquelas relacionadas com o consumo de água.

A propósito, cabe lembrar dois dos “Princípios do Saneamento”: o da *abrangência das ações* e o da *importância do detalhe*, conforme definidos por Cynamon (1975).

Do alcance e controle

As medidas de saneamento, para serem realmente efetivas dentro de uma determinada área, têm de ser abrangentes; proteger por medidas de saneamento uma pequena área dentro de um contexto maior significa colocar em risco de saúde não somente a área como um todo, mas, principalmente, a área supostamente protegida.

A importância do detalhe

A obtenção de resultados em saneamento depende da observância de detalhes mínimos. Os exemplos são inúmeros: a falta de desinfecção inicial de reservatórios e redes de água [...] e a recontaminação de águas tratadas [...].

Aplicados ao abastecimento e ao consumo de água, esses princípios demonstram a insuficiência de estatísticas como a cobertura populacional do abastecimento de água como indicadores de “barreiras sanitárias” efetivas. Para além da cobertura, importa conhecer a qualidade da água produzida, distribuída e consumida, para o que irão concorrer diversos fatores, como o controle operacional dos processos de tratamento, as condições de distribuição (regularidade, intermitência, operação e manutenção da rede), as condições de armazenamento e o consumo domiciliar.

Nesse sentido, vale observar outras estatísticas oficiais, as quais revelam que, em 1989, do total de municípios do país, mais de 90% da água distribuída nas Regiões NE, SE, S e CO recebem algum tipo de tratamento, enquanto na Região Norte esse percentual é de 67,6%. Além disso, informações referentes aos serviços prestados de saneamento revelam que municípios com menos de 20 mil habitantes utilizam a simples cloração em 39,4% de sua água tratada e apenas 52,6% do volume distribuído recebe o tratamento convencional. A maior parte do volume de água tratada e distribuída (75%) utiliza o processo convencional de tratamento, empregado em maiores proporções nas Regiões NE, SE e Sul, e as redes de distribuição são as principais responsáveis pelas perdas físicas nos sistemas de abastecimento, podendo atingir até 40% do volume de água produzido (PNSB/IBGE, 2000).

O controle de qualidade da água por parte de quem a produz é uma exigência legal, estabelecida já na Portaria nº 36/1990 e mantida na Portaria nº 518/2004, como atesta o exemplo:

“Ao(s) responsável(is) pela operação de sistema de abastecimento de água incumbe:

- manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, por meio de:
 - controle operacional das unidades de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição;
 - análises laboratoriais da água, em amostras provenientes das diversas partes que compõem o sistema de abastecimento;
- manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída.”

Garantir o efetivo cumprimento da Portaria MS nº 518/2004 significa assegurar que a qualidade da água distribuída atenda aos padrões de potabilidade. Entretanto, não é nossa realidade rotineira, conforme demonstram os números citados. Além disso, não custa lembrar que atualmente quase um quarto da população urbana brasileira e cerca de 70% da população rural não dispõem de condições adequadas de suprimento de água.

Em resumo, não basta conhecer a qualidade da água distribuída, mas também e acima de tudo a qualidade da água consumida pela população como um todo. Nesse sentido, a consolidação da vigilância da qualidade da água para consumo

humano no âmbito do setor saúde assume, entre outros, o duplo papel de reforçar a exigência do controle por parte de quem produz e distribui a água, como também de garantir o controle mínimo da qualidade da água consumida pela população não atendida pelos sistemas coletivos, ou mesmo em municípios totalmente fragilizados do ponto de vista técnico-gerencial em saneamento básico.

Quanto ao último aspecto, torna-se necessário voltar à delimitação das ações de vigilância e controle: “controle mínimo” deve ser entendido como a implementação de programas de monitoramento como subsídio às ações de vigilância.

Por fim, seria desnecessário enfatizar a importância do exercício da vigilância da qualidade da água para consumo humano num momento de crescentes pressões no sentido da privatização dos serviços de saneamento.

5.4 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

A própria definição de controle de qualidade da água contida na Portaria MS nº 518/2004 sugere a amplitude das ações necessárias à garantia da qualidade da água consumida pela população.

Um sistema de abastecimento de água encontra-se sujeito a diversas interferências, no tempo e no espaço, de forma que a garantia da qualidade da água no ponto de consumo depende de um gerenciamento integrado de todo o sistema.

De início, é de se destacar que a qualidade da água tratada e distribuída se encontra estreitamente relacionada à qualidade da água bruta. Nesse sentido, cabe lembrar os conceitos tradicionalmente aplicados à água potável e à água potabilizável.

Em tese, do ponto de vista tecnológico, qualquer água pode ser tratada, porém nem sempre a custos acessíveis. Decorre daí o conceito de *tratabilidade da água*, relacionado à viabilidade técnico-econômica do tratamento, ou seja, de dotar a água de determinadas características que potencializem um ou mais usos.

Em linhas gerais, água potável é aquela que pode ser consumida sem riscos à saúde e sem causar rejeições por suas características organolépticas. Portanto, *água potabilizável* é aquela que, em função de suas características *in natura*, pode adquirir características de potabilidade, por meio de processos de tratamentos viáveis do ponto de vista técnico-econômico.

A quase totalidade das unidades de tratamento de água instalados no país emprega processos convencionais (MOITA, 1993), reconhecidamente ineficientes na remoção de substâncias, como metais pesados e agrotóxicos (HADDAD FILHO; REGINA, 1992; NASCIMENTO; VON SPERLING, 1998).

Assim, a degradação dos mananciais coloca em risco a garantia da potabilidade da água. Nesse sentido, do ponto de vista prático, seria inócua a mera detecção na água tratada de substâncias refratárias aos processos convencionais de tratamento. Portanto, o monitoramento da água bruta assume uma importância de controle preventivo, subsidiando ações de proteção dos mananciais.

Além disso, cumpre destacar o quase óbvio: para a garantia da qualidade da água tratada não basta a mera existência de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), mas também, e principalmente, de um mínimo de controle operacional de todos os processos unitários de tratamento. Tal controle materializa-se na adequação do tratamento às variações sazonais da qualidade da água bruta, na observação das carreiras máximas de filtração – vinculadas à possibilidade de transpasse ou consumo da carga hidráulica disponível –, na garantia de um tempo mínimo de contato para a desinfecção e na manutenção de teores de cloro residual na rede de distribuição.

Do tratamento ao consumo, uma série de interferências pode comprometer a qualidade da água tratada, por exemplo: as condições de segurança dos reservatórios de distribuição, a falta de manutenção na rede de distribuição (vazamentos, limpeza e descarga periódica), a intermitência do abastecimento gerando subpressões e riscos de contaminação na rede, as condições de armazenamento domiciliar.

Em resumo, a garantia da potabilidade da água consumida depende, entre outras ações, de uma avaliação integrada da sua qualidade ao longo do abastecimento, do manancial ao consumidor.

Dessa forma, programas de monitoramento da qualidade da água devem abranger a coleta e a análise laboratorial de amostras em diversos pontos:

- água bruta;
- água tratada;
- na entrada do sistema de distribuição;
- ao longo da rede de distribuição; e
- em pontos de consumo.

Como já citado, a avaliação da qualidade da água bruta cumpre os seguintes objetivos:

- avaliação da tratabilidade da água;
- adequação dos processos de tratamento à qualidade da água bruta e a respectivas variações sazonais; e
- controle preventivo, subsidiando ações de proteção dos mananciais.

Algumas disposições normativas que classificam as águas superficiais em função de seus usos, a exemplo da Resolução Conama nº 357/2005, incluem um grande número de parâmetros a serem monitorados (cerca de 100). Para as águas destinadas ao consumo humano, após tratamento convencional, seria de se supor que houvesse uma correspondência entre os limites na água bruta e os padrões de potabilidade, o que, entretanto, não se verifica em alguns parâmetros (NASCIMENTO; VON SPERLING, 1998).

Um diagnóstico do uso e da ocupação do solo na bacia de captação é uma ferramenta essencial para a identificação dos parâmetros a serem privilegiados em

um programa de monitoramento. Por exemplo, onde existam atividades agrícolas intensas torna-se essencial a análise de agrotóxicos; onde existam atividades de garimpo, não se pode negligenciar a análise de mercúrio, e assim por diante.

Por sua vez, a avaliação da água tratada visa, obviamente, à verificação do atendimento sistemático, ao longo do tempo, dos padrões de potabilidade. Apresenta-se também como um mecanismo indispensável de controle de qualidade dos processos de tratamento empregados. Quando do emprego de processos convencionais, por água tratada se entende água desinfetada, mais usualmente água clorada; entretanto, o avanço do conhecimento no campo da microbiologia sanitária sugere também o monitoramento contínuo da qualidade da água filtrada, conforme será discutido adiante.

Já o monitoramento na entrada do sistema de distribuição permite a detecção inicial de qualquer comprometimento da qualidade da água pós-tratamento, por exemplo, em reservatórios de distribuição malconservados. O mesmo papel cumpre o monitoramento da qualidade da água ao longo da rede de distribuição e em pontos de consumo. A escolha de pontos de coleta de amostras pode levar em conta critérios tais como:

- representatividade;
- densidade populacional;
- locais com grande afluência de público, como centros comerciais e estações rodoviárias; e
- locais estratégicos, como hospitais, creches e escolas.

Por fim, um programa de monitoramento da qualidade da água para consumo humano que se pretenda abrangente deve focalizar ainda as fontes individuais de abastecimento e a qualidade da água consumida pela população não atendida pelos sistemas coletivos.

A análise da água constitui uma atividade indispensável tanto às ações de vigilância quanto às de controle, e a cada uma delas corresponderá um desenho específico de programa de monitoramento, ou seja, pontos de amostragem, número de amostras a serem coletadas, frequência de amostragem e parâmetros a analisar.

5.5 CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Conforme já destacado, o controle da qualidade da água para consumo humano é de responsabilidade do prestador de serviços de abastecimento de água.

As ações de controle da qualidade da água para consumo humano, “destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção dessa condição” (Portaria MS nº 518/2004), consistem em “descobrir, evitar ou eliminar causas reais ou potenciais que possam comprometer direta ou indiretamente

a potabilidade da água fornecida” (Portaria nº 443/BSB, do Ministério da Saúde, de 3 de outubro de 1978).

Nesse sentido, o controle da qualidade da água para consumo humano inclui programas de monitoramento com vistas a conhecer sua qualidade nas diversas partes do sistema por meio de análises físico-químicas e microbiológicas, acompanhados do gerenciamento de todo o sistema, a fim de detectar as causas da variação da qualidade da água e adotar as medidas preventivas e corretivas cabíveis.

Além das análises da água, o gerenciamento do sistema inclui as seguintes atividades:

- a proteção dos mananciais;
- o controle e a otimização dos processos unitários de tratamento;
- a proteção e a conservação dos reservatórios de distribuição;
- a operação e a manutenção das adutoras;
- a operação e a manutenção da rede de distribuição, com destaque para:
 - a garantia da regularidade do abastecimento e da pressurização da rede; e
 - o controle de vazamentos.

A Portaria nº 443/BSB, ainda vigente, estabelece normas e requisitos mínimos a serem obedecidos no projeto, na construção, na operação e na manutenção dos serviços de abastecimento público de água para consumo humano, com a finalidade de obter e manter a potabilidade da água. Ou seja, a Portaria nº 443/BSB é essencialmente uma portaria de controle da qualidade da água para consumo humano, incluindo a prescrição de que a inspeção sanitária de um sistema de abastecimento deva ser realizada “no mínimo a cada seis meses e sempre que se evidenciar a necessidade de sua realização”. A garantia das boas práticas em todo o sistema de produção e distribuição de água encontra-se também expressa na Portaria MS nº 518/2004, por exemplo, entre as obrigações dos responsáveis pelos sistemas de abastecimento:

[...] manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída.

De fato, várias das atividades inerentes ao controle da qualidade da água, tal como o controle dos processos unitários de tratamento, devem constituir atividades rotineiras. Por sua vez, as análises da água nas diversas partes do sistema constituirão as evidências para a necessidade de realização de inspeções sanitárias neste, a fim de detectar e corrigir as causas de comprometimento da sua qualidade.

No que tange às análises da água bruta, não há nenhuma exigência na Portaria nº 518/2004. Entretanto, a Portaria nº 443/BSB estabelece o seguinte critério para a frequência de amostragem (águas interiores de manancial de superfície), conforme é apresentado na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Frequência de amostragem em função da classe do curso d'água

CLASSE	NÚMERO MÍNIMO DE ANÁLISES COMPLETAS POR ANO
1	2
2	3
3	4
4	6

As classes referem-se ao enquadramento das águas em função de sua qualidade, como estabelecido na Portaria nº 13/GM, de 15 de janeiro de 1976, do Ministério do Interior. Cabe a ressalva de que a classificação mais recente para os corpos d'água encontra-se estabelecida na Resolução Conama nº 357/2005.

Já a Portaria MS nº 518/2004 estabelece a exigência de monitoramento semestral de mananciais superficiais de acordo com os parâmetros exigidos na legislação vigente de classificação e enquadramento de águas superficiais, ou seja, a Resolução Conama nº 357/2005. Cabe destacar que tal exigência tem por objetivo o gerenciamento de riscos à saúde associados ao consumo humano de água, por exemplo, ao fornecer subsídios à avaliação da compatibilidade entre as características da água bruta e o tipo de tratamento existente, não se superpondo ao monitoramento com fins de enquadramento ambiental.

Para muitos, a Portaria nº 36/1990 não passava de peça fictícia em face da capacidade instalada nos municípios para a realização da “bateria de análises” exigidas. Entretanto, as críticas de não-factibilidade de aplicação dos instrumentos legais de controle de qualidade da água ficam atenuadas diante da abordagem dinâmica e flexível da Portaria nº 518/2004, expressa por exemplo em:

O responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água pode solicitar à autoridade de saúde pública a alteração na frequência mínima de amostragem de determinados parâmetros [...] após avaliação criteriosa, fundamentada em inspeções sanitárias e, ou, em histórico mínimo de dois anos do controle e da vigilância da qualidade da água, a autoridade de saúde pública [...].

A Portaria nº 36/1990 já significou, e muito mais a Portaria MS nº 518/2004 significa, inegavelmente, um importante e indispensável dispositivo de controle da qualidade da água do ponto de vista de prevenção à saúde. Não custa lembrar que diversas substâncias porventura presentes na água bruta são refratárias aos processos convencionais de tratamento e, nesse caso, as “avaliações sanitárias” servirão como reforço ao não-negligenciamento da busca de determinadas substâncias na água bruta.

Em relação ao controle de qualidade da água tratada, a Portaria MS nº 518/2004 estabelece a frequência de amostragem e o número de amostras a serem coletadas.

5.6 VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

De volta aos aspectos conceituais, as ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano apresentam três componentes fundamentais (WALDMAN, 1998):

- coleta de dados;
- análise regular dos dados; e
- ampla e periódica disseminação dos dados.

Por sua vez, o monitoramento de indicadores da qualidade de produtos de consumo humano e de riscos ambientais preenche as seguintes funções (WALDMAN, 1998):

- permite a identificação de perfis e fatores de risco que:
 - oferecem subsídios às ações de fiscalização; e
 - aplicados a um sistema de informações, constituem um instrumento da vigilância para a agilização das ações de controle.

À luz desses conceitos e do exposto sobre os fatores que concorrem para a obtenção e a manutenção da potabilidade da água, o programa de vigilância da qualidade da água para consumo humano deve abranger:

- avaliação integrada da qualidade da água bruta, tratada e distribuída, por meio de análises laboratoriais e da análise de dados secundários, fornecidos pelo “controle”;
- inspeção, caracterização e avaliação dos sistemas de abastecimento de água, do manancial ao consumidor;
- análise regular dos dados em conjunto com indicadores de saúde e epidemiológicos; e
- divulgação sistemática dos dados, subsidiando as ações de controle, educação, comunicação e mobilização social.

Tal abordagem encontra-se traduzida na Portaria MS nº 518/2004, superando uma importante limitação da Portaria nº 36/1990, uma vez que esta se apresentava essencialmente como uma legislação dirigida ao controle da qualidade da água. Na Portaria MS nº 518/2004, as ações de vigilância e controle ganham igual destaque, como medidas complementares no sentido último de gerenciamento de riscos à saúde, por exemplo, ao dispor entre as responsabilidades das autoridades de saúde pública:

- exercer a vigilância da qualidade da água para consumo humano em sua área de competência, em articulação com os responsáveis pelo controle da qualidade da água para consumo humano, de acordo com as diretrizes do SUS;

- sistematizar e interpretar os dados gerados pelo responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, assim como pelos órgãos ambientais e pelos gestores de recursos hídricos, em relação às características da água nos mananciais, sob a perspectiva da vulnerabilidade do abastecimento de água quanto aos riscos à saúde da população;
- efetuar, sistemática e permanentemente, uma avaliação de risco à saúde humana de cada sistema de abastecimento ou solução alternativa, por meio de informações sobre:
 - a ocupação da bacia contribuinte ao manancial e o histórico das características de suas águas;
 - as características físicas dos sistemas e as práticas operacionais e de controle da qualidade da água;
 - histórico da qualidade da água produzida e distribuída; e
 - a associação entre agravos à saúde e situações de vulnerabilidade do sistema;
- auditar o controle da qualidade da água para consumo humano produzida e distribuída e as práticas operacionais adotadas;
- implementar um plano próprio de amostragem de vigilância da qualidade da água para consumo humano, consoante diretrizes específicas elaboradas pela Funasa; e
- manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível à população e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública.

AValiação Integrada da Qualidade da Água para Consumo Humano

Por avaliação integrada entende-se a interpretação conjunta de dados sobre a qualidade da água para consumo humano ao longo do abastecimento/consumo, compondo as partes um todo dinâmico.

Análise de dados secundários

Cabe ao responsável pelo abastecimento da água produzida e distribuída a informação, ao setor saúde, sobre sua qualidade, conforme exigência legal estabelecida pela Portaria MS nº 518/2004; de acordo com esta, os responsáveis por sistemas ou por solução alternativa de abastecimento de água devem encaminhar à autoridade de saúde pública relatórios sobre o controle da qualidade da água para consumo humano, com frequência, respectivamente, mensal e trimestral.

Tais informações devem estar organizadas de uma forma tal que facilite sua análise, constituindo um eficaz instrumento de vigilância.

Um exemplo seria o cômputo do índice de atendimento às exigências legais, como ilustrado a seguir. A fim de verificar se as coletas realizadas seguiram as recomendações da portaria de potabilidade, adota-se o parâmetro Índice de Coleta (IC), calculado da seguinte forma:

$$IC = \frac{\text{Nº de amostras coletadas na rede de distribuição}}{\text{Nº de amostras a coletar segundo a legislação vigente}} \times 100$$

Obviamente, o IC ideal seria 100%.

Para avaliar se a água distribuída atende ao padrão bacteriológico de potabilidade, utiliza-se o Índice Bacteriológico (IB), obtido por:

$$IB = \frac{\text{Nº de amostras com ausência de coliformes totais ou termotolerantes}}{\text{Nº de amostras coletadas}} \times 100$$

Analogamente, adota-se o Índice Físico-Químico (IFQ), a fim de avaliar o atendimento aos valores máximos permitidos (VMP) pelo padrão de potabilidade para os diversos parâmetros.

$$IFQ = \frac{\text{Nº de amostras com valores iguais ou inferiores ao VMP para cada parâmetro}}{\text{Nº total de amostras coletadas}} \times 100$$

A sistematização dos dados permitirá à “vigilância” verificar o efetivo cumprimento da Portaria MS nº 518/2004 por parte do órgão responsável pelo controle da qualidade da água – “obter e manter a potabilidade da água” – bem como orientar seu próprio programa de coleta e análises de amostras, a partir da identificação de pontos estratégicos e/ou vulneráveis do sistema.

Coleta e análise de amostras

A Portaria MS nº 518/2004 define um número elevado de parâmetros físico-químicos, além do controle microbiológico, a ser determinado em um programa de controle da qualidade da água para consumo humano.

Está claro que um programa de vigilância da qualidade da água para consumo humano não deve se preocupar em cumprir integralmente o disposto para o controle de qualidade da água, tanto em número de amostras e frequência de amostragem quanto em número de parâmetros analisados, sob pena de duplicidade de esforços e funções. Na implementação do Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano, coordenado

pela CGVAM, foram inicialmente priorizadas as análises de cloro residual, turbidez, fluoretos, mercúrio, agrotóxicos e coliformes.

Do ponto de vista de vigilância da saúde, um programa de monitoramento no âmbito da vigilância da qualidade da água para consumo humano deve ser o mais abrangente e representativo possível de todas as formas de abastecimento e consumo de água existentes em uma comunidade, permitindo, inclusive, mais para além disso, o “controle” do controle da qualidade da água para consumo humano.

Nesse sentido, o delineamento de um programa de amostragem poderia ser definido por meio de critérios gerais, tais como:

- identificação de pontos vulneráveis do sistema pelas informações fornecidas pelo “controle”;
- identificação de pontos estratégicos de amostragem, conforme sugerido no item 5.4 deste capítulo: representatividade, afluência de público, escolas, etc.;
- identificação de pontos não cobertos pelo “controle”, a exemplo de carros-pipa e fontes de abastecimento da população não atendida pelo sistema público/coletivo.

O número de amostras a coletar, a frequência de amostragem e os parâmetros a analisar em um programa de vigilância da qualidade da água para consumo humano dependerão obviamente da capacidade local instalada, tanto de recursos humanos quanto laboratoriais (Anexo IV). Genericamente, pode-se pensar na implementação gradual, em termos de complexidade, das ações inerentes à vigilância da qualidade da água para consumo humano, conforme discutido adiante (item 5.9 deste capítulo).

A título de ilustração, são apresentados alguns resultados do controle de qualidade da água para consumo humano realizado pelo Serviço de Tratamento de Água da Universidade Federal de Viçosa (STA/UFV)¹ (tabela 5.2).

1 A UFV conta com um sistema próprio de abastecimento de água, incluindo a captação, o tratamento e a distribuição no interior do *campus* universitário, atendendo a uma população da ordem de 10 mil habitantes. O programa de controle de qualidade da água para consumo humano inclui a coleta semanal de amostras em pontas de rede, além de pontos considerados estratégicos, como o restaurante universitário, os alojamentos estudantis, a creche e o posto de saúde.

Tabela 5.2 – Controle de qualidade da água para consumo humano na rede de distribuição da Universidade Federal de Viçosa

MÊS	ÍNDICE BACTERIOLÓGICO (%)				ÍNDICE DE TURBIDEZ (%)				ÍNDICE DE CLORO RESIDUAL (%)			
	PA1	PA2	PA3	PA4	PA1	PA2	PA3	PA4	PA1	PA2	PA3	PA4
Ago./98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Set./98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3
Out./98	20,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	60,0	0,0	0,0	40,0
Nov./98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	75,0
Dez./98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	75,0	0,0	0,0	50,0
Jan./99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	25,0
Fev./99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	25,0
Mar./99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0
Abr./99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	67,0	0,0	0,0	33,3
Mai./99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	0,0
Jun./99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jul./99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Anual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,0	0,0	0,0	25,0

PAi = ponto de amostragem na rede de distribuição, sendo i = 1 a 4

Observa-se que os pontos de amostragem 1 e 4 são pontos críticos em termos de garantia dos teores mínimos de cloro residual e, portanto, constituem foco de atenção especial por parte da vigilância.

É interessante ainda notar que no único evento em que foi detectada a presença de coliformes, registrou-se também uma elevação da turbidez, o que indica claramente problemas na rede de distribuição.

A importância da vigilância da qualidade da água de fontes de abastecimento alternativas aos sistemas coletivos pode ser visualizada na tabela 5.3, que reúne alguns resultados de análises realizadas pelo STA/UFV em amostras coletadas no perímetro urbano do Município de Viçosa/MG.

Tabela 5.3 – Qualidade bacteriológica de fontes individuais de abastecimento de água para consumo humano no perímetro urbano do Município de Viçosa/MG

FONTE DE ABASTECIMENTO	COLIFORMES TOTAIS (NMP/100 ML)	COLIFORMES FECAIS (NMP/100 ML)	ESCHERICHIA COLI (NMP/100 ML)
Cisterna (poço raso):			
Amostra 1	5,4 x 10 ²	1,2 x 10	9,3
Amostra 2	1,8 x 10 ²	ND	ND
Amostra 3	ND	ND	ND
Amostra 4	> 16 x 10 ²	> 16 x 10 ²	4,5
Amostra 5	13 x 10 ²	13 x 10 ²	1,2 x 10 ²

Continua...

Continuação

FONTE DE ABASTECIMENTO	COLIFORMES TOTAIS (NMP/100 ML)	COLIFORMES FECAIS (NMP/100 ML)	<i>ESCHERICHIA COLI</i> (NMP/100 ML)
Amostra 6	ND	ND	ND
Amostra 7	1,8 x 10 ¹	NR	ND
Amostra 8	ND	ND	ND
Amostra 9	ND	ND	ND
Amostra 10	ND	ND	ND
Amostra 11	2,1 x 10 ¹	1,1 x 10 ¹	2
Amostra 12	3,3 x 10 ¹	ND	ND
Amostra 13	ND	ND	ND
Amostra 14	ND	ND	ND
Amostra 15	2,4 x 10 ²	4,9 x 10 ¹	6,8
Amostra 16	ND	ND	ND
Amostra 17	2,4 x 10 ²	4,0 x 10 ¹	6,8
Amostra 18	ND	ND	ND
Amostra 19	ND	ND	ND
Amostra 20	ND	ND	ND
Amostra 21	3,3 x 10 ¹	1,1 X 10 ¹	4,5
Amostra 22	ND	ND	ND
Amostra 23	4,5	ND	ND
Amostra 24	4,9 x 10 ¹	4,9 x 10 ¹	ND
Amostra 25	ND	ND	ND
Amostra 26	7,9 x 10 ¹	7,9 x 10 ¹	2
Amostra 27	4,9 x 10 ¹	3,7	ND
Amostra 28	7,9 x 10 ¹	5,6	ND
Amostra 29	2	ND	ND
Amostra 30	ND	ND	ND
Amostra 31	4,5	ND	ND
Amostra 32	3,3 x 10 ¹	2,3 x 10 ¹	ND
Nascente (mina):			
Amostra 1	< 1,6 x 10 ²	9,2 x 10 ²	5,4 x 10 ²
Amostra 2	1,7 x 10 ¹	ND	ND
Amostra 3	1,1 x 10 ¹	7,0 x 10 ¹	1,8
Amostra 4	4,9 x 10 ¹	3,3 x 10 ¹	ND
Amostra 5	2,3 x 10 ¹	ND	ND
Amostra 6	1,4 x 10 ²	4,5	4,5
Amostra 7	2,2 x 10 ¹	6,1	ND
Amostra 8	> 1,6	3,3 x 10 ¹	3,1 x 10
Amostra 9	5,4 x 10 ²	5,4 x 10 ²	5,4 x 10 ²
Amostra 10	9,22 x 10 ²	9,2 x 10 ²	9,2 x 10 ²
Amostra 11	5,4 x 10 ²	3,3 x 10 ¹	7,8
Amostra 12	1,1 x 10 ²	ND	ND

Continua...

Continuação

FONTE DE ABASTECIMENTO	COLIFORMES TOTAIS (NMP/100 ML)	COLIFORMES FECAIS (NMP/100 ML)	<i>ESCHERICHIA COLI</i> (NMP/100 ML)
Amostra 13	4,0	1,2	ND
Amostra 14	1,7 x 10	2	ND
Amostra 15	2,1 x 10 ²	2,3 x 10 ²	3,3 x 10 ¹
Amostra 16	1,6 x 10 ²	3,3 x 10 ¹	3,3 x 10 ¹
Amostra 17	7,8	7,8	4,5
Poço profundo:			
Amostra 1	ND	ND	ND
Amostra 2	2,0	2,0	ND
Amostra 3	2,0	2,0	ND
Amostra 4	1,7 x 10 ¹	4,5	2,0
Amostra 5	2,3 x 10 ¹	1,3 x 10 ¹	ND
Amostra 6	ND	ND	ND
Amostra 7	2,3 x 10 ¹	2,3 x 10	2,0
Amostra 8	ND	ND	ND

NMP = Número Mais Provável; ND = Não-Detectado

CARACTERIZAÇÃO DO ABASTECIMENTO E DO CONSUMO DA ÁGUA

As ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano não se encerram nos exames físico-químicos e bacteriológicos da água nem na análise de dados sobre seu consumo. Torna-se necessário compor um sistema auxiliar de informações de tal maneira que se possam caracterizar minimamente as diversas formas de abastecimento e de consumo de água em uma comunidade, com o objetivo de mapear grupos, fatores e situações de risco.

Caracterização dos mananciais e das fontes de abastecimento

Os resultados das análises da água bruta assumem um significado maior quando complementados por informações como:

- tipo de manancial: superficial, subterrâneo, nascentes, etc.;
- condições de proteção dos mananciais, sejam fontes coletivas ou individuais de abastecimento;
- uso e ocupação da bacia de captação;
- identificação de fontes de poluição.

Tais informações permitem compor a história do manancial e servem como subsídio para as análises a serem realizadas pela vigilância ou exigidas pelo controle.

Além disso, é fundamental o conhecimento da saturação do manancial, ou seja, do limite de oferta de água ou do limite de adução (L/hab.dia), comparado à evo-

lução do consumo (L/hab.dia). A importância desse fator reside no pressuposto de que não só a qualidade da água, mas também sua quantidade têm implicações na saúde pública, seja por limitarem um consumo mínimo desejável (demanda essencial), seja por causarem problemas de intermitência do abastecimento.

Caracterização do tratamento

Embora os resultados das análises da água tratada sejam balizadores para a identificação de riscos, deve-se procurar localizar os pontos e as causas de fragilidade do sistema. Nesse sentido, devem ser reunidas informações como:

- tipo de tratamento realizado: convencional, simples desinfecção, etc.;
- condições de operação e manutenção;
- controle operacional realizado;
- recursos humanos e materiais disponíveis.

As informações sobre o tipo de tratamento permitem verificar sua adequação ao tipo de manancial e à qualidade da água bruta.

Não é raro encontrar estações de tratamento que trabalhem sobrecarregadas e sem um controle operacional adequado dos diversos processos unitários de tratamento (coagulação, filtração e desinfecção). No mínimo, a vigilância deve se preocupar em verificar o controle rotineiro e efetivamente realizado da qualidade da água tratada (colimetria, cloro residual, turbidez, etc.) e qual o apoio disponível para tal (recursos humanos, instalações e equipamentos de laboratório, etc.).

Caracterização da distribuição e do consumo

Da mesma forma que o exposto no item anterior, os próprios dados sobre a qualidade da água distribuída, em si, permitem a identificação de riscos, que, entretanto, podem e devem ser mapeados por informações complementares.

De início, cumpre verificar se o programa de monitoramento exercido pelo controle é de fato representativo de todo o sistema de distribuição.

Além disso, a fim de identificar pontos frágeis do sistema, devem-se conhecer as condições de operação e manutenção do sistema de distribuição (reservatórios e redes de distribuição) e as diversas formas de abastecimento e consumo de água, o que demanda informações como:

- estado de conservação das unidades de reservação e distribuição de água;
- controle operacional realizado: controle de vazamentos, descarga e limpeza da rede;
- intermitência e regularidade do abastecimento com identificação de zonas mais susceptíveis de ocorrência de pressão negativa;
- porcentagem e distribuição espacial do abastecimento coletivo;

- porcentagem e localização da população abastecida por outros mananciais;
- identificação da população abastecida por carros-pipa;
- consumo *per capita* (L/hab.dia) e sua distribuição espacial;
- condições de armazenamento domiciliar.

Informações dessa natureza possibilitam a identificação de pontos nos quais não se pode negligenciar um acompanhamento mais rigoroso da qualidade da água, por exemplo, de sistemas coletivos sem rede de distribuição domiciliar, como poços, chafarizes e açudes. A ausência de serviço público com rede, por si só, já é um indicador de que essa parcela da população está exposta a riscos.

A caracterização do armazenamento, da pressão, do volume de água distribuída, da intermitência, etc. permite, em um primeiro momento, dispensar a análise da água, uma vez que essas informações já indicam a existência de áreas de risco (GALVÃO et al., 1998).

Em particular, a intermitência merece atenção especial, pois pode interferir significativamente na qualidade da água por problemas de subpressão e recontaminação na rede, além de induzir a busca de fontes de suprimento alternativo, alimentando, por exemplo, a “indústria de carros-pipa”.

Em resumo, trata-se de cadastrar e mapear o abastecimento e o consumo de água, cujo detalhamento dependerá, obviamente, dos recursos locais, humanos e materiais disponíveis tanto no setor de saúde, quanto nas fontes de informações (prestador de serviços, órgãos ambientais, etc.).

5.7 ASPECTOS CONCEITUAIS DA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

DOENÇAS TRANSMITIDAS PELO CONSUMO DE ÁGUA

No atual estágio de conhecimento da microbiologia sanitária e da epidemiologia, torna-se redundante reafirmar o papel da transmissão hídrica de diversos patógenos (bactérias, vírus, protozoários e helmintos) e a transmissão oral de doenças associadas ao consumo de água.

Na tabela 5.4 apresenta-se uma relação dos principais patógenos e respectivas características, organizada para facilitar a avaliação da contribuição relativa de cada um na transmissão de doenças via consumo de água (OMS, 1995).

Em linhas gerais, os patógenos somente exercem seu ciclo vital completo, incluindo a reprodução, no organismo do hospedeiro. Uma vez excretados, tendem a, progressivamente, perder sua viabilidade. Porém, os diversos organismos apresentam capacidade diferenciada de resistência aos efeitos naturalmente adversos do meio ambiente e, portanto, sobrevivem por mais ou menos tempo. Entre os fatores que influem na sobrevivência dos patógenos na água, destacam-se a temperatura, a ação dos raios ultravioleta solares e a disponibilidade de nutrientes.

Tabela 5.4 – Organismos patogênicos presentes na água transmitidos por via oral e sua importância para o abastecimento

AGENTE PATOGENICO	IMPORTÂNCIA PARA A SAÚDE	PERSISTÊNCIA NA ÁGUA ^a	RESISTÊNCIA AO CLORO ^b	DOSE INFECCIOSA RELATIVA ^c	RESERVATÓRIO ANIMAL IMPORTANTE
Bactérias:					
<i>Campylobacter jejuni, C. coli</i>	Considerável	Moderada	Baixa	Moderada	Sim
<i>Escherichia coli</i> enteropatogênica	Considerável	Moderada	Baixa	Alta	Sim
<i>Salmonella typhi</i>	Considerável	Moderada	Baixa	Alta ^d	Não
Outras salmonelas	Considerável	Prolongada	Baixa	Alta	Sim
<i>Shigella</i> spp.	Considerável	Breve	Baixa	Moderada	Não
<i>Vibrio cholerae</i>	Considerável	Breve	Baixa	Alta	Não
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Considerável	Prolongada	Baixa	Alta (?)	Sim
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ^e	Moderada	Podem multiplicar-se	Moderada	Alta (?)	Não
<i>Aeromonas</i> spp	Moderada	Podem multiplicar-se	Baixa	Alta (?)	Não
Vírus:					
Adenovírus	Considerável	?	Moderada	Baixa	Não
Enterovírus	Considerável	Prolongada	Moderada	Baixa	Não
Hepatite A	Considerável	?	Moderada	Baixa	Não
Hepatite transmitida por via entérica, vírus da hepatite ni A, ni B, hepatite E	Considerável	?	?	Baixa	Não
Vírus de Norwalk	Considerável	?	?	Baixa	Não
Rotavírus	Considerável	?	?	Moderada	Não (?)
Vírus pequenos e redondos	Moderada	?	?	Baixa (?)	Não
Protozoários:					
<i>Entamoeba histolytica</i>	Considerável	Moderada	Alta	Baixa	Não
<i>Giardia intestinalis</i>	Considerável	Moderada	Alta	Baixa	Sim
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Considerável	Prolongada	Alta	Baixa	Sim
Helmintos:					
<i>Dracunculus medinensis</i>	Considerável	Moderada	Moderada	Baixa	Sim

FONTE: OMS (1995)

? Não conhecido ou não confirmado.

- Período de detecção da fase infecciosa na água a 20 °C: breve, até uma semana; moderada, de uma semana a um mês, prolongada, mais de um mês.
- Quando a fase infecciosa encontra-se em estado livre na água tratada com doses e tempos de contato tradicionais. Resistência moderada: o agente pode não acabar completamente destruído; resistência baixa: o agente acaba completamente destruído.
- Dose necessária para causar a infecção em 50% dos voluntários adultos são; no caso de alguns vírus, pode bastar uma unidade infecciosa.
- Segundo resultados de experimentos com seres humanos voluntários.
- A principal via de infecção é o contato cutâneo, porém doentes de câncer ou com imunodepressão podem ser infectados por via oral.

De modo geral, os vírus, os cistos e os oocistos de protozoários e ovos de helmintos não se reproduzem na água. Entretanto, algumas bactérias e mesmo algumas amebas podem se multiplicar, ainda que temporariamente, em condições favoráveis, como disponibilidade de nutrientes e elevadas temperaturas e, na rede de distribuição, baixos teores de cloro residual. Exemplos desses organismos são as amebas *Naegleria fowleri* (meningoencefalite amebiana) e *Acanthamoeba* spp (meningite amebiana) e as bactérias patogênicas oportunistas *Pseudomonas aeruginosa* e *Aeromonas* (OMS, 1995).

Na tabela 5.4, a importância moderada, atribuída a alguns organismos, sobre a saúde refere-se aos casos em que a patogenicidade é baixa ou ao caráter oportunista de alguns patógenos em indivíduos imunodeprimidos.

Além disso, a facilidade de transmissão de doenças estará associada a baixas doses infecciosas, maior sobrevivência na água e resistência aos processos de tratamento.

ORGANISMOS INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO

A identificação de organismos patogênicos na água é, via de regra, morosa, complexa e onerosa. Por essa razão, tradicionalmente recorre-se à identificação dos organismos indicadores de contaminação, na interpretação de que sua presença apontaria o contato com matéria de origem fecal (humana ou animal) e, portanto, o risco potencial da presença de organismos patogênicos.

Um organismo indicador “ideal” deveria preencher os seguintes requisitos (CABELLI, 1978; OMS, 1995):

- ser de origem exclusivamente fecal;
- apresentar maior resistência que os patogênicos aos efeitos adversos do meio ambiente e aos processos de tratamento;
- apresentar-se em maior número que os patogênicos;
- ser de fácil identificação;
- não se reproduzir no meio ambiente.

De fato, não há um único organismo que satisfaça simultaneamente todas essas condições. Assim, segundo Cabelli (1978), na ausência de um indicador ideal, deve-se trabalhar com o melhor indicador, que seria aquele que apresentasse a melhor correlação com os riscos de saúde associados à contaminação de um determinado ambiente.

Coliformes

Em 1855, Theodor Escherich isolou uma bactéria em fezes de crianças, a qual recebeu a denominação original de *Bacterium coli* e mais tarde foi confirmada como habitante do trato intestinal de seres humanos e animais de sangue quente (HOFSTRA E HUISIN’T VELD, 1988).

Subseqüentes tentativas de diferenciar *Bacterium coli* de outras bactérias da família *Enterobacteriaceae* (JONES, 1988), entre estas, aquelas mais nitidamente associadas à contaminação de natureza fecal deram origem à subclassificação do grupo coli-*aerogenes*, ou “coliformes”, e à definição de sua composição pelos gêneros *Escherichia*, *Klebsiella* e *Citrobacter* (1956), posteriormente complementado pela inclusão do gênero *Enterobacter* (MÜLLER; MOSSSEL, 1982; HOFSTRA E HUISIN’T VELD, 1988).

No desenvolvimento do conceito de organismos indicadores de contaminação e de sua aplicação na avaliação da qualidade sanitária de ambientes e de produtos de consumo humano, por muito tempo prevaleceu o emprego da *Escherichia coli* (*E. coli*). Entretanto, a busca por agilidade e simplicidade deu lugar à utilização disseminada dos “coliformes” e, mais tarde, dos “coliformes fecais”, diferenciados pelo teste de termotolerância introduzido por Eijkman ainda em 1904 (CABELLI, 1982; HOFSTRA E HUISIN’T VELD, 1988).

As bactérias do grupo coliforme são definidas na Portaria nº 518/2004 como:

- coliformes totais (bactérias do grupo coliforme) – bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver-se na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5$ °C em 24-48 horas e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo;
- coliformes termotolerantes – subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a $44,5$ °C \pm $0,2$ °C em 24 horas, tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal;
- *Escherichia coli* – bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e o manitol, com produção de ácido e gás a $44,5$ °C \pm $0,2$ °C em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidrolisa a uréia e apresenta atividade das enzimas β -galactosidase e β -glucuronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos.

As bactérias do grupo coliforme estão presentes no intestino humano e de animais de sangue quente e são eliminadas nas fezes em números elevados (10^6 /g – 10^8 /g). Entretanto, a partir da definição anterior, o grupo dos coliformes inclui bactérias não exclusivamente de origem fecal, podendo ocorrer naturalmente no solo, na água e em plantas. Além disso, principalmente em climas tropicais, os coliformes apresentam capacidade de se multiplicar na água (OMS, 1995).

Tradicionalmente, considerava-se que o grupo coliforme incluía bactérias dos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* e *Klebsiella*. Entretanto, a classificação taxonômica mais recente revela que o grupo é mais heterogêneo.

Compreende, por exemplo, espécies como *Enterobacter cloacae* e *Citrobacter freundii*, encontradas tanto em fezes quanto em águas ricas em nutrientes, solos e matéria orgânica em decomposição; ou ainda espécies como *Serratia fonticola*, *Rahnella aquatilis* e *Buttiauxella agrestis*, raramente encontradas em fezes, porém capazes de multiplicar-se em águas tratadas de qualidade razoável (OMS, 1995).

Por isso, na avaliação da qualidade de águas naturais, os coliformes totais têm valor sanitário limitado. Sua aplicação restringe-se praticamente à avaliação da qualidade da água tratada, na qual sua presença pode indicar falhas no tratamento, uma possível contaminação após o tratamento ou ainda a presença de nutrientes em excesso, por exemplo, nos reservatórios ou nas redes de distribuição.

Coliformes fecais

O grupo dos coliformes fecais compreende o gênero *Escherichia* e, em menor extensão, espécies de *Klebsiella*, *Citrobacter* e *Enterobacter*. Apesar da denominação, o grupo acaba também por incluir bactérias de origem não exclusivamente fecal, embora em proporção bem menor que a do grupo dos coliformes totais. Algumas espécies são encontradas em águas ricas em matéria orgânica, efluentes industriais (por exemplo, *Klebsiella pneumoniae*) (BAGLEY; SEIDLER, 1977) ou em material vegetal e solos em decomposição (DUNCAN; HAZELL, 1972). Além disso, principalmente em climas tropicais, mesmo que originalmente introduzidas na água por poluição fecal, podem adaptar-se ao meio aquático (LOPEZ-TORREZ et al., 1987).

Portanto, a utilização dos coliformes fecais na avaliação da qualidade de águas naturais, principalmente em países de clima tropical, também tem sido questionada e a tendência atual é de se referir ao grupo como *coliformes termotolerantes* (DHSS, 1982; OMS, 1995). Apesar disso e com base no fato de que entre os cerca de 10^6 - 10^8 coliformes fecais/100 mL, usualmente presentes nos esgotos sanitários predomina a *Escherichia coli* (esta sim, uma bactéria de origem fecal), esses organismos ainda têm sido largamente utilizados como indicadores de poluição de águas naturais.

É pouco provável que os “coliformes fecais” se desenvolvam em sistemas de distribuição, a menos que exista abundância de nutrientes, que ocorra pós-contaminação, que a temperatura da água tratada seja inferior a 13 °C e que não exista cloro residual livre (OMS, 1995) e, por isso, eles ainda guardam certa credibilidade como indicadores da qualidade da água tratada e distribuída.

Escherichia coli

Simplificadamente, distinguem-se dos demais coliformes por possuírem as enzimas β -galactosidase e β -glucuronidase; fermentam a lactose e o manitol com a produção de ácido e gás e produzem indol a partir de triptofano a 44 °C-45 °C

em 24 horas; são oxidase-negativas e não-hidrolisam a uréia (DHSS, 1982; OMS, 1995). Algumas cepas crescem a 37 °C, mas não a 44 °C-45 °C, outras não fermentam a lactose (cerca de 10%) ou são indol-negativas (cerca de 3%-5%) (DHSS, 1982; HOFSTRA E HUISIN'T VELD, 1988; OMS, 1995).

A origem fecal da *E. coli* é inquestionável e sua natureza ubíqua pouco provável, o que valida seu papel mais preciso de organismo indicador de contaminação tanto em águas naturais quanto em tratadas.

Estreptococos fecais

A mesma ressalva feita ao emprego do termo coliformes fecais aplica-se aos estreptococos fecais, pois sob essa denominação genérica o grupo inclui bactérias presentes em ambientes não poluídos. Todas as espécies possuem o antígeno do grupo D de Lancefield e, por essa razão, muitos autores preferem a utilização do termo estreptococos do grupo D de Lancefield em lugar de estreptococos fecais (KNUDTSON; HARTMAN, 1992). Taxonomicamente, os estreptococos do grupo D de Lancefield pertencem aos gêneros *Enterococcus* e *Streptococcus*.

Os enterococos incluem as espécies mais associadas às fezes humanas, embora algumas delas possam ser encontradas também em dejetos animais: *E. avium*, *E. cecorum*, *E. durans*, *E. faecalis*, *E. faecium*, *E. gallinaarum*, *E. hirae* e *E. mundtii*. Entretanto, algumas espécies e subespécies como *E. casseliflavus*, *E. faecalis* var. *liquefaciens*, *E. malodoratus* e *E. solitarius* são freqüentemente encontradas em solos e em vegetais (KNUDTSON; HARTMAN, 1992; OMS, 1995).

Do gênero *Streptococcus* somente as espécies *S. bovis* e *S. equinus* possuem o antígeno do grupo D, compondo um grupo que reteve a denominação genérica estreptococos fecais e está mais nitidamente associado à contaminação de origem animal.

Geralmente, os enterococos apresentam maior resistência às condições ambientais que os coliformes fecais, ao contrário do grupo agora denominado estreptococos fecais, de origem animal (KNUDTSON; HARTMAN, 1992).

Na avaliação da qualidade de águas naturais, os estreptococos devem, preferencialmente, ser utilizados em conjunto com os coliformes. Sua presença concomitante com a dos coliformes fecais serve para confirmar a poluição fecal. Entretanto, na ausência dos coliformes fecais, a presença dos estreptococos deve ser analisada criteriosamente, pois pode significar uma poluição intermitente (já que os enterococos são mais resistentes que os coliformes), ou não ter nenhum significado sanitário, se prevalecerem as espécies abundantes na natureza.

Além de serem mais resistentes que os coliformes, os enterococos raramente se multiplicam na água e, portanto, prestam-se como bons indicadores complementares da eficácia do tratamento e da integridade da distribuição de água (OMS, 1995).

EMPREGO DE INDICADORES NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Mananciais e fontes de abastecimento

Na avaliação de fontes de abastecimento, ou seja, da água *in natura*, vale ressaltar que a interpretação básica do emprego de organismos indicadores é que sua presença aponta poluição de origem fecal e, portanto, o risco de contaminação, ou seja, a presença de patógenos.

Reafirmando o exposto nos itens anteriores, os coliformes totais carecem de maior significado sanitário na avaliação de mananciais e fontes de abastecimento de água para consumo humano.

O indicador mais preciso de contaminação fecal é a *E. coli*. Mesmo em mananciais bem protegidos não se pode desconsiderar a importância sanitária da detecção de *E. coli*, pois, no mínimo, indicaria contaminação de origem animal silvestre, os quais podem ser vetores de agentes patogênicos ao ser humano.

Não obstante, pelo fato de que a presença de coliformes termotolerantes, na maioria das vezes, guarda uma relação direta com a presença de *E. coli*, aliado à simplicidade das técnicas laboratoriais de detecção, seu emprego como indicadores de contaminação de águas *in natura* ainda é aceitável (OMS, 1995). Entretanto, quando da detecção de coliformes termotolerantes, mesmo em densidades elevadas, na ausência de indícios de contaminação fecal, deve-se procurar o isolamento de *E. coli*.

O emprego dos “estreptococos fecais” fica restrito à função de informação complementar, uma vez que a ecologia das diversas espécies ainda é um tanto desconhecida e o isolamento daquelas mais estritamente associadas à poluição de origem fecal exigiria um número maior de testes bioquímicos.

Avaliação da eficiência do tratamento da água

Nesse caso, o emprego dos organismos indicadores deve partir do seguinte entendimento: a ausência do organismo indicador na água tratada apontaria a ausência de patógenos, pela destruição e/ou remoção de ambos por meio dos processos de tratamento.

Nesse sentido, para que um organismo cumpra o papel de indicador da eficiência do tratamento, torna-se necessário que, além de ele ser mais resistente aos processos de tratamento que os patógenos, o mecanismo de remoção de ambos seja similar.

Considerando que a cloração é o processo quase universal de desinfecção da água, vale ressaltar alguns aspectos relativos à sua eficiência.

A inativação dos microorganismos por cloração se dá pela ação de uma certa dose de cloro por um determinado tempo de contato. A eficiência da cloração é medida pelo parâmetro K (dosagem x tempo de contato) necessário para alcançar

uma dada remoção dos diversos microorganismos (geralmente 99% ou três unidades logarítmicas).

$$K = C \cdot t,$$

em que:

K = constante para cada microorganismo; função da temperatura e do pH (mg.min/L);

C = concentração do desinfetante (mg/L); e

t = tempo de contato para uma dada porcentagem de inativação (min).

Na tabela 5.5 são apresentadas informações genéricas sobre a eficiência da cloração. Em geral, em ordem crescente de resistência à cloração, apresentam-se as bactérias, os vírus, os protozoários e os helmintos, estes praticamente imunes. Adicionalmente, observa-se que os cistos de protozoários são bem mais resistentes que as bactérias e os vírus, bem como que as cloraminas (cloro combinado) são desinfetantes fracos.

Tabela 5.5 – Valores de K para a inativação de diversos microorganismos

MICROORGANISMO	TEMPERATURA (OC)	INATIVAÇÃO (%)	CLORO LIVRE (PH 6-7)	CLORAMINAS (PH 8-9)
<i>E. coli</i>	5	99	0,034 – 0,05	95 – 180
Poliomelitis 1	5	99	1,1 – 2,5	768 – 3.740
Rotavírus	5	99	0,01 – 0,05	3.806 – 6.476
Cistos de <i>Giardia lamblia</i>	25	99,9	47 – 150	-
Cistos de <i>Giardia muris</i>	5	99	30 – 630	2.200 (pH 6-9)
<i>Cryptosporidium parvum</i>	25	99	7.200 (pH 7)	1.400

FONTE: CLARK et al. (1994)

- Qualidade bacteriológica

Rigorosamente, os coliformes só se prestam como indicadores da remoção de bactérias patogênicas uma vez que comprovadamente os primeiros são mais resistentes à cloração que as segundas. Em geral, considera-se que um teor de cloro residual livre de 0,2 mg/L a 0,5 mg/L é adequado e suficiente para a desinfecção bacteriana (OMS, 1995).

Portanto, para a aferição da qualidade bacteriológica da água tratada, a ausência dos coliformes totais constitui um indicador adequado e suficiente da eficiência do tratamento, uma vez que eles apresentam uma taxa de decaimento (inativação) similar ou superior à dos coliformes termotolerantes e da *E. coli* (OMS, 1995).

- Qualidade virológica

No tocante à desinfecção, em que pese a significativa variação dos valores de K para diferentes situações (tipo de vírus, qualidade da água, temperatura, pH), recomenda-se, genericamente, um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L após 30 minutos de tempo de contato em pH < 8,0 (OMS, 1995). Essa recomendação é acompanhada do requisito de que o tratamento que precede a desinfecção (usualmente a filtração) produza uma água cuja turbidez não exceda, em elevada frequência, a 0,5 UT na média a 1 UT e também que nenhuma amostra simples exceda 5 UT (OMS, 1995). Isso porque as partículas em suspensão podem proteger os vírus da ação do cloro, seja por mecanismos físicos, seja pela demanda de cloro e conseqüente redução da eficiência desinfetante pela elevação dos teores de cloro combinado. Cabe ressaltar que as recomendações de cloração antes referidas para a desinfecção referem-se a uma eficiência de inativação de 99,99%.

Nesse caso, o indicador bacteriológico (coliformes) deve ser acompanhado de outro indicador: o cloro residual na saída do tanque de contato e o próprio tempo de contato.

- Qualidade parasitológica

Os protozoários, notadamente os cistos de *Giardia* e os oocistos de *Cryptosporidium*, apresentam elevada resistência à cloração e, portanto, sua remoção em processo de tratamento é essencialmente ligada à filtração. Dessa forma, os coliformes praticamente perdem seu papel de indicador, devendo ser substituídos por um indicador de remoção de partículas em suspensão por meio da filtração, como, por exemplo, a turbidez.

Nesse caso, a avaliação da qualidade da água tratada depende fundamentalmente da verificação da eficiência da remoção de turbidez por intermédio da filtração e da produção sistemática de águas filtradas com baixa turbidez: < 0,5 UT, preferencialmente < 0,2 UT em 95% das amostras mensais. Como exemplo, incluem-se os resultados do controle realizado na ETA do Serviço de Tratamento de Água da Universidade Federal de Viçosa, no período compreendido entre julho/1998 e junho/1999 (tabela 5.6).

Tabela 5.6 – Turbidez da água bruta, decantada e filtrada e eficiência de remoção de turbidez (valores médios mensais – julho/98 a junho/99) – ETA/UFV

MÊS	TURBIDEZ (UT)			EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)	
	BRUTA	DECANTADA	FILTRADA	DECANTAÇÃO	FILTRAÇÃO
Jul./ 98	7,00	3,72	0,18	48,86	95,16
Ago./ 98	11,01	3,90	0,23	64,58	94,10
Set./ 98	10,07	3,14	0,22	68,82	92,99
Out./ 98	18,12	4,04	0,21	77,70	94,80
Nov./ 98	29,75	5,65	0,27	81,01	95,22
Dez./ 98	14,02	4,70	0,32	66,48	93,19
Jan./ 99	26,14	5,36	0,70	79,50	86,94

Continua...

Continuação

MÊS	TURBIDEZ (UT)			EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)	
	BRUTA	DECANTADA	FILTRADA	DECANTAÇÃO	FILTRAÇÃO
Fev./ 99	9,00	3,04	0,40	66,22	86,84
Mar./ 99	27,52	4,67	0,30	83,03	93,58
Abr./ 99	10,65	3,15	0,30	70,42	90,48
Mai./ 99	7,37	2,75	0,31	62,69	88,73
Jun./ 99	9,29	3,26	0,23	64,91	92,94

Água distribuída

Mesmo que o tratamento seja adequado, a água pode muito bem deteriorar-se ao longo da distribuição. O isolamento de *E. coli* no sistema de distribuição é um sinal inequívoco de recontaminação fecal e, por medida de segurança, assim também deve ser interpretada a detecção de coliformes termotolerantes.

Já o isolamento de coliformes totais, embora não guarde uma relação exclusiva com recontaminação de origem fecal, serve como indicador da integridade do sistema de distribuição. Águas insuficientemente tratadas, por exemplo, sem a garantia de residual de cloro, ou infiltrações, podem permitir o acúmulo de sedimentos e de matéria orgânica e promover o desenvolvimento de bactérias, incluindo aquelas do grupo coliforme que não *E. coli* ou termotolerantes.

Por isso, na avaliação da qualidade da água distribuída, em geral, tolera-se a detecção eventual de coliformes totais, mas requer-se a ausência sistemática de *E. coli* ou de coliformes termotolerantes.

Admitindo-se que a estanqueidade absoluta e sistemática do sistema de distribuição é uma meta difícil de alcançar, tolera-se também valores de turbidez mais elevados que na entrada do sistema, geralmente um máximo de 5 UT. Mais uma vez esse parâmetro reveste-se de significado sanitário e não meramente estético. Os teores de cloro residual mantidos no sistema de distribuição são também, em si, indicadores da qualidade da água e da segurança sanitária do sistema de distribuição, uma vez que os valores usualmente exigidos (0,2 mg/L) são os considerados suficientes para a inativação bacteriana.

Outro indicador comumente empregado é a contagem de bactérias heterotróficas, que assume um papel semelhante e auxiliar ao dos coliformes totais: indicação de possível deterioração da qualidade da água no sistema de distribuição, por infiltração, e o já mencionado desenvolvimento de biofilmes, etc.

TÉCNICAS DE LABORATÓRIO PARA A DETECÇÃO DE COLIFORMES EM AMOSTRAS DE ÁGUA

Apenas como informação de apoio, neste item apresentam-se sinteticamente os métodos mais usualmente empregados na detecção rápida de coliformes.

As técnicas de laboratório desenvolveram-se em paralelo ao conhecimento sobre o grupo coliforme e, hoje, encontram-se estabelecidas nas definições gerais sobre essas bactérias,² ou seja, são baseadas na verificação de respostas bioquímicas a partir do crescimento das bactérias em meios de cultura específicos.

Os métodos tradicionais valem-se fundamentalmente das seguintes características básicas para a detecção de coliformes:

- fermentação da lactose com produção de ácido e gás em 24-48 horas a 35 °C -37 °C: coliformes (totais);
- fermentação da lactose com produção de ácido e gás em 24 horas a 44 °C-45 °C: coliformes termotolerantes (fecais);
- fermentação da lactose com produção de ácido e gás e produção simultânea de indol a partir do triptofano em 24 horas a 44 °C-45 °C: *E. coli*.

Cabe ressaltar que a partir de tais testes não se pode definitivamente concluir pela presença de coliformes e, principalmente, *E. coli*. Por exemplo, existem bactérias formadoras de esporos que não pertencem ao grupo coliforme, mas são capazes de fermentar a lactose a 37 °C. Por sua vez, o isolamento conclusivo de *E. coli* é complexo e o teste rápido descrito anteriormente excluirá cepas não-termotolerantes, lactose ou indol-negativas. Em contrapartida, existem espécies de *Klebsiella* (*K. oxytoca*) capazes de produzir indol, produzindo resultados falso-positivos para *E. coli* (BAGLEY, 1985). Entretanto, o teste mantém sua validade com uma margem de segurança aceitável, na medida em que a regra é muito mais freqüente que a exceção³ e uma vez que, de toda maneira, o número de *E. coli* assim detectado em muito superará o número de patogênicos porventura presentes (HOFSTRA E HUISIN'T VELD, 1988; DHSS, 1982; OMS, 1995).

Como as condições ambientais em águas naturais e tratadas são adversas às bactérias entéricas, estas podem encontrar-se em condições de estresse metabólico e, para se evitar resultados falso-negativos, devem ser oferecidas condições de crescimento o mais possível favoráveis. Por essa razão, as bactérias são sucessivamente incubadas em meios de cultura gradualmente mais seletivos, o que vem a constituir os ensaios *presuntivos* e *confirmativos*. Assim sendo, o ensaio presuntivo pode incluir resultados falso-positivos, os quais, dependendo do rigor necessário em um dado programa de monitoramento, devem ser confirmados.

As análises podem também ser qualitativas e quantitativas, quando se pretende, respectivamente, detectar a mera presença de um organismo na água ou determinar sua densidade em número de organismos em um dado volume (usualmente 100 mL).

Os métodos quantitativos mais comumente utilizados são o dos tubos múltiplos (TM) ou método da diluição e a técnica da membrana filtrante (MF).

2 Ver o item “Organismos indicadores de contaminação”, neste capítulo.

3 Idem.

Fundamentos da técnica dos tubos múltiplos

Na técnica dos TM, diferentes alíquotas da amostra, obtidas por sucessivas diluições, são respectivamente inoculadas em séries replicadas de tubos de ensaio contendo o meio de cultura. Após a incubação, a partir do número de tubos positivos em cada série de diluição, estima-se o número mais provável (NMP) de organismos em 100 mL da amostra (Anexo V).

Torna-se necessário enfatizar que o NMP é tão-somente uma estimativa, baseada em uma certa probabilidade estatística, da densidade média de bactérias presentes em uma amostra. No cômputo rotineiro, recorre-se a tabelas de NMP com os respectivos intervalos de confiança (95%) para diversas combinações de número de tubos positivos em cada série de diluição. Significa dizer que existe uma probabilidade de 95% de que o número “verdadeiro” de bactérias presentes na amostra se encontre dentro dos intervalos mínimos e máximos em torno do NMP. Muito embora o método dos TM apresente sensibilidade elevada, permitindo a detecção de baixas densidades de bactérias, o NMP não é um valor preciso, e a precisão do teste depende do número de tubos utilizados e dos volumes de amostra inoculados. Obviamente, quanto pior a qualidade da água a ser analisada, maiores as diluições necessárias e vice-versa.

O *Standard Methods* (APHA, 1995) recomenda os seguintes critérios:

- água tratada: dez réplicas de tubos contendo 5 mL da amostra ou cinco réplicas de tubos contendo 20 mL da amostra;
- água não tratada: séries de cinco tubos inoculados com diluições decimais da amostra (múltiplas e submúltiplas de 10 mL), de acordo com a provável densidade bacteriana.

Já os critérios ingleses sugerem as seguintes inoculações, de acordo com a qualidade presumível da água:

- água de boa qualidade: 1 x 50 mL e 5 x 10 mL da amostra inoculada em frascos contendo iguais volumes do meio de cultura;
- água de qualidade desconhecida: 1 x 50 mL, 5 x 10 mL e 5 x 1 mL da amostra, sendo a última série inoculada em 5 mL de meio de cultura;
- água poluída: séries de cinco tubos inoculados com diluições decimais, de acordo com a necessidade.

Os tubos positivos no ensaio presuntivo são repicados em outros tubos contendo um meio de cultura mais seletivo para o ensaio confirmativo. Dessa forma, têm-se duas estimativas de NMP, presuntivo e confirmativo. Também a título de informação de apoio, no Anexo VI estão incluídas tabelas para o cálculo do NMP.

Fundamentos da técnica de membrana filtrante (MF)

Na técnica de MF, volumes conhecidos da amostra são filtrados através de membranas com uma porosidade tal que as bactérias ficam retidas. Essas membranas são dispostas sobre meios de cultura sólidos preparados em placas de Petri e incubadas; assim, as bactérias crescerão na superfície das membranas formando colônias discretas (Anexo VII).

A seletividade do meio de cultura propiciará a identificação de colônias típicas da bactéria procurada, por características morfológicas e de cor. A densidade de bactérias é obtida pela contagem das colônias típicas, e os resultados são expressos em unidades formadoras de colônias (UFC)/100 mL.

O volume da amostra a ser filtrada depende da qualidade presumível da água. Para águas de boa qualidade, por exemplo, águas tratadas, devem-se filtrar 100 mL da amostra; em contrapartida, amostras de águas de pior qualidade exigirão diluições, caso contrário, o número de colônias será tão elevado que dificultará a contagem ou prejudicará o crescimento das bactérias em colônias discretas.

Em geral, recomenda-se que a contagem seja feita em membranas com 20-80 colônias, nunca com mais de 200. Portanto, na análise de água de qualidade desconhecida deve-se filtrar diferentes diluições da amostra, sempre em réplicas.

A densidade de bactérias é calculada como a seguir:

$$\text{UFC}/100 \text{ mL} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de colônias}}{\text{ML da amostra filtrada}} \times 100$$

Embora a precisão da contagem de colônias seja maior que o NMP, as UFCs também não são números absolutos. Prova disso é que réplicas da mesma amostra quase sempre fornecem contagens diferentes. O pressuposto da técnica é de que as bactérias se encontram dispersas na amostra segundo uma distribuição de Poisson, a partir do que se podem estimar os intervalos de confiança (95%) para o número de colônias enumeradas:

$$\text{Limite superior} = C + 2\sqrt{C}$$

$$\text{Limite inferior} = C - 2\sqrt{C}$$

onde C = número de colônias.

A fórmula acima perde muito em precisão para menos de 20 colônias, razão pela qual este deve ser o limite mínimo de contagem.

A contagem inicial de colônias típicas representará a contagem presuntiva. O teste confirmativo é realizado pela repicagem das colônias típicas, ou uma porcentagem destas, em tubos de ensaio contendo meios de cultura seletivos. A contagem final deve ser ajustada à porcentagem de colônias testadas e confirmada como a bactéria-teste.

Método do substrato cromogênico

Mais recentemente desenvolveram-se métodos baseados nas atividades enzimáticas específicas dos coliformes (β -galactosidade) e de *E. coli* (β -glucoronidase).

Os meios de cultura contêm nutrientes indicadores (substrato cromogênico) que, hidrolisados pelas enzimas específicas dos coliformes e/ou *E. coli*, provocam uma mudança de cor no meio, no caso de coliformes, ou produzem fluorescência quando a amostra é exposta à luz ultravioleta, no caso de *E. coli*. Estes substratos cromogênicos, quando hidrolisados pelas enzimas dos coliformes e de *E. coli*, liberam, respectivamente, O-nitrofenol (de cor amarela) e 4-metil-unberliferona (fluorescente).

O método pode ser aplicado tanto em análises qualitativas (P/A), como quantitativas (TM). Além da maior precisão, outra grande vantagem é o tempo de resposta, já que a determinação simultânea de coliformes (totais) e de *E. coli* é efetuada após incubação das amostras a 37 °C por 24 horas, não havendo necessidade de ensaios confirmativos.

Metodologia de análise na vigilância da qualidade da água para consumo humano

A escolha do método de determinação de coliformes será, feita antes de mais nada, em função de aspectos práticos, como a infra-estrutura de laboratório disponível, o custo e o tempo de resposta das diferentes técnicas. Além disso, cabe ainda responder à seguinte indagação: qual a precisão necessária na análise da água das diversas partes do sistema?

Conforme já referido, os métodos baseados na fermentação da lactose são compostos por ensaios presuntivos e confirmativos.

Pelos motivos já expostos, na análise de águas *in natura* (fontes de abastecimento), no mínimo será necessária a confirmação de coliformes termotolerantes e, preferivelmente, *E. coli*. Vale observar que, de acordo com os procedimentos simplificados apresentados, a confirmação de *E. coli* e de coliformes termotolerantes é simultânea, assim como a de coliformes (totais) e *E. coli* pelo método do substrato cromogênico.

Já em águas tratadas, na entrada e ao longo do sistema de distribuição, a simples confirmação qualitativa (P/A) de coliformes (totais) deve ser interpretada como motivo de alerta, não bastando, portanto, o ensaio presuntivo. Confirmada a presença de coliformes, devem-se realizar análises quantitativas.

5.8 CRITÉRIOS E PADRÕES DE QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO

Pelo exposto no item anterior, mesmo considerando suas limitações, as bactérias do grupo coliforme são ainda os melhores indicadores da qualidade microbiológica da água para consumo humano. Por essa razão, os critérios e os padrões de potabi-

lidade usualmente se referem à qualidade bacteriológica da água, complementada pelos indicadores físico-químicos de turbidez e cloro residual, com toda sua conotação sanitária. Nas tabelas 5.7 a 5.10 são apresentadas tais recomendações.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (1990), para as fontes de águas serem aceitáveis para consumo humano mediante apenas o uso da desinfecção, estas devem cumprir os mesmos requisitos que as águas submetidas ao tratamento completo, ou seja: a água bruta não deve apresentar demanda de cloro e a turbidez deve ser inferior a 1 UT.

Tabela 5.7 – Recomendações da OMS para a qualidade bacteriológica da água potável¹ (OMS, 1995)

ORGANISMOS	RECOMENDAÇÕES
Água para consumo humano em geral:	
<i>E. coli</i> ou coliformes termotolerantes ²	Não detectáveis em nenhuma amostra de 100 mL
Água tratada na entrada do sistema de distribuição:	
<i>E. coli</i> ou coliformes termotolerantes ²	Não detectáveis em nenhuma amostra de 100 mL
Água tratada no sistema de distribuição:	
<i>E. coli</i> ou coliformes termotolerantes ²	Não detectáveis em nenhuma amostra de 100 mL
Coliformes totais	Não detectáveis em nenhuma amostra de 100 mL. No caso de grandes sistemas de abastecimento, quando são analisadas amostras suficientes, devem estar ausentes em 95% das amostras coletadas durante qualquer período de 12 meses.

FONTE: OMS (1995).

- ¹ Quando do isolamento de *E. coli* ou de coliformes, em geral devem ser adotadas medidas imediatas para investigar a situação. No caso de coliformes totais deve-se, no mínimo, repetir a amostragem e, caso positivo, deve-se realizar imediatamente novas investigações para determinar as causas.
- ² Embora *E. coli* seja o indicador mais preciso de contaminação fecal, a análise de coliformes termotolerantes é uma alternativa aceitável. Se necessário, devem-se realizar os devidos testes confirmativos. Coliformes totais não são um indicador adequado da qualidade sanitária do abastecimento de água em zonas rurais, sobretudo em regiões tropicais, onde, em geral, as águas não tratadas contêm inúmeras bactérias sem maior significado para a saúde.

Tabela 5.8 – Recomendações da OMS para a eficácia da desinfecção (OMS, 1995)

PARÂMETRO	MEDIDA
Turbidez	< 0,5 UT ¹
pH	< 8,0 ²
Tempo de contato	> 30 minutos ³
Cloro residual livre	> 0,5 mg/L

FONTE: OMS (1995).

- ¹ É essencial que o tratamento que precede a desinfecção final produza uma água cuja turbidez não exceda na média 1 UT e que nenhuma amostra simples exceda 5 UT. Esse requisito é fundamental, pois alguns parasitas (*Giardia* e *Cryptosporidium*) não são destruídos pela desinfecção e sua eliminação só é alcançada com uma filtração eficaz.
- ² Uma água alcalina (pH > 8,0) só pode ser desinfetada de forma eficaz por supercloração.
- ³ O efeito desinfetante do cloro não é imediato; deve ser assegurado um tempo de contato mínimo de 30 minutos entre a água e o desinfetante, antes do consumo de água.

**Tabela 5.9 – Padrão bacteriológico de potabilidade
(Portaria MS nº 518/2004)**

PARÂMETRO	VMP ¹
Água para consumo humano²	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes ³	Ausência em 100 mL
Água na saída do tratamento	
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede)	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes ³	Ausência em 100 mL
Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês: Ausência em 100 mL 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 100 mL.

¹ Valor Máximo Permitido.

² Água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, entre outras.

³ A detecção de *Escherichia coli* deve ser preferencialmente adotada.

Tabela 5.10 – Padrão físico-químico de potabilidade brasileiro,¹ parâmetros associados à qualidade microbiológica da água

PARÂMETRO	PORTARIA Nº 36/1990		PORTARIA MS Nº 518/2004			
	ENTRADA DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	REDE DE DISTRIBUIÇÃO	PÓS-FILTRAÇÃO OU PRÉ-DESINFECÇÃO	DESINFECÇÃO	SAÍDA DO TRATAMENTO	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO
Turbidez (UT)	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 1,0 ²	-	≤ 1,0	≤ 5,0
Cloro residual livre (mg/L)	-	≥ 0,2	-	≥ 0,5 ³	0,2 - 5,0	0,2 - 5,0
pH	-	-	-	< 8,0 ⁴	-	-

¹ Para melhor interpretação da aplicação dos parâmetros e dos respectivos valores, consultar a legislação.

² Padrão para filtração rápida; além disso, recomenda-se uma turbidez ≤ 0,5 UT em 95% das amostras mensais com vistas a assegurar a adequada eficiência de remoção de enterovírus, cistos de *Giardia* spp e oocistos de *Cryptosporidium* sp; para água subterrânea não filtrada ≤ 1,0 UT em 95% das amostras mensais; para filtração lenta ≤ 2,0 UT em 95% das amostras mensais, em quaisquer casos o valor máximo permitido em amostras pontuais é de 5,0 UT

³ Saída do tanque de contato

⁴ Recomendação no tanque de contato

Nas tabelas anteriores, percebe-se nitidamente uma tradução do entendimento necessário ao emprego dos indicadores da qualidade microbiológica da água para

consumo humano, que norteou a revisão da Portaria nº 36/1990, podendo ser resumido da seguinte forma:

- indicador mais preciso da qualidade da água para consumo humano é a *E. coli*, seguido, com algumas ressalvas, dos coliformes termotolerantes. Em qualquer situação, ambos não devem estar presentes na água. O emprego do termo coliformes fecais deve ser evitado e substituído por coliformes termotolerantes;
- coliformes totais não são indicadores adequados da qualidade sanitária de águas *in natura*, prestando-se, porém, como um indicador adequado e suficiente da qualidade bacteriológica da qualidade da água tratada;
- a simples presença de coliformes totais no sistema de distribuição serve como alerta para o desencadeamento de medidas corretivas;
- sempre que possível ou necessário, quando do isolamento de coliformes totais e termotolerantes, deve-se realizar ensaios confirmativos até o isolamento de *E. coli*, acompanhado de inspeções sanitárias;
- a turbidez, em qualquer parte do sistema, é um indicador de natureza sanitária e não meramente estética.

5.9 OPERACIONALIZAÇÃO DA VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Resumindo o já detalhado em itens anteriores, o programa de vigilância da qualidade da água para consumo humano tem por objetivo geral desenvolver ações de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano que garantam à população o acesso à água em quantidade suficiente e qualidade compatível com o padrão de potabilidade estabelecido na legislação vigente, para a promoção da saúde.

Como objetivos específicos, destacam-se:

- reduzir a morbi-mortalidade por doenças e agravos de transmissão hídrica, por meio de ações de vigilância sistemática da qualidade da água consumida pela população;
- buscar a melhoria das condições sanitárias das diversas formas de abastecimento de água para consumo humano;
- avaliar e gerenciar o risco à saúde presente nas condições sanitárias das diversas formas de abastecimento de água;
- monitorar sistematicamente a qualidade da água consumida pela população, nos termos da legislação vigente;
- informar a população sobre a qualidade da água e os riscos à saúde;
- buscar promover a educação, a comunicação e a mobilização social;
- fornecer subsídios à definição de estratégias de ação nas três esferas do poder público (federal, estadual e municipal).

O cumprimento de tais objetivos seria alcançado através da implementação de atividades que dependerão de cada situação; seguem-se as atividades básicas:

- cadastramento e inspeção dos sistemas e das soluções alternativas coletivas, bem como das soluções individuais de abastecimento de água;
- monitoramento da qualidade da água distribuída por sistemas de abastecimento de água e soluções alternativas coletivas. Para as soluções individuais, o monitoramento ficará a critério dos municípios de acordo com as peculiaridades locais;
- desenvolvimento de programas de educação, comunicação e mobilização social voltados para a melhoria das condições de salubridade das soluções individuais de abastecimento de água e das instalações intradomiciliares;
- análise dos dados do sistema de informações de vigilância da qualidade da água para consumo humano – Sisagua;
- análise epidemiológica a partir dos dados das doenças e agravos de transmissão hídrica correlacionados com os dados do Sisagua;
- definição dos indicadores de risco específicos em função das características locais dos sistemas e das soluções alternativas coletivas e individuais de abastecimento de água;
- avaliação do programa a partir de indicadores de desempenho predefinidos;
- avaliação e classificação dos sistemas de abastecimento de água e das soluções alternativas coletivas, por tipo e grau de risco;
- avaliação do impacto à saúde dos sistemas de abastecimento de água e das soluções alternativas coletivas e individuais a partir de indicadores predefinidos;
- capacitação dos profissionais das vigilâncias em saúde e dos laboratórios de referência para realizar ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano;
- implementação de atividades laboratoriais para atender às necessidades do programa, no que se refere às análises dos parâmetros constantes na legislação ou a outras exigidas pela vigilância;
- integração entre as ações previstas no programa com outras do setor saúde relacionadas com a qualidade da água para consumo humano;
- definição de instrumentos e mecanismos formais de atuação intra e intersetorial;
- acompanhamento e avaliação da aplicação dos recursos financeiros necessários para a implementação e o desenvolvimento do programa;
- participação nos fóruns de políticas de gestão de recursos hídricos e meio ambiente, com vistas à produção de água potável para os consumidores;
- atuação junto aos gestores de saneamento, principalmente os de abastecimento de água para consumo humano, com o objetivo de influir nos critérios de alocação de recursos;

- atuação junto ao(s) responsável(is) por sistemas ou soluções alternativas coletivas e individuais de abastecimento de água, garantindo a adoção de medidas corretivas quando da identificação de riscos à saúde.

A abrangência das ações a serem desenvolvidas em cada esfera do setor saúde dependerá da capacidade instalada e da disponibilidade de recursos humanos e materiais (pessoal qualificado, infra-estrutura de laboratório, recursos de informática, nível de consolidação dos serviços de vigilância, etc.); isso é principalmente válido para o município, que é ao mesmo tempo a ponta do sistema de saúde na operacionalização das ações de vigilância e a porta de entrada do fluxo de informações.

Dessa forma, pode-se pensar em uma organização das ações inerentes à vigilância da qualidade da água para consumo humano, as quais, em função de sua complexidade, seriam desenvolvidas no âmbito do estado e/ou do município. Na tabela 5.11 é apresentado um exemplo para a implementação de um programa de vigilância da qualidade da água para consumo humano (FORMAGGIA, 1998).

O arranjo institucional necessário e adequado à operacionalização da vigilância da qualidade da água para consumo humano será sempre uma especificidade local. Nesse sentido, cabe retornar aos aspectos conceituais das ações inerentes ao exercício do monitoramento no âmbito da vigilância. Nesse entendimento, as ações de inspeção dos sistemas de abastecimento de água não devem se confundir com os procedimentos de fiscalização, sendo estes mais afetos ao exercício da vigilância sanitária.

De acordo com Waldman (1998), uma das atribuições seria:

Analisar, continuamente, indicadores de qualidade de produtos de consumo humano, [...] ambientais [...] com vistas à avaliação contínua de exposição da população a riscos [...]. É de todo aconselhável que a(s) agência(s) responsável(is) por essa atividade não tenha(m) atribuições no campo da fiscalização sanitária, para garantir sua independência.

Considerações como esta não ignoram a realidade de que em algum momento de estruturação do programa de vigilância da qualidade da água para consumo humano, muitas vezes, principalmente na ponta do sistema, o exercício prático das “diversas esferas da vigilância” será indissociável.

Tabela 5.11 – Proposta de classificação de ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano, de acordo com seu grau de complexidade (Opas, 1998)

NÍVEL	PROCEDIMENTOS REALIZADOS
I	<ul style="list-style-type: none"> • Medições de cloro residual livre e pH na rede de distribuição dos SAA
II	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimentos realizados no nível I • Cadastro dos SAA administrados pelo setor público • Realização de análises bacteriológicas dos SAA de forma sistemática
III	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimentos realizados no nível II • Realização de análises operacionais como cor, turbidez, ferro e fluoreto de forma sistemática • Realização de inspeções eventuais nos SAA • Existência de programa de capacitação periódica dos técnicos que atuam no Programa
IV	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimentos realizados no nível III • Realização de inspeções periódicas nos SAA • Cadastro dos SAA administrados por entidades particulares • Existência de um sistema padronizado de consolidação de informações geradas pelo Programa • Integração com a vigilância epidemiológica no sentido de cruzar informações relativas à ocorrência de epidemias ou surtos de diarreias e à qualidade da água consumida pela comunidade
V	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimentos realizados no nível IV • Realização de análises laboratoriais de maior complexidade, de acordo com as necessidades e a história do manancial • Integração com a Vigilância Epidemiológica no sentido de cruzar informações relativas à ocorrência de doenças de veiculação hídrica e à qualidade da água consumida pela comunidade • Existência de um trabalho sistemático de vigilância e orientação dirigido às comunidades não abastecidas por sistemas coletivos de abastecimento de água • Divulgação dos dados sobre a qualidade da água à população consumidora de forma sistematizada.

Fonte: (OPAS, 1998)

SAA = Sistemas Coletivos de Abastecimento de Água

Para o desenvolvimento do programa de vigilância da qualidade da água para consumo humano é importante dispor de um banco de dados que alimente um sistema de informações capaz de fornecer subsídios à definição de diretrizes gerais, ações de planejamento, alocação de recursos e avaliação de desempenho.

Torna-se então necessário definir indicadores de vigilância da qualidade da água para consumo humano, incluindo indicadores da qualidade da água e de caracterização do abastecimento/consumo de água.

5.10 REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A. C. Levantamento quantitativo de agrotóxicos como base para definição de indicadores de monitoramento de impacto ambiental na água. *Sanare*, v. 10, n. 10, p. 30-38, 1998.

APHA, AWWA, WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19. ed. Washington: 1995.

BAGLEY, S. T. Habitat association of *Klebsiella* species. *Infection Control*, v. 6, n. 2, p. 52-61, 1985.

BAGLEY, S. T.; SEIDLER, R. J. Significance of faecal coliform-positive *Klebsiella*. *Applied Microbiology*, v. 33, n. 5, p. 1141-1148, 1977.

BRASIL. Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990, do Ministério da Saúde. Normas e padrões de potabilidade de água destinada ao consumo humano. Brasília-DF, 1990.

BRASIL. Resolução Conama nº 20, de 18 de junho de 1986. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília-DF, p. 11-356, 1986.

CABELLI, V. J. Microbial indicators system for assessing water quality. *Antonie van Leeuwenhock*, n. 48, p. 613-617, 1982.

———. New standards for enteric bacteria. In: MITCHELL, R. (Ed.). *Water pollution microbiology*. New York: Wiley, 1978. p. 233-271.

CÂMARA, W. M.; SILVA, A. P.; CÂNCIO, J. A. Notas para a constituição de vigilância ambiental dos riscos e efeitos da exposição do mercúrio metálico em áreas de produção de ouro. *Informe Epidemiológico do SUS*, ano VII, n. 2, p. 35-44, 1998.

CENTRO NACIONAL DE EPIDEMIOLOGIA/FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE/ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE-CENEPI/FUNASA/OPAS. *Minuta para discussão na Oficina de Indicadores de Saúde e Monitoramento Ambiental*. In: EPIRIO'98, CONGRESSO BRASILEIRO DE EPIDEMIOLOGIA, IV. Rio de Janeiro, 1998. 37 p. (mimeo.).

COSTA, G. B.; ARAÚJO, L. B. M.; MORAES, L. R. C.; EVARISTO, S. M. S.; DORNAS, M. Controle de qualidade da água distribuída à população do Distrito Federal. In: ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSEMAE, 24, 1997, Brasília-DF, *Anais...* Brasília-DF: ASSEMAE, 1997, p. 131-145.

CYNAMON, S. E. *Saneamento: subsídios para um instrumental de análise*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 7. Rio de Janeiro, 1975. (mimeo.)

DEPARTMENT OF HEALTH AND SOCIAL SECURITY. The bacteriological examination of drinking water supplies. Methods for the examination of waters and associated materials. London: DHSS/HMSO, p. 122, 1982. (*Report on Public Health and Medical Subjects*, 71).

DUNCAN, W. D.; RAZELL, W. E. *Klebsiella* biotypes among coliforms isolated from forest environments and farm produce. *Applied Microbiology*, v. 24, n. 6, p. 933-938, 1972.

FORMAGGIA, D. M. E. *Proposta de programa de vigilância e controle da qualidade de água para o Brasil*. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde, 1998. (mimeo.).

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE/ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS SERVIÇOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO. *1ª Diagnóstico Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento*. Brasília: FNS/ASSEMAE, 1995.

GALVÃO, L. A.; OLIVEIRA, M. L. C.; AUGUSTO, L. G. S.; CÂNCIO, J. Indicadores de saúde e ambiente. Relatório da Oficina de Trabalho realizada durante o IV Congresso Brasileiro de Epidemiologia – EPIRIO-98. *Informe Epidemiológico do SUS*, n. 2, p. 45-53, 1998.

HAAS, C. N.; ROSE, J. B. Reconciliation of microbial risk models and outbreak epidemiology: the case of Milwaukee outbreak. *Proc. AWWA*, 1994. Annual Conference, New York.

HADDAD FILHO, E.; REGINA, S. M. A eficiência potencial de processos convencionais e potenciais do tratamento da água para a remoção de parâmetros ligados à agricultura. Belo Horizonte, 1993. 36 p. (*Boletim Técnico*, 41).

HELLER, L.; ARAÚJO, S. F. D. Estatísticas sobre cobertura populacional de saneamento no Brasil: uma leitura crítica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18, setembro de 1997, Foz do Iguaçu-SC. *Anais...* Rio de Janeiro: Abes, 1997. (Disquete).

HOFSTRA E HUISIN'T VELD, H.; HUISIN'T VELD, J. H. J. Methods for the detection and isolation of *Escherichia coli* including pathogenic strains. *Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement*, p. 197S-212S, 1988.

JONES, D. Composition and properties of the family Enterobacteriaceae. *Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement*, p. 1S-19S, 1988.

KNUDSTON, M. L.; HARTMAN, D. A. Routine procedures for isolation and identification of enterococci and streptococci. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 58, n. 9, p. 3027-3031, 1992.

LANGMUIR, A. D.; ANDREWS, J. M. Evolution of the concept of surveillance in the United States. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, n. 64, p. 681-684, 1971.

LAST, J. M. *A dictionary of epidemiology*. New York: Oxford University Press, 1988.

LE CHEVALLIER, M. W.; NORTON, W. D. *Giardia* and *Cryptosporium* in raw and finished water. *Jour. AWWA*, v. 87, n. 9, p. 54-68, 1995.

LOPEZ-TORREZ, A. J.; HAZEN, T. C.; TORANZOS, G. A. Distribution *in situ*, survival and activity of *Klebsiella pneumoniae* and *Escherichia coli* in a tropical rainforest watershed. *Current Microbiology*, v. 15, p. 213-218, 1987.

MACIEL, A. A.; CANCIO, J. A.; OLIVEIRA, M. L.; COSTA, S. S. *Indicadores de vigilância da qualidade da água de consumo humano*.

MOITA, F. R. H. S. Dados fundamentais. *Bio*, n. 2, p. 10-12, 1993.

MONTEIRO, C. A. (Org.). *Velhos e novos males da saúde no Brasil: a evolução do país e suas doenças*. São Paulo: Hucitec/Nupens/USP, 1995. 359 p.

MÜLLER, H. E.; MOSSEL, D. A. A. Observation on the occurrence of *Salmonella* in 20.000 samples of drinking water and a note on the choice of marker organisms for monitoring water supplies. *Antonie van Leeuwenhoek*, n. 48, p. 641-643, 1982.

NASCIMENTO, L. V.; VON SPERLING, M. Os padrões brasileiros de qualidade das águas e os critérios para proteção da vida aquática, saúde humana e animal. *Sanare*, v. 10, n. 10, 1996.

NIEMINSKI, E. C.; ONGERTH, J. E. Removing *Giardia* and *Cryptosporium* by conventional treatment and direct filtration. *Jour. AWWA*, v. 87, n. 9, p. 90-106, 1995.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE / FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE-OPAS/FNS. Indicadores de vigilância da qualidade da água de consumo humano. Relatório da Oficina de Trabalho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XX, 1999, Brasília-DF. *Anais...* OPS/FNS, 1999.

ONGERTH, J. E. Evaluation of treatment for removing *Giardia* cysts. *Jour. AWWA*, v. 80, n. 6, p. 85-95, 1990.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD-OMS. *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra: OMS, 1995. 195 p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD-OMS. *Manual de desinfección*. Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe. Washington-DC: OMS, 1995. 227 p. (Serie Técnica, 30)

POSSAS, C. *Epidemiologia e sociedade: heterogeneidade estrutural e saúde no Brasil*. São Paulo: Hucitec, 1989. 271p.

REVISTA BRASILEIRA DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE. Indicadores definem a vigilância da qualidade da água para consumo humano. *Bio*, ano XX, n. 10, p. 23-28, 1999.

ROSE, J. B.; HAAS, C. N.; REGLI, S. Risk assesment and control of waterborne *Giardiasis*. *Amer. Jour. Public Health*, v. 81, n. 6, p. 709, 1991.

SÃO PAULO. Resolução SS-293, de 25 de outubro de 1996. Estabelece os procedimentos do Programa de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano no Estado de São Paulo e dá providências correlatas.

SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE DE SÃO PAULO. *Coleta e conservação de amostras de água*. Programa Estadual de Vigilância da Qualidade de Água para Consumo Humano—Pro-Água, vol. 3, [s.d.]. 15 p.

SOUZA, H. B.; BERISIO, J. C. *Guia técnico de coleta de amostras de água*. São Paulo: Cetesb, 1977. 275 p.

TEIXEIRA, C. F.; PAIM, J. S.; VILASBÔAS, A. I. SUS, modelos assistenciais e vigilância da saúde. *Informe Epidemiológico do SUS*, ano VII, n. 2, p. 7-25, 1998.

WALDMAN, E. A. Usos da vigilância e da monitorização em saúde pública. *Informe Epidemiológico do SUS*, ano VII, n. 3, p. 7-20, 1998.



ANEXOS

ANEXO I

PORTARIA Nº 36, DE 19 DE JANEIRO DE 1990,
DO MINISTÉRIO DA SAÚDE

ANEXO II

PORTARIA Nº 518, DE 25 DE MARÇO DE 2004,
DO MINISTÉRIO DA SAÚDE

ANEXO III

DETERMINAÇÃO DE CLORO, TURBIDEZ E COR

ANEXO IV

PROCEDIMENTOS DE COLETA E CONSERVAÇÃO DE AMOSTRAS

ANEXO V

DETERMINAÇÃO DE COLIFORMES PELA TÉCNICA
DOS TUBOS MÚLTIPLOS

ANEXO VI

TABELAS PARA O CÁLCULO DO NÚMERO MAIS PROVÁVEL (NMP)
DE COLIFORMES

ANEXO VII

DETERMINAÇÃO DE COLIFORMES PELA TÉCNICA
DA MEMBRANA FILTRANTE

ANEXO I

Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990 (DOU de 23-01-90) – Aprova normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano.

O MINISTRO DE ESTADO DA SAÚDE, no uso das atribuições que lhe confere o artigo 2º do Decreto nº 79.367, de 9 de março de 1977,
RESOLVE:

1 - Aprovar, na forma do Anexo a esta Portaria, normas e o padrão de Potabilidade da Água destinada ao Consumo Humano, a serem observados em todo o território nacional.

2 - O Ministério da Saúde, em articulação com as autoridades sanitárias competentes dos Estados e do Distrito Federal exercerá a fiscalização e o controle do exato cumprimento das normas e do padrão aprovado por esta Portaria.

3 - O Ministério da Saúde promoverá a revisão das normas e do padrão aprovados por esta Portaria, a cada cinco anos ou, a qualquer tempo, mediante solicitação justificada dos órgãos de saúde ou de instituições de pesquisa de reconhecida confiabilidade.

4 - Para os efeitos desta Portaria, são adotadas as seguintes definições:

4.1 - Água Potável: aquela com qualidade adequada ao consumo humano;

4.2 - Grupo Coliformes: todos os bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de crescer na presença de sais biliares ou outros compostos ativos de superfície (surfactantes) com propriedades similares de inibição de crescimento e que fermentam a lactose com produção de aldeído, ácido e gás a 35°C (trinta e cinco graus Celsius), em 24-48 (vinte e quatro–quarenta e oito) horas. Quanto às técnicas de detecção, considera-se do Grupo Coliformes aqueles organismos que na técnica dos tubos múltiplos (ensaios presuntivo e confirmatório) fermentam a lactose, com produção de gás, a 35°C (trinta e cinco graus Celsius); no caso da técnica da membrana filtrante, aqueles que produzam colônias escuras, com brilho metálico, a 35°C (trinta e cinco graus Celsius), em meios de cultura do tipo Endo, no prazo máximo de 24 (vinte e quatro) horas;

4.3 - Coliformes Fecais ou Coliformes Termotolerantes: são as bactérias do grupo coliformes que apresentam as características do grupo, porém à temperatura de incubação de 44,5°C (quarenta e cinco graus Celsius), mais ou menos 0,2 (dois décimos) por 24 (vinte e quatro) horas;

4.4 - Contagem de bactérias heterotróficas (“Pour Plate Method”): contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC), obtida por semeadura em placa, de 1 (um) mil de amostra e de suas diluições (de modo a permitir a contagem mínima estabelecida no padrão bacteriológico, por incorporação em ágar padrão – “Plate Count Agar” – para contagem), com incubação a 35 °C (trinta e cinco graus Celsius) mais ou menos 0,5 (cinco décimos) por 48 (quarenta e oito) horas;

4.5 - Teste de Presença/Ausência (P/A): teste qualitativo da avaliação de presença ou ausência de bactérias do grupo coliformes em 100 mL de água;

4.6 - Controle da qualidade de água de abastecimento público: conjunto de atividades executadas pelo Serviço de Abastecimento Público de Água, com o objetivo de obter e manter a potabilidade da água;

4.7 - Vigilância da Qualidade de Água de abastecimento público: conjunto de atividades de responsabilidade da autoridade sanitária estadual competente, com a finalidade de avaliar a qualidade da água distribuída e de exigir a tomada de medidas necessárias, no caso da água não atender ao padrão de potabilidade;

4.8 - Padrão de Potabilidade: conjunto de valores máximos permissíveis das características de qualidade da água destinada ao consumo humano;

4.9 - Serviço de Abastecimento Público de Água (SAA): conjunto de atividades, instalações e equipamentos destinados a fornecer água potável a uma comunidade;

4.10 - Sistema de Abastecimento Público de Água: parte física do Serviço de Abastecimento Público de Água, constituído de instalações e equipamentos destinados a fornecer água potável a uma comunidade;

4.11 - Valor Máximo Permissível (VMP): valor de qualquer característica da qualidade da água, acima do qual ela é considerada não potável.

5 - Sempre que forem verificadas alterações em relação ao padrão da água para consumo humano, o Serviço de Abastecimento Público de Água e os órgãos de vigilância deverão estabelecer entendimento para a elaboração de um plano de ação e a tomada das medidas cabíveis, sem prejuízo das providências imediatas para a correção da anormalidade.

6 - O descumprimento das determinações desta Portaria sujeitará os responsáveis pelos sistemas de abastecimento público de água às sanções administrativas cabíveis, de acordo com o regime jurídico a que estiverem submetidos.

7 - As autoridades sanitárias competentes dos Estados e do Distrito Federal, tendo em vista as condições locais, poderão estabelecer condições mais restritivas, bem

como dispensar os Serviços de Abastecimento Público de Água da realização de determinada(s) análise(s) específica(s), uma vez verificada, por registros históricos e avaliações sanitárias, a inexistência do(s) componente(s) químico(s) em questão.

8 - O padrão aprovado por esta Portaria constitui o limite máximo para cada elemento ou substância química, não estando considerados eventuais efeitos sinérgicos entre eles e outros elementos ou substâncias. Verificados tais efeitos, comprovadamente prejudiciais à saúde, os limites estabelecidos deverão ser reavaliados.

9 - Diante de condições específicas locais, o Serviço de Abastecimento Público de Água deverá aumentar a frequência e o número de amostras além das mínimas estabelecidas nesta Portaria, a critério próprio ou do órgão sanitário estadual competente, visando a garantir o atendimento ao padrão de potabilidade.

10 - Para o atendimento das exigências de ordem técnico-instrumental, que a detecção ou quantificação de alguns componentes imponham, caberá aos serviços de abastecimento público de água e aos órgãos de vigilância promoverem sua própria capacitação, a fim de atender aos objetivos desta Portaria, podendo confiar tais atribuições a laboratórios certificados pelo Ministério da Saúde ou pela autoridade sanitária competente dos Estados e do Distrito Federal.

11 - Os serviços de abastecimento de água deverão encaminhar às Secretarias de Estado da Saúde, ou órgãos equivalentes, relatórios mensais relativos ao efetivo cumprimento das disposições desta Portaria.

12 - Serão obrigatoriamente observados em todo o território nacional as normas e o padrão de potabilidade estabelecidos nesta Portaria, dentro de dois anos a contar da data de sua publicação.

13 - Durante o prazo previsto no item anterior, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios deverão promover as medidas que, para o fiel cumprimento desta Portaria, se façam necessárias.

14 - Até a entrada em vigor das normas e do padrão aprovados por esta Portaria, continuarão vigorando os estabelecidos na Portaria nº 56/Bsb, de 14 de março de 1977.

15 - Os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, desde que devidamente capacitados, poderão adotar, a partir da publicação desta Portaria, as normas e o padrão de potabilidade da água nela estabelecidos.

16 - Esta Portaria entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

SEIGO TSUZUKI

NORMAS E PADRÃO DE POTABILIDADE DA ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO HUMANO

1. Padrão de Potabilidade

A água potável, destinada ao abastecimento das populações humanas, deve atender às seguintes características de qualidade:

1.1 - Físicas, Organolépticas e Químicas

As características físicas, químicas e organolépticas da água de consumo humano e seus VMPs estão listados na Tabela I.

Tabela I – Valores máximos permissíveis das características físicas, organolépticas e químicas da água potável

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	VMP
I - FÍSICAS E ORGANOLÉPTICAS		
Cor aparente	uH ⁽¹⁾	5 (Obs.1)
Odor		Não objetável
Sabor		Não objetável
Turbidez	uT ⁽²⁾	1 (Obs. 2)
I - Químicas		
II - a) Componentes Inorgânicos que afetam a saúde		
Arsênio	mg/L	0,05
Bário	mg/L	1,0
Cádmio	mg/L	0,005
Chumbo	mg/L	0,05
Cianetos	mg/L	0,1
Cromo Total	mg/L	0,05
Fluoretos	mg/L	Obs. 3
Mercúrio	mg/L	0,001
Nitratos	mg/L N	10
Prata	mg/L	0,05
Selênio	mg/L	0,01
II - b) Componentes Orgânicos que afetam a saúde		
Aldrin e Dieldrin	ug/L	0,03
Benzeno	ug/L	10
Benzeno-a-pireno	ug/L	0,01
Clordano (Total de Isômeros)	ug/L	0,3
DDT(p-p' DDT; o-p' DDT; p-p' DDE; o-pDDE)	ug/L	1

Continua...

Continuação

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	VMP
I - Químicas		
II - b) Componentes Orgânicos que afetam a saúde		
Endrin	ug/L	0,2
Heptacloro e Heptacloro epóxido	ug/L	0,1
Hexaclorobenzeno	ug/L	0,01
Lindano (Gama HCH)	ug/L	3
Metoxicloro	ug/L	30
Pentaclorofenol	ug/L	10
Tetracloroeto de Carbono	ug/L	3
Tetracloroetano	ug/L	10
Toxafeno	ug/L	5,0
Tricloroetano	ug/L	30
Trihalometanos	ug/L	100 (Obs.4)
1,1 Dicloroetano	ug/L ug/L	0,3
1,2 Dicloroetano	ug/L	10
2,4 D	ug/L	100
2,4,6 Triclorofenol	ug/L	10 (Obs.5)
II - c) Componentes que afetam a qualidade Organoléptica		
Alumínio	mg/L	0,2 (Obs.6)
Agentes Tenso-ativos (Reagentes ao azul de metileno)	mg/L	0,2
Cloretos	mg/L	250
Cobre	mg/L	1,0
Dureza Total	mg/L	500
Ferro Total	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	1000
Sulfatos	mg/L	400
Zinco	mg/L	5

¹ uH é a unidade de escala de Hazen (de platina-cobalto).

² uT é a unidade de turbidez, seja em unidade de Jackson ou nefelométrica.

Obs. 1 - Para a cor aparente, o VMP é 5 (cinco) uH para água entrando no sistema de distribuição. O VMP de 15 (quinze) uH é permitido em pontos da rede de distribuição.

Obs. 2 - Para a turbidez, o VMP é 1,0 uT, para a água entrando no sistema de distribuição. O VMP de 5,0 uT é permitido em pontos da rede de distribuição, se for demonstrado que a desinfecção não é comprometida pelo uso desse valor menos exigente.

Obs. 3 - Os valores recomendados para a concentração do íon fluoreto em função da média das temperaturas máximas diárias do ar deverão atender à legislação em vigor.

Obs. 4 - Sujeito a revisão em função dos estudos toxicológicos em andamento. A remoção ou prevenção de trihalometanos não deverá prejudicar a eficiência da desinfecção.

Obs. 5 - Concentração limiar do odor de 0,1 ug/l.

Obs. 6 - Sujeito a revisão em função de estudos toxicológicos em andamento.

1.1.1 - Recomendações

- O pH deverá ficar situado no intervalo de 6,5 a 8,5;
- A concentração mínima de cloro residual livre em qualquer ponto da rede de distribuição, deverá ser de 0,2 mg/L.
- A água de abastecimento não deverá apresentar nenhuma das substâncias relacionadas na Tabela II, em teores que lhe confirmam odor característico.

Tabela II

SUBSTÂNCIA	CONCENTRAÇÃO LIMIAR DE ODOR
Clorobenzenos	0,1 a 3 ug/L
Clorofenóis e Fenóis	0,1 ug/L
Sulfetos de Hidrogênio (não ionizável)	0,025 a 0,25 ug/L (em S)

- Recomenda-se a realização de análises pelo método da medida da atividade anticolinesterásica para verificação da presença de carbamatos e fosforados nas águas de abastecimento público (limite detec. do método = 10 µg/L).

1.1.2 - Amostragem

O número mínimo de amostras e a frequência mínima de amostragem a serem efetuadas pelos serviços de abastecimento público de água deverão obedecer à Tabela III.

Tabela III – Número mínimo de amostras e frequência mínima de amostragem para análise das características de qualidade físicas, organolépticas e químicas das águas de abastecimento público a serem efetuadas pelos serviços de abastecimento público, coletadas na entrada do sistema de distribuição e na rede de distribuição

	ENTRADA DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	REDE DE REDISTRIBUIÇÃO		
		NÚMERO MÍNIMO DE AMOSTRAS		
População abastecida (hab.)	*****	Até 50.000	50.0001 a 250.000	Acima de 250.000
Número de amostras	1	1	1/p cada 50.000	4 + (1 p/cada 250.000)

FREQUÊNCIA MÍNIMA DE AMOSTRAGEM

I - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ORGANOLÉPTICAS

Cor Aparente	Diária	Mensal	Mensal	Mensal
Turbidez	Diária	Mensal	Mensal	Mensal
Sabor	Diária	Mensal	Mensal	Mensal
Odor	Diária	Mensal	Mensal	Mensal
pH	Diária	Mensal	Mensal	Mensal

II - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

II - a) Componentes Inorgânicos que afetam a Saúde

Cádmio	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral
Chumbo	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral
Cloro residual	Diário	Semestral (*)	Semestral (*)	Semestral (*)
Cromo total	Semestral	Semestral Mensal (**)	Semestral Mensal (**)	Semestral Mensal (**)
Fluoreto	Diário (**)	****	****	****
Arsênio	Semestral	****	****	****
Bário	Semestral	****	****	****
Cianetos	Semestral	****	****	****
Mercúrio	Semestral	****	****	****
Nitratos	Semestral	****	****	****
Prata	Semestral	****	****	****
Selênio	Semestral	****	****	****

II - b) Componentes Orgânicos que afetam a Saúde

Trihalometanos	Mensal	Semestral	Semestral	Semestral
Aldrin e Dieldrin	Semestral	****	****	****
Benzeno	Semestral	****	****	****
Benzo-A-Pireno	Semestral	****	****	****
Clordano (Tot. Isômeros)	Semestral	****	****	****
DDT (ver tabela I)	Semestral	****	****	****
Endrin	Semestral	****	****	****
Heptacloro e Hept. Epóxido	Semestral	****	****	****
Hexaclorobenzeno	Semestral	****	****	****
Lindano (gama BCH)	Semestral	****	****	****
Metoxicloro	Semestral	****	****	****
Pentaclorofenol	Semestral	****	****	****
Tetracloroeto de Carbono	Semestral	****	****	****
Tetracloroetano	Semestral	****	****	****
Toxafeno	Semestral	****	****	****
Tricloroetano	Semestral	****	****	****
1,1 - Dicloroetano	Semestral	****	****	****
1,2 - Dicloroetano	Semestral	****	****	****
2,4 - Dicloroetano	Semestral	****	****	****
2,4,6 - Triclorofenol	Semestral	****	****	****

II - c) Componentes que afetam a qualidade Organoléptica

Alumínio	Mensal	Semestral	Semestral	Semestral
Ferro total	Mensal	Semestral	Semestral	Semestral
Manganês	Semestral	****	****	****
Agentes Tenso-Ativos	Semestral	****	****	****
Cloretos	Semestral	****	****	****
Cobre	Semestral	****	****	****
Dureza Total	Semestral	****	****	****
Sol. Total Dissolvidos	Semestral	****	****	****
Sulfatos	Semestral	****	****	****
Zinco	Semestral	****	****	****

NOTAS:

- 1) (****) Coleta de amostras não obrigatória.
- 2) Na determinação do número de amostras, toda fração decimal deverá ser aproximada para o número inteiro imediatamente mais próximo.
- 3) (*) Analisar o cloro residual em todas as amostras coletadas para análise bacteriológica.
- 4) (**) Se houver fluoretação artificial. Quando houver fluoreto natural no manancial, a amostragem deverá ser semestral apenas na entrada do Sistema de Distribuição.
- 5) As amostras devem ser representativas da rede de distribuição, independente de quantas unidades de produção a alimentem.

1.2 - Bacteriológicas

1.2.1 - Ausência de coliformes fecais em 100 (cem) mililitros de amostra.

1.2.2 - Ausência de bactéria do grupo coliformes totais em 100 (cem) mililitros quando a amostra é coletada na entrada da rede de distribuição.

1.2.3 - Nas amostras procedentes da rede de distribuição, 95% (noventa e cinco por cento) deverão apresentar ausência de coliformes totais em 100 (cem) mililitros. Nos 5% (cinco por cento) das amostras restantes, serão tolerados até 3 (três) coliformes totais em 100 (cem) mililitros, desde que isso não ocorra em duas amostras consecutivas, coletadas sucessivamente no mesmo ponto.

1.2.4 - Nos sistemas de distribuição de água sem tratamento, 98% (noventa e oito por cento) das amostras deverão apresentar ausência de coliformes totais em 100 (cem) mililitros. Nos 2% (dois por cento) das amostras restantes serão tolerados até 3 (três) coliformes em 100 (cem) mililitros desde que isso não ocorra em duas amostras consecutivas, coletadas sucessivamente no mesmo ponto.

1.2.5 - Em água não canalizada usada comunitariamente e sem tratamento (poços, fontes, nascentes etc.), desde que não haja disponibilidade de água de melhor qualidade, 95% (noventa e cinco por cento) das amostras devem apresentar ausência de coliformes totais em 100 (cem) mililitros. Nos 5% (cinco por cento) das amostras restantes serão tolerados até 10 (dez) coliformes totais em 100 (cem) mililitros, desde que isso não ocorra em duas amostras consecutivas, coletadas sucessivamente no mesmo ponto. Neste caso, deve-se providenciar a melhoria dessa condição ou a utilização de água que apresente melhor qualidade bacteriológica, acompanhada por inspeções sanitárias freqüentes e coleta de dado epidemiológico.

1.2.6 - O volume mínimo de amostras a ser analisado é de 100 mL. No caso de técnica dos tubos múltiplos, quando não houver possibilidade de analisar os 100mL, permite-se a análise de 5 porções de 10 mL (50 mL).

1.2.7 - Quando forem obtidos resultados desfavoráveis, pelo teste P/A (presença/ausência), duas novas amostras deverão ser coletadas nos mesmos pontos, em dias imediatamente consecutivos, para exame quantitativo, quer pela técnica de tubos múltiplos ou de membrana filtrante, visando a atender os itens anteriores no referente a percentagem de amostras onde se considera o limite máximo tolerado de coliformes totais.

1.2.8 - Em qualquer dos casos incluídos no subitem (1.2), quando forem obtidos resultados desfavoráveis, novas amostras deverão ser coletadas nos mesmos pontos em dias imediatamente sucessivos, até que duas amostras consecutivas revelem qualidade

satisfatória, em função das providências adotadas. Essas amostras, consideradas extras, não serão computadas no número mínimo de amostras estabelecido na Tabela IV.

1.2.9 - Para efeito desta Portaria, na determinação de coliformes totais pelas técnicas dos tubos múltiplos e P/A, quando o ensaio presuntivo for positivo, a análise deverá ser conduzida até o ensaio confirmatório.

1.2.10 - Se ocorrer positividade das amostras analisadas pelos órgãos responsáveis pela vigilância da qualidade da água, o Serviço de Abastecimento de Água deverá ser notificado para adoção das medidas corretivas e execução de novas análises, até que 2 (duas) amostras sucessivas apresentem resultados satisfatórios, após o que informará aos órgãos responsáveis pela vigilância que poderão coletar novas amostras, para a confirmação da efetividade das medidas.

1.2.11 - Recomendações

Para avaliar as condições sanitárias dos sistemas de abastecimento público de água, é recomendado que, em 20% (vinte por cento) das amostras analisadas por mês, semestre ou ano, seja efetuada a contagem de bactérias heterotróficas, que não poderão exceder a 500 (quinhentas) Unidades Formadoras de Colônia (UFC) por mililitro. Se ocorrer número superior ao recomendado, deverá ser providenciada imediata coleta e inspeção local. Confirmada e/ou constatada irregularidade, deverão ser tomadas providências para sua correção. A técnica do espalhamento em placa Spread Plate Method também poderá ser adotada. Na coleta, para verificação da colimetria positiva (item 1.2.8), recomenda-se que sejam coletadas 3 (três) amostras simultâneas, no local da amostragem e em 2 (dois) pontos situados antes e depois do mesmo.

1.2.12 - Amostragem

O número mínimo de amostras e a frequência mínima de amostragem a serem efetuadas pelos serviços de abastecimento público deverão seguir a Tabela IV.

Tabela IV – Número mínimo de amostras e frequência mínima de amostragem para verificação das características bacteriológicas da água do sistema de abastecimento público

POPULAÇÃO TOTAL ABASTECIDA	NÚMERO MÍNIMO DE AMOSTRAS A SEREM EFETUADAS PELO SAA	
	FREQUÊNCIA	AMOSTRAS MENSAIS
Até 5.000	Semanal	5
5.001 a 20.000	Semanal	1 p/cada 1.000 (hab)
20.001 a 100.000	2 x p/Semana	1 p/ cada 1.000 (hab)
Acima de 100.000	Diária	90 + (1 p/cada 10.000 (hab))

Obs.: As amostras devem ser representativas da rede de distribuição independente de quantas unidades de produção a alimentem, distribuídas uniformemente ao longo do mês.

1.3 - Radioativas

1.3.1 - O valor de referência para a radioatividade alfa total (incluindo o Rádio 226) é de 0,1Bq/l (um décimo de bequerel por litro).

1.3.2 - O valor de referência para a radioatividade beta total é de 1 Bq/l (um bequerel por litro).

1.3.3 - Se os valores encontrados forem superiores aos referidos nos subitens 1.3.1 e 1.3.2 deverá ser feita a identificação dos radionuclídeos presentes e a medida das concentrações respectivas. Nesses casos, deverão ser aplicados para os radionuclídeos encontrados os valores estabelecidos pela Norma Experimental da Comissão Nacional de Energia Nuclear–CNEN, Diretrizes Básicas de Radioproteção (CNEN – NE 3.01), para se concluir sobre a potabilidade da água.

1.3.4 - Recomendações

Recomenda-se a realização de levantamento geral em cada Estado e no Distrito Federal, a fim de possibilitar o conhecimento dos níveis de radioatividade aos corpos de água destinada a abastecimento público em cada região.

1.3.5 - Amostragem

A frequência mínima de amostragem, para a verificação das características de qualidade radiológica da água dos sistemas de abastecimento público, dependerá da existência de causas de radiação artificial ou natural, decorrentes ou não de atividades humanas.

2. Condições Específicas

2.1 - Comprovado que a água fornecida à população não atende às características de qualidade estabelecidas nesta norma e padrão de potabilidade da água para consumo humano, as autoridades sanitárias estaduais e do Distrito Federal poderão autorizar o seu fornecimento a título precário e excepcional, desde que não haja risco à saúde. Nesse caso, deverão exigir o tratamento adequado, ou pesquisa de outros corpos de água para o Abastecimento Público, colaborando para a correção da falha, bem como alertar o consumidor para que tome medidas preventivas e estabelecer prazos para a adoção, pelo SAA, das medidas corretivas necessárias.

2.2 - Para a verificação da qualidade da água, tendo em vista o Padrão de Potabilidade estabelecido, serão adotadas, preferencialmente, as técnicas de coleta e análise de água constantes do “Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater”, última edição, da American Public Health Association (APHA),

da American Water Works Association (AWWA) e da Water Pollution Control Federation (WPCF), até que sejam publicadas Normas Nacionais. Metodologias alternativas deverão receber aprovação do Ministério da Saúde para terem validade, mediante apresentação de documentação científica adequada.

2.3 - Ocorrendo a presença de substâncias e/ou elementos químicos decorrentes de falhas nos processos de tratamento, ou acidente de qualquer natureza, que coloque em dúvida a qualidade da água distribuída, a situação deverá ser avaliada pela autoridade sanitária estadual competente, para a tomada imediata das medidas cabíveis.

2.4 - Em nenhum momento, o Sistema de Abastecimento Público de Água poderá ser operado de maneira a causar pressão negativa em qualquer ponto da rede de distribuição.

2.5 - Todos os novos projetos de ampliação de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água deverão atender aos requisitos das Normas Técnicas da ABNT.

REFERÊNCIAS

Na aplicação das presentes Normas, deverão ser consultadas:

Portaria nº 443/Bsb/78, do Ministro da Saúde;

Portaria nº 635/Bsb/75, do Ministro da Saúde;

Portaria nº 280/Bsb/77, do Ministro da Saúde;

Guias para La Calidad Del Agua Potable

Vol. 1 - Recomendaciones – OPAS – 1985

Vol. 2 - Critérios Relativos a La Salud Y otra Information de Base – OPAS – 1987

Diretrizes Básicas de Radioproteção/88 da CNEN

P - NB - 587 - Elaboração de Estudos de Concepção de Sistema Público de Abastecimento de Água

P - NB - 588 - Elaboração de Projetos de Poços Tubulares Profundos para Captação de Água Subterrânea

P - NB - 589 - Elaboração de Projetos Hidráulicos de Sistemas de Captação de Água de Superfície para Abastecimento Público

P - NB - 590 - Elaboração de Projetos de Sistemas do Bombeamento de Água para Abastecimento Público

P - NB - 591 - Elaboração de Projetos de Sistemas de Adução de Água para Abastecimento Público

P - NB - 592 - Elaboração de Projetos de Sistemas de Tratamento de Água para Abastecimento Público

P - NB - 593 - Elaboração de Projetos de Reservatórios de Distribuição de Água para Abastecimento Público

P - NB - 594 - Elaboração de Projetos Hidráulicos de Redes de Distribuição de Água Potável para Abastecimento Público

CANADA – Guidelines for Canadian Drinking Water Quality, Federal Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health and Welfare, Canada, 1987 – 20 pp.

CONSELHO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS – Diretiva do Conselho de 15 de julho de 1980 relativa à qualidade das águas destinadas ao Consumo Humano (80/778/CCE). J.O. Comunid. Europ. nº L229/11 (30/8/80) 15 (02):174-192. 1980.

FEDERAL REGISTER 47:43 4-3-1982, EUA

FEDERAL REGISTER 48:134 5-10-1983, EUA

RODIER, J. *Lanlaise chimique et physique – Chimique de L'eau*. 4 ed. pág. 317-19. 1971.

ANEXO II

Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 – Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

O MINISTRO DE ESTADO DA SAÚDE, no uso de suas atribuições e considerando o disposto no Art. 2º do Decreto nº 79.367, de 9 de março de 1977, RESOLVE:

Art. 1º Aprovar a Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano, na forma do Anexo desta Portaria, de uso obrigatório em todo território nacional.

Art. 2º Fica estabelecido o prazo máximo de 12 meses, contados a partir da publicação desta Portaria, para que as instituições ou órgãos aos quais esta Norma se aplica, promovam as adequações necessárias a seu cumprimento, no que se refere ao tratamento por filtração de água para consumo humano suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização e da obrigação do monitoramento de cianobactérias e cianotoxinas.

Art. 3º É de responsabilidade da União, dos Estados, dos Municípios e do Distrito Federal a adoção das medidas necessárias para o fiel cumprimento desta Portaria.

Art. 4º O Ministério da Saúde promoverá, por intermédio da Secretaria de Vigilância em Saúde – SVS, a revisão da Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano estabelecida nesta Portaria, no prazo de 5 anos ou a qualquer tempo, mediante solicitação devidamente justificada de órgãos governamentais ou não governamentais de reconhecida capacidade técnica nos setores objeto desta regulamentação.

Art. 5º Fica delegada competência ao Secretário de Vigilância em Saúde para editar, quando necessário, normas regulamentadoras desta Portaria.

Art. 6º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

HUMBERTO COSTA

ANEXO À PORTARIA MS Nº 518, DE 25 DE MARÇO DE 2004

NORMA DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

CAPÍTULO I DAS DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art. 1º Esta Norma dispõe sobre procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelece seu padrão de potabilidade e dá outras providências.

Art. 2º Toda a água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água.

Art. 3º Esta Norma não se aplica às águas envasadas e a outras, cujos usos e padrões de qualidade são estabelecidos em legislação específica.

CAPÍTULO II DAS DEFINIÇÕES

Art. 4º Para os fins a que se destina esta Norma, são adotadas as seguintes definições:

I - água potável – água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde;

II - sistema de abastecimento de água para consumo humano – instalação composta por conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão;

III - solução alternativa de abastecimento de água para consumo humano – toda modalidade de abastecimento coletivo de água distinta do sistema de abastecimento de água, incluindo, entre outras, fonte, poço comunitário, distribuição por veículo transportador, instalações condominiais horizontal e vertical;

IV - controle da qualidade da água para consumo humano – conjunto de atividades, exercidas de forma contínua pelo(s) responsável(is) pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição;

V - vigilância da qualidade da água para consumo humano – conjunto de ações adotadas continuamente pela autoridade de saúde pública para verificar se a água consu-

mida pela população atende à esta Norma e para avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana;

VI - coliformes totais (bactérias do grupo coliforme) – 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 $35,0 \pm 0,5$ °C em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo;

VII - coliformes termotolerantes – subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a $44,5 \pm 0,2$ °C em 24 horas; tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal;

VIII - *Escherichia coli* – bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a $44,5 \pm 0,2$ °C em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase-negativa, não hidroliza a uréia e apresenta atividade das enzimas β -galactosidase e β -glucuronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos;

IX - contagem de bactérias heterotróficas – 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: $35,0, \pm 0,5$ °C por 48 horas;

X - cianobactérias – microorganismos procarióticos autotróficos, também denominados como cianofíceas (algas azuis), capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo), podendo produzir toxinas com efeitos adversos à saúde; e

XI - cianotoxinas – toxinas produzidas por cianobactérias que apresentam efeitos adversos à saúde por ingestão oral, incluindo:

a) microcistinas – hepatotoxinas heptapeptídicas cíclicas produzidas por cianobactérias, com efeito potente de inibição de proteínas fosfatases dos tipos 1 e 2A e promotoras de tumores;

b) cilindrospermopsina – alcalóide guanidínico cíclico produzido por cianobactérias, inibidor de síntese protéica, predominantemente hepatotóxico, apresentando também efeitos citotóxicos nos rins, baço, coração e outros órgãos; e

c) saxitoxinas – grupo de alcalóides carbamatos neurotóxicos produzido por cianobactérias, não sulfatados (saxitoxinas) ou sulfatados (goniautoxinas e C-toxinas) e derivados decarbamil, apresentando efeitos de inibição da condução nervosa por bloqueio dos canais de sódio.

CAPÍTULO III DOS DEVERES E DAS RESPONSABILIDADES SEÇÃO I DO NÍVEL FEDERAL

Art. 5º São deveres e obrigações do Ministério da Saúde, por intermédio da FUNASA:

I - promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água, em articulação com as secretarias de saúde dos estados e do Distrito Federal e com os responsáveis pelo controle de qualidade da água, nos termos da legislação que regulamenta o SUS;

II - estabelecer as referências laboratoriais nacionais e regionais, para dar suporte às ações de maior complexidade na vigilância da qualidade da água para consumo humano;

III - aprovar e registrar as metodologias não contempladas nas referências citadas no artigo 16 deste Anexo;

IV - definir diretrizes específicas para o estabelecimento de um plano de amostragem a ser implementado pelos estados, Distrito Federal ou municípios, no exercício das atividades de vigilância da qualidade da água, no âmbito do Sistema Único de Saúde – SUS; e

V - executar ações de vigilância da qualidade da água, de forma complementar, em caráter excepcional, quando constatada, tecnicamente, insuficiência da ação estadual, nos termos da regulamentação do SUS.

SEÇÃO II DO NÍVEL ESTADUAL E DISTRITO FEDERAL

Art. 6º São deveres e obrigações das secretarias de saúde dos estados e do Distrito Federal:

I - promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água em sua área de competência, em articulação com o nível municipal e os responsáveis pelo controle de qualidade da água, nos termos da legislação que regulamenta o SUS;

II - garantir, nas atividades de vigilância da qualidade da água, a implementação de um plano de amostragem pelos municípios, observadas as diretrizes específicas a serem elaboradas pela SVS/MS;

III - estabelecer as referências laboratoriais estaduais e do Distrito Federal para dar suporte às ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano; e

IV - executar ações de vigilância da qualidade da água, de forma complementar, em caráter excepcional, quando constatada, tecnicamente, insuficiência da ação municipal, nos termos da regulamentação do SUS.

SEÇÃO III DO NÍVEL MUNICIPAL

Art. 7º São deveres e obrigações das secretarias municipais de saúde:

I - exercer a vigilância da qualidade da água em sua área de competência, em articulação com os responsáveis pelo controle de qualidade da água, de acordo com as diretrizes do SUS;

II - sistematizar e interpretar os dados gerados pelo responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, assim como, pelos órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, em relação às características da água nos mananciais, sob a perspectiva da vulnerabilidade do abastecimento de água quanto aos riscos à saúde da população;

III - estabelecer as referências laboratoriais municipais para dar suporte às ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano;

IV - efetuar, sistemática e permanentemente, avaliação de risco à saúde humana de cada sistema de abastecimento ou solução alternativa, por meio de informações sobre:

a) a ocupação da bacia contribuinte ao manancial e o histórico das características de suas águas;

b) as características físicas dos sistemas, práticas operacionais e de controle da qualidade da água;

c) o histórico da qualidade da água produzida e distribuída; e

d) a associação entre agravos à saúde e situações de vulnerabilidade do sistema.

V - auditar o controle da qualidade da água produzida e distribuída e as práticas operacionais adotadas;

VI - garantir à população informações sobre a qualidade da água e riscos à saúde associados, nos termos do inciso VI do artigo 9 deste Anexo;

VII - manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível à população e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública;

VIII - manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para a adoção das providências pertinentes;

IX - informar ao responsável pelo fornecimento de água para consumo humano sobre anomalias e não conformidades detectadas, exigindo as providências para as correções que se fizerem necessárias;

X - aprovar o plano de amostragem apresentado pelos responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, que deve respeitar os planos mínimos de amostragem expressos nas tabelas 6, 7, 8 e 9;

XI - implementar um plano próprio de amostragem de vigilância da qualidade da água, consoante diretrizes específicas elaboradas pela FUNASA; e

XII - definir o responsável pelo controle da qualidade da água de solução alternativa.

SEÇÃO IV DO RESPONSÁVEL PELA OPERAÇÃO DE SISTEMA E/OU SOLUÇÃO ALTERNATIVA

Art. 8º Cabe ao(s) responsável(is) pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água exercer o controle da qualidade da água.

Parágrafo único. Em caso de administração, em regime de concessão ou permissão, do sistema de abastecimento de água, é a concessionária ou a permissionária a responsável pelo controle da qualidade da água.

Art. 9º Ao(s) responsável(is) pela operação de sistema de abastecimento de água incumbe:

I - operar e manter sistema de abastecimento de água potável para a população consumidora em conformidade com as normas técnicas aplicáveis publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e com outras normas e legislações pertinentes;

II - manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, por meio de:

- a) controle operacional das unidades de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição;
- b) exigência do controle de qualidade, por parte dos fabricantes de produtos químicos utilizados no tratamento da água e de materiais empregados na produção e distribuição que tenham contato com a água;
- c) capacitação e atualização técnica dos profissionais encarregados da operação do sistema e do controle da qualidade da água; e
- d) análises laboratoriais da água, em amostras provenientes das diversas partes que compõem o sistema de abastecimento.

III - manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída;

IV - encaminhar à autoridade de saúde pública, para fins de comprovação do atendimento a esta Norma, relatórios mensais com informações sobre o controle da qualidade da água, segundo modelo estabelecido pela referida autoridade;

V - promover, em conjunto com os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, as ações cabíveis para a proteção do manancial de abastecimento e de sua bacia contribuinte, assim como efetuar controle das características das suas águas, nos termos do artigo 19 deste Anexo, notificando imediatamente a autoridade de saúde pública sempre que houver indícios de risco à saúde ou sempre que amostras coletadas apresentarem resultados em desacordo com os limites ou condições da respectiva classe de enquadramento, conforme definido na legislação específica vigente;

VI - fornecer a todos os consumidores, nos termos do Código de Defesa do Consumidor, informações sobre a qualidade da água distribuída, mediante envio de relatório, dentre outros mecanismos, com periodicidade mínima anual e contendo, pelo menos, as seguintes informações:

- a) descrição dos mananciais de abastecimento, incluindo informações sobre sua proteção, disponibilidade e qualidade da água;
- b) estatística descritiva dos valores de parâmetros de qualidade detectados na água, seu significado, origem e efeitos sobre a saúde; e

c) ocorrência de não conformidades com o padrão de potabilidade e as medidas corretivas providenciadas.

VII - manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível aos consumidores e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública;

VIII - comunicar, imediatamente, à autoridade de saúde pública e informar, adequadamente, à população a detecção de qualquer anomalia operacional no sistema ou não conformidade na qualidade da água tratada, identificada como de risco à saúde, adotando-se as medidas previstas no artigo 29 deste Anexo; e

IX - manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para a adoção das providências pertinentes.

Art. 10. Ao responsável por solução alternativa de abastecimento de água, nos termos do inciso XIII do artigo 7 deste Anexo, incumbe:

I - requerer, junto à autoridade de saúde pública, autorização para o fornecimento de água apresentando laudo sobre a análise da água a ser fornecida, incluindo os parâmetros de qualidade previstos nesta Portaria, definidos por critério da referida autoridade;

II - operar e manter solução alternativa que forneça água potável em conformidade com as normas técnicas aplicáveis, publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e com outras normas e legislações pertinentes;

III - manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, por meio de análises laboratoriais, nos termos desta Portaria e, a critério da autoridade de saúde pública, de outras medidas conforme inciso II do artigo anterior;

IV - encaminhar à autoridade de saúde pública, para fins de comprovação, relatórios com informações sobre o controle da qualidade da água, segundo modelo e periodicidade estabelecidos pela referida autoridade, sendo no mínimo trimestral;

V - efetuar controle das características da água da fonte de abastecimento, nos termos do artigo 19 deste Anexo, notificando, imediatamente, à autoridade de saúde pública sempre que houver indícios de risco à saúde ou sempre que amostras coletadas apresentarem resultados em desacordo com os limites ou condições da respectiva classe de enquadramento, conforme definido na legislação específica vigente;

VI - manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível aos consumidores e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública;

VII - comunicar, imediatamente, à autoridade de saúde pública competente e informar, adequadamente, à população a detecção de qualquer anomalia identificada como de risco à saúde, adotando-se as medidas previstas no artigo 29; e

VIII - manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para a adoção das providências pertinentes.

CAPÍTULO IV DO PADRÃO DE POTABILIDADE

Art. 11. A água potável deve estar em conformidade com o padrão microbiológico conforme Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 – Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano

PARÂMETRO	VMP ⁽¹⁾
Água para consumo humano ⁽²⁾	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes ⁽³⁾	Ausência em 100 mL
Água na saída do tratamento	
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede)	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes ⁽³⁾	Ausência em 100 mL
Coliformes totais	<ul style="list-style-type: none">• Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês: ausência em 100 mL 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 100 mL

NOTAS:

(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 *Escherichia coli* deve ser preferencialmente adotada.

§ 1º No controle da qualidade da água, quando forem detectadas amostras com resultado positivo para coliformes totais, mesmo em ensaios presuntivos, novas amostras devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos até que as novas amostras revelem resultado satisfatório.

§ 2º Nos sistemas de distribuição, a coleta deve incluir, no mínimo, três amostras simultâneas, sendo uma no mesmo ponto e duas outras localizadas a montante e a jusante.

§ 3º Amostras com resultados positivos para coliformes totais devem ser analisadas para *Escherichia coli* e, ou, coliformes termotolerantes, devendo, neste caso, ser efetuada a verificação e confirmação dos resultados positivos.

§ 4º O percentual de amostras com resultado positivo de coliformes totais em relação ao total de amostras coletadas nos sistemas de distribuição deve ser calculado mensalmente, excluindo as amostras extras (coleta).

§ 5º O resultado negativo para coliformes totais das amostras extras (recoletas) não anula o resultado originalmente positivo no cálculo dos percentuais de amostras com resultado positivo.

§ 6º Na proporção de amostras com resultado positivo admitidas mensalmente para coliformes totais no sistema de distribuição, expressa na tabela 1, não são tolerados resultados positivos que ocorram em coleta, nos termos do § 1º deste artigo.

§ 7º 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.

§ 8º Em complementação, recomenda-se a inclusão de pesquisa de organismos patogênicos, com o objetivo de atingir, como meta, um padrão de ausência, dentre outros, de enterovírus, cistos de *Giardia* spp e oocistos de *Cryptosporidium* sp.

§ 9º Em amostras individuais procedentes de poços, fontes, nascentes e outras formas de abastecimento sem distribuição canalizada, tolera-se a presença de coliformes totais, na ausência de *Escherichia coli* e, ou, coliformes termotolerantes, nesta situação devendo ser investigada a origem da ocorrência, tomadas providências imediatas de caráter corretivo e preventivo e realizada nova análise de coliformes.

Art. 12. Para a garantia da qualidade microbiológica da água, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, deve ser observado o padrão de turbidez expresso na Tabela 2, abaixo:

Tabela 2 – Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção

TRATAMENTO DA ÁGUA	VMP ⁽¹⁾
Desinfecção (água subterrânea)	1,0 UT ⁽²⁾ em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	1,0 UT ⁽²⁾
Filtração lenta	2,0 UT ⁽²⁾ em 95% das amostras

NOTAS:

(1) Valor Máximo Permitido.

(2) Unidade de Turbidez.

§ 1º Dentre os 5% dos valores permitidos de turbidez superiores aos VMP estabelecidos na Tabela 2, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 UT, assegurado, simultaneamente, o atendimento ao VMP de 5,0 UT em qualquer ponto da rede no sistema de distribuição.

§ 2º Com vistas a assegurar a adequada eficiência de remoção de enterovírus, cistos de *Giardia* spp e oocistos de *Cryptosporidium* sp, recomenda-se, enfaticamente, que, para a filtração rápida, se estabeleça como meta a obtenção de efluente filtrado com valores de turbidez inferiores a 0,5 UT em 95% dos dados mensais e nunca superiores a 5,0 UT.

§ 3º O atendimento ao percentual de aceitação do limite de turbidez, expresso na Tabela 2, deve ser verificado, mensalmente, com base em amostras no mínimo diárias para desinfecção ou filtração lenta e a cada quatro horas para filtração rápida, preferivelmente, em qualquer caso, no efluente individual de cada unidade de filtração.

Art. 13. Após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de distribuição, recomendando-se que a cloração seja realizada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 minutos.

Parágrafo único. Admite-se a utilização de outro agente desinfetante ou outra condição de operação do processo de desinfecção, desde que fique demonstrado pelo responsável pelo sistema de tratamento uma eficiência de inativação microbiológica equivalente à obtida com a condição definida neste artigo.

Art.14. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco para a saúde expresso na Tabela 3, a seguir:

Tabela 3 – Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ⁽¹⁾
Inorgânicas		
Antimônio	mg/L	0,005
Arsênio	mg/L	0,01
Bário	mg/L	0,7
Cádmio	mg/L	0,005
Cianeto	mg/L	0,07
Chumbo	mg/L	0,01
Cobre	mg/L	2
Cromo	mg/L	0,05
Fluoreto ⁽²⁾	mg/L	1,5
Mercúrio	mg/L	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	10
Nitrito (como N)	mg/L	1
Selênio	mg/L	0,01
Orgânicas		
Acrilamida	µg/L	0,5
Benzeno	µg/L	5
Benzo[a]pireno	µg/L	0,7
Cloreto de Vinila	µg/L	5
1,2 Dicloroetano	µg/L	10
1,1 Dicloroetano	µg/L	30
Diclorometano	µg/L	20
Estireno	µg/L	20
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	2
Tetracloroetano	µg/L	40
Triclorobenzenos	µg/L	20
Tricloroetano	µg/L	70
Agrotóxicos		
Alaclor	µg/L	20,0
Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03
Atrazina	µg/L	2
Bentazona	µg/L	300
Clordano (isômeros)	µg/L	0,2
2,4 D	µg/L	30
DDT (isômeros)	µg/L	2
Endossulfan	µg/L	20
Endrin	µg/L	0,6
Glifosato	µg/L	500
Heptacloro e Heptacloro epóxido	µg/L	0,03

Continua...

Continuação

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ⁽¹⁾
Agrotóxicos		
Hexaclorobenzeno	µg/L	1
Lindano (γ-BHC)	µg/L	2
Metolacloro	µg/L	10
Metoxicloro	µg/L	20
Molinato	µg/L	6
Pendimetalina	µg/L	20
Pentaclorofenol	µg/L	9
Permetrina	µg/L	20
Propanil	µg/L	20
Simazina	µg/L	2
Trifluralina	µg/L	20
Cianotoxinas		
Microcistinas ⁽³⁾	µg/L	1,0
Desinfetantes e produtos secundários da desinfecção		
Bromato	mg/L	0,025
Clorito	mg/L	0,2
Cloro livre	mg/L	5
Monocloramina	mg/L	3
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,2
Trihalometanos Total	mg/L	0,1

NOTAS:

- (1) Valor Máximo Permitido.
- (2) Os valores recomendados para a concentração de íon fluoreto devem observar a legislação específica vigente relativa à fluoretação da água, em qualquer caso devendo ser respeitado o VMP desta Tabela.
- (3) É aceitável a concentração de até 10 µg/L de microcistinas em até 3 (três) amostras, consecutivas ou não, nas análises realizadas nos últimos 12 (doze) meses.
- (4) Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado.

§ 1º Recomenda-se que as análises para cianotoxinas incluam a determinação de cilindrospermopsina e saxitoxinas (STX), observando, respectivamente, os valores limites de 15,0 µg/L e 3,0 µg/L de equivalentes STX/L.

§ 2º Para avaliar a presença dos inseticidas organofosforados e carbamatos na água, recomenda-se a determinação da atividade da enzima acetilcolinesterase, observando os limites máximos de 15% ou 20% de inibição enzimática, quando a enzima utilizada for proveniente de insetos ou mamíferos, respectivamente.

Art. 15. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de radioatividade expresso na Tabela 4, a seguir:

Tabela 4 – Padrão de radioatividade para água potável

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ⁽¹⁾
Radioatividade alfa global	Bq/L	0,1 ⁽²⁾
Radioatividade beta global	Bq/L	1,0 ⁽²⁾

NOTAS:

(1) Valor Máximo Permitido.

(2) Se os valores encontrados forem superiores aos VMP, deverá ser feita a identificação dos radionuclídeos presentes e a medida das concentrações respectivas. Nesses casos, deverão ser aplicados, para os radionuclídeos encontrados, os valores estabelecidos pela legislação pertinente da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, para se concluir sobre a potabilidade da água.

Art. 16. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de aceitação de consumo expresso na Tabela 5, a seguir:

Tabela 5 – Padrão de aceitação para consumo humano

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ⁽¹⁾
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	uH ⁽²⁾	15
Dureza	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Odor	-	Não objetável ⁽³⁾
Gosto	-	Não objetável ⁽³⁾
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	UT ⁽⁴⁾	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3

NOTAS:

(1) Valor Máximo Permitido.

(2) Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).

(3) Critério de referência.

(4) Unidade de Turbidez.

§ 1º Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

§ 2º Recomenda-se que o teor máximo de cloro residual livre, em qualquer ponto do sistema de abastecimento, seja de 2,0 mg/L.

§ 3º Recomenda-se a realização de testes para detecção de odor e gosto em amostras de água coletadas na saída do tratamento e na rede de distribuição de acordo com o plano mínimo de amostragem estabelecido para cor e turbidez nas tabelas 6 e 7.

Art. 17. As metodologias analíticas para determinação dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e de radioatividade devem atender às especificações das normas nacionais que disciplinem a matéria, da edição mais recente da publicação *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, de autoria das instituições *American Public Health Association (APHA)*, *American Water Works Association (AWWA)* e *Water Environment Federation (WEF)*, ou das normas publicadas pela ISO (*International Standardization Organization*).

§ 1º Para análise de cianobactérias e cianotoxinas e comprovação de toxicidade por bioensaios em camundongos, até o estabelecimento de especificações em normas nacionais ou internacionais que disciplinem a matéria, devem ser adotadas as metodologias propostas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em sua publicação *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*.

§ 2º Metodologias não contempladas nas referências citadas no § 1º e “caput” deste artigo, aplicáveis aos parâmetros estabelecidos nesta Norma, devem, para ter validade, receber aprovação e registro pela FUNASA.

§ 3º As análises laboratoriais para o controle e a vigilância da qualidade da água podem ser realizadas em laboratório próprio ou não que, em qualquer caso, deve manter programa de controle de qualidade interna ou externa ou ainda ser acreditado ou certificado por órgãos competentes para esse fim.

CAPÍTULO V DOS PLANOS DE AMOSTRAGEM

Art. 18. Os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água devem elaborar e aprovar, junto à autoridade de saúde pública, o plano de amostragem de cada sistema, respeitando os planos mínimos de amostragem expressos nas Tabelas 6, 7, 8 e 9.

Tabela 6 – Número mínimo de amostras para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial

PARÂMETRO	TIPO DE MANANCIAL	SAÍDA DO TRATAMENTO (NÚMERO DE AMOSTRAS POR UNIDADE DE TRATAMENTO)	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RESERVATÓRIOS E REDE)		
			POPULAÇÃO ABASTECIDA		
			<50.000 HAB.	50.000 A 250.000 HAB.	> 250.000 HAB.
Cor Turbidez pH	Superficial	1	10	1 para cada 5.000 hab.	40 + (1 para cada 25.000 hab.)
	Subterrâneo	1	5	1 para cada 10.000 hab.	20 + (1 para cada 50.000 hab.)
CRL ⁽¹⁾	Superficial	1	(Conforme § 3º do artigo 18)		
	Subterrâneo	1			
Fluoreto	Superficial ou Subterrâneo	1	5	1 para cada 10.000 hab.	20 + (1 para cada 50.000 hab.)
Cianotoxinas	Superficial	1 (Conforme § 5º do artigo 18)	-	-	-
Trihalometanos	Superficial	1	1 ⁽²⁾	4 ⁽²⁾	4 ⁽²⁾
	Subterrâneo	-	1 ⁽²⁾	1 ⁽²⁾	1 ⁽²⁾
Demais Parâmetros ⁽³⁾	Superficial ou Subterrâneo	1	1 ⁽⁴⁾	1 ⁽⁴⁾	1 ⁽⁴⁾

NOTAS:

- (1) Cloro residual livre.
- (2) As amostras devem ser coletadas, preferencialmente, em pontos de maior tempo de detenção da água no sistema de distribuição.
- (3) Apenas será exigida obrigatoriedade de investigação dos parâmetros radioativos quando da evidência de causas de radiação natural ou artificial.
- (4) Dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e, ou, no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

Tabela 7 – Frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial

PARÂMETRO	TIPO DE MANANCIAL	SAÍDA DO TRATAMENTO (FREQUÊNCIA POR UNIDADE DE TRATAMENTO)	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RESERVATÓRIOS E REDE)		
			POPULAÇÃO ABASTECIDA		
			< 50.000 HAB.	50.000 A 250.000 HAB.	> 250.000 HAB.
Cor Turbidez pH Fluoreto	Superficial	A cada 2 horas	Mensal	Mensal	Mensal
	Subterrâneo	Diária			
CRL ⁽¹⁾	Superficial	A cada 2 horas	(Conforme § 3º do artigo 18)		
	Subterrâneo	Diária			
Cianotoxinas	Superficial	Semanal (Conforme § 5º do artigo 18)	-	-	-
Trihalometanos	Superficial	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
	Subterrâneo	-	Anual	Semestral	Semestral
Demais parâmetros ⁽²⁾	Superficial ou Subterrâneo	Semestral	Semestral ⁽³⁾	Semestral ⁽³⁾	Semestral ⁽³⁾

NOTAS:

- (1) Cloro residual livre.
- (2) Apenas será exigida obrigatoriedade de investigação dos parâmetros radioativos quando da evidência de causas de radiação natural ou artificial.
- (3) Dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e, ou, no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

Tabela 8 – Número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises microbiológicas, em função da população abastecida

PARÂMETRO	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RESERVATÓRIOS E REDE)			
	POPULAÇÃO ABASTECIDA			
	< 5.000 HAB.	5.000 A 20.000 HAB.	20.000 A 250.000 HAB.	> 250.000 HAB.
Coliformes totais	10	1 para cada 500 hab.	30 + (1 para cada 2.000 hab.)	105 + (1 para cada 5.000 hab.) Máximo de 1.000

NOTA: Na saída de cada unidade de tratamento devem ser coletadas, no mínimo, 2 (duas) amostras semanais, recomendando-se a coleta de, pelo menos, 4 (quatro) amostras semanais.

Tabela 9 – Número mínimo de amostras e frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de solução alternativa, para fins de análises físicas, químicas e microbiológicas, em função do tipo de manancial e do ponto de amostragem

PARÂMETRO	TIPO DE MANANCIAL	SAÍDA DO TRATAMENTO (PARA ÁGUA CANALIZADA)	NÚMERO DE AMOSTRAS RETIRADAS NO PONTO DE CONSUMO ⁽¹⁾ (PARA CADA 500 HAB.)	FREQÜÊNCIA DE AMOSTRAGEM
Cor, turbidez, pH e coliformes totais ⁽²⁾	Superficial	1	1	Semanal
	Subterrâneo	1	1	Mensal
CRL ^{(2) (3)}	Superficial ou Subterrâneo	1	1	Diário

NOTAS:

(1) Devem ser retiradas amostras em, no mínimo, três pontos de consumo de água.

(2) Para veículos transportadores de água para consumo humano, deve ser realizada 1 (uma) análise de CRL em cada carga e 1 (uma) análise, na fonte de fornecimento, de cor, turbidez, pH e coliformes totais com frequência mensal, ou outra amostragem determinada pela autoridade de saúde pública.

(3) Cloro residual livre.

§ 1º A amostragem deve obedecer aos seguintes requisitos:

I - distribuição uniforme das coletas ao longo do período; e

II - representatividade dos pontos de coleta no sistema de distribuição (reservatórios e rede), combinando critérios de abrangência espacial e pontos estratégicos, entendidos como aqueles próximos a grande circulação de pessoas (terminais rodoviários, terminais ferroviários, etc.) ou edifícios que alberguem grupos populacionais de risco (hospitais, creches, asilos, etc.), aqueles localizados em trechos vulneráveis do sistema de distribuição (pontas de rede, pontos de queda de pressão, locais afetados por manobras, sujeitos à intermitência de abastecimento, reservatórios, etc.) e locais com sistemáticas notificações de agravos à saúde tendo como possíveis causas agentes de veiculação hídrica.

§ 2º No número mínimo de amostras coletadas na rede de distribuição, previsto na Tabela 8, não se incluem as amostras extras (recoletas).

§ 3º Em todas as amostras coletadas para análises microbiológicas deve ser efetuada, no momento da coleta, medição de cloro residual livre ou de outro composto residual ativo, caso o agente desinfetante utilizado não seja o cloro.

§ 4º Para uma melhor avaliação da qualidade da água distribuída, recomenda-se que, em todas as amostras referidas no § 3º deste artigo, seja efetuada a determinação de turbidez.

§ 5º Sempre que o número de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, exceder 20.000 células/mL ($2\text{mm}^3/\text{L}$ de biovolume), durante o monitoramento que trata o § 3º do artigo 19, 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. 19. Os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistemas e de soluções alternativas de abastecimento supridos por manancial superficial devem coletar amostras semestrais da água bruta, junto do ponto de captação, para análise de acordo com os parâmetros exigidos na legislação vigente de classificação e enquadramento de águas superficiais, avaliando a compatibilidade entre as características da água bruta e o tipo de tratamento existente.

§ 1º O monitoramento de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, deve obedecer a frequência mensal, quando o número de cianobactérias não exceder 10.000 células/mL (ou $1\text{mm}^3/\text{L}$ de biovolume), e semanal, quando o número de cianobactérias exceder este valor.

§ 2º É vedado o uso de algicidas para o controle do crescimento de cianobactérias ou qualquer intervenção no manancial que provoque a lise das células desses microorganismos, quando a densidade das cianobactérias exceder 20.000 células/mL (ou $2\text{mm}^3/\text{L}$ de biovolume), sob pena de comprometimento da avaliação de riscos à saúde associados às cianotoxinas.

Art. 20. A autoridade de saúde pública, no exercício das atividades de vigilância da qualidade da água, deve implementar um plano próprio de amostragem, consoante diretrizes específicas elaboradas no âmbito do Sistema Único de Saúde – SUS.

CAPÍTULO VI DAS EXIGÊNCIAS APLICÁVEIS AOS SISTEMAS E SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Art. 21. O sistema de abastecimento de água deve contar com responsável técnico, profissionalmente habilitado.

Art. 22. Toda água fornecida coletivamente deve ser submetida a processo de desinfecção, concebido e operado de forma a garantir o atendimento ao padrão microbiológico desta Norma.

Art. 23. Toda água para consumo humano suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização deve incluir tratamento por filtração.

Art. 24. Em todos os momentos e em toda sua extensão, a rede de distribuição de água deve ser operada com pressão superior à atmosférica.

§ 1º Caso esta situação não seja observada, fica o responsável pela operação do serviço de abastecimento de água obrigado a notificar a autoridade de saúde pública e informar à população, identificando períodos e locais de ocorrência de pressão inferior à atmosférica.

§ 2º Excepcionalmente, caso o serviço de abastecimento de água necessite realizar programa de manobras na rede de distribuição, que possa submeter trechos a pressão inferior à atmosférica, o referido programa deve ser previamente comunicado à autoridade de saúde pública.

Art. 25. O responsável pelo fornecimento de água por meio de veículos deve:

I - garantir o uso exclusivo do veículo para este fim;

II - manter registro com dados atualizados sobre o fornecedor e, ou, sobre a fonte de água; e

III - manter registro atualizado das análises de controle da qualidade da água.

§ 1º A água fornecida para consumo humano por meio de veículos deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L.

§ 2º O veículo utilizado para fornecimento de água deve conter, de forma visível, em sua carroceria, a inscrição: “ÁGUA POTÁVEL”.

CAPÍTULO VII DAS PENALIDADES

Art. 26. Serão aplicadas as sanções administrativas cabíveis, aos responsáveis pela operação dos sistemas ou soluções alternativas de abastecimento de água, que não observarem as determinações constantes desta Portaria.

Art. 27. As Secretarias de Saúde dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios estarão sujeitas a suspensão de repasse de recursos do Ministério da Saúde e órgãos ligados, diante da inobservância do contido nesta Portaria.

Art. 28. Cabe ao Ministério da Saúde, por intermédio da FUNASA, e às autoridades de saúde pública dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, representadas pelas respectivas Secretarias de Saúde ou órgãos equivalentes, fazer observar o fiel cumprimento desta Norma, nos termos da legislação que regulamenta o Sistema Único de Saúde – SUS.

CAPÍTULO VIII DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 29. Sempre que forem identificadas situações de risco à saúde, o responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água e as autoridades de saúde pública devem estabelecer entendimentos para a elaboração de um plano de ação e tomada das medidas cabíveis, incluindo a eficaz comunicação à população, sem prejuízo das providências imediatas para a correção da anormalidade.

Art. 30. O responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água pode solicitar à autoridade de saúde pública a alteração na frequência mínima de amostragem de determinados parâmetros estabelecidos nesta Norma.

Parágrafo único. Após avaliação criteriosa, fundamentada em inspeções sanitárias e, ou, em histórico mínimo de dois anos do controle e da vigilância da qualidade da água, a autoridade de saúde pública decidirá quanto ao deferimento da solicitação, mediante emissão de documento específico.

Art. 31. Em função de características não conformes com o padrão de potabilidade da água ou de outros fatores de risco, a autoridade de saúde pública competente, com fundamento em relatório técnico, determinará ao responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água que amplie o número mínimo de amostras, aumente a frequência de amostragem ou realize análises laboratoriais de parâmetros adicionais ao estabelecido na presente Norma.

Art. 32. Quando não existir na estrutura administrativa do Estado a unidade da Secretaria de Saúde, os deveres e responsabilidades previstos no artigo 6º deste Anexo serão cumpridos pelo órgão equivalente.

ANEXO III

DETERMINAÇÃO DE CLORO, TURBIDEZ E COR¹

III.1 DETERMINAÇÃO DE CLORO

INTRODUÇÃO

O cloro é adicionado à água para inativar bactérias e vírus, para controlar as algas e para remover cor e odores indesejáveis; os cistos de protozoários e os ovos de helmintos são, respectivamente, altamente resistentes e praticamente imunes à cloração. O cloro adicionado à água forma rapidamente o ácido hipocloroso (HClO), também conhecido como cloro livre, componente ativo responsável pela capacidade sanitária do cloro.

O cloro livre reage com impurezas da água formando cloraminas e outros compostos nitrogenados. Na forma combinada, seu poder desinfetante diminui e, conseqüentemente, maiores teores de cloro são necessários para uma desinfecção eficaz.

MÉTODO DPD

Princípio do método

O composto N,N-dietil-p-fenilenodiamina (DPD), na ausência de íons iodeto e em meio tamponado (pH 6,2-6,5), reage com o cloro livre, produzindo uma coloração rósea.

A presença de íons iodeto catalisa a reação fazendo que o DPD reaja também com o cloro combinado (cloro total).

Metodologia

Cloro livre

- Adicionar, em um tubo limpo e vazio, dez gotas da solução tampão fosfato. Acrescentar dez gotas do reagente DPD e 10 mL da amostra.
- Agitar para total homogeneização e colocar o tubo no colorímetro, com a agulha de posicionamento do tubo devidamente alinhada com a flecha do compartimento.
- Efetuar a leitura. Anotar o resultado como A.

¹ Elaborado por Nascimento, I. E. (técnico do Laboratório de Controle da Qualidade da Água, UFV-MG).

Cloro total

- Adicionar, em um tubo limpo e vazio, dez gotas da solução tampão fosfato.
- Acrescentar dez gotas do reagente DPD e 10 mL da amostra.
- Adicionar uma gota de solução de iodeto de potássio, agitar e aguardar um minuto.
- Colocar o tubo no colorímetro, com a agulha de posicionamento do tubo devidamente alinhada com a flecha do compartimento.
- Efetuar a leitura. Anotar o resultado como B.

Resultados

- Cloro livre = A mg/L
- Cloro total = B mg/L
- Cloro combinado = (B-A) mg/L

Obs.: Não se deve demorar mais que cinco minutos para realizar as leituras (A e B), pois o oxigênio do ar oxida facilmente o reagente, levando a resultados maiores que o real.

MÉTODO OTA

Princípio do método

A orto-tolidina reage com o cloro existente na amostra por oxidação formando um complexo colorido que varia desde amarelo claro até vermelho alaranjado, dependendo do pH e da concentração do cloro.

O efeito da acidez na reação é o mais importante fator na obtenção da reprodutibilidade do método. Em pH maior que 1,8 há interferência de íons como manganês, nitrito e ferro.

Metodologia

Cloro livre

- Colocar no tubo de amostra oito gotas (0,4 mL) do reagente arsenito de sódio, reservando-o para uso futuro.
- Pipetar em outro tubo 5 mL da amostra.
- Adicionar oito gotas (0,4 mL) do reagente orto-tolidina e imediatamente transferir para a cuba anteriormente preparada.
- Colocar o tubo no comparador Visodisc e efetuar imediatamente a leitura, anotando o resultado como A.

Cloro total

- Pipetar em tubo 5 mL da amostra.
- Adicionar oito gotas (0,4 mL) do reagente orto-tolidina e agitar.

- Aguardar cinco minutos, colocar o tubo no comparador Visodisc e efetuar a leitura, anotando o resultado como B.

Resultados

- Cloro livre = A mg/L
- Cloro total = B mg/L
- Cloro combinado = (B-A) mg/L

III.2 DETERMINAÇÃO DE TURBIDEZ

INTRODUÇÃO

A turbidez da água é atribuída principalmente às partículas sólidas em suspensão, que diminuem a transparência e reduzem a transmissão da luz no meio. Pode ser provocada por plâncton, algas, detritos orgânicos e outras substâncias, como zinco, ferro, compostos de manganês e areia, resultantes do processo natural de erosão ou da adição de despejos domésticos ou industriais.

A turbidez, além do aspecto estético, pode reduzir a eficiência da cloração, pela proteção física dos microorganismos do contato direto com os desinfetantes. Adicionalmente, as partículas de turbidez transportam matéria orgânica adsorvida que podem provocar sabor e odor.

Princípio do método

Usualmente, a turbidez é determinada pelo princípio da nefelometria, ou seja, por meio de uma célula fotoelétrica mede-se a quantidade de luz que emerge perpendicularmente de um feixe luminoso que passa pela amostra. Em aparelhos de laboratório, os padrões de comparação são preparados em formazina e a turbidez é expressa em UT (unidades nefelométricas de turbidez).

Procedimentos de calibração

- Escolher o padrão para efetuar a calibração.
- Abrir a tampa do compartimento de tubos, alinhar a seta do tubo com a seta do equipamento e introduzir o tubo no compartimento.
- Com a tampa do compartimento fechada, pressionar a tecla READ e a seguir manter pressionada a tecla CAL até o *display* começar a piscar. Por meio das teclas “para cima” ou “para baixo”, ajustar a indicação do *display* de acordo com o padrão.
- Pressionar novamente a tecla CAL para que o aparelho memorize a calibração.

PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

- Colocar no tubo de leitura uma porção da amostra, descartando-a a seguir.
- Completar o tubo com a amostra, de forma lenta, para evitar a formação de bolhas.
- Abrir a tampa do compartimento de tubos, alinhar a seta do tubo com a seta do equipamento e introduzir o tubo no compartimento.
- Com a tampa do compartimento fechada, pressionar a tecla READ e efetuar a leitura.

III.3 DETERMINAÇÃO DE COR

INTRODUÇÃO

Na água, a cor pode ser de origem mineral ou vegetal, causada por substâncias metálicas, como o ferro ou o manganês, ou por substâncias húmicas, taninos, algas, plantas aquáticas e protozoários, ou por resíduos orgânicos ou inorgânicos de indústrias.

Quando a determinação da cor é realizada após a centrifugação da amostra, para se eliminar a interferência de partículas coloidais e suspensas, obtém-se a cor verdadeira. Caso contrário, tem-se a cor aparente.

Princípio do método

A unidade de cor (uH – unidade Hazen) é obtida pela dissolução de 1 mg de clo-roplatinato de potássio e 0,5 mg de cloreto de cobalto em um litro de água destilada.

Na prática, a determinação é feita por comparação visual em discos padronizados.

Metodologia

- Em uma das cubetas, colocar água destilada até próximo à borda e em seguida introduzir o mergulhador, observando se na interface líquido/mergulhador existem bolhas de ar. Caso existam, a operação deve ser repetida. Essa operação deve provocar o transbordamento do líquido. Deve-se, então, secar as paredes e o fundo da cubeta, que será colocada no porta-cubeta do Nessler-Quant 200 no lado marcado como "A".
- Colocar a amostra em outra cubeta, observando os mesmos cuidados com a introdução do mergulhador e com a secagem da cubeta, colocando-a no lado "B" do porta-cubeta.
- Efetuar a leitura.

ANEXO IV

PROCEDIMENTOS DE COLETA E CONSERVAÇÃO DE AMOSTRAS

IV.1 ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS¹

Frasco de coleta

- Frasco esterilizado de vidro neutro, vidro borossilicato ou plástico resistente a freqüentes esterilizações (ex.: polipropileno), com volume mínimo de 120 mL, de boca larga e tampa hermética.
- A esterilização deve ser feita em estufa a 170 °C por sessenta minutos, ou em autoclave a 121 °C por 15 minutos.
- Antes da esterilização, a tampa e o gargalo do frasco devem ser cobertos com papel alumínio e selo de segurança, como garantia do não-manuseio antes da utilização.
- Para a coleta de amostras de água clorada, acrescentar 0,1 mL de solução 3% de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) antes da esterilização. Para frascos com volume superior a 120 mL, acrescentar volume da solução de tiosulfato suficiente para manter uma concentração final de 10 mg/L na amostra.
- Para a coleta de amostras de água com elevadas concentrações de zinco ou cobre, adicionar 0,3 mL de solução 15% de EDTA, antes da esterilização.

Cuidados gerais de coleta

- Marcar o frasco com caneta à prova d'água para identificar a amostra e mantê-lo fechado até o momento exato da coleta.
- Retirar a tampa sem tocar na borda e no interior do frasco nem na parte interna da tampa.
- Coletar a amostra sem enxaguar o frasco; deixar espaço livre ($\pm 2,5$ cm) para facilitar a homogeneização da amostra em laboratório.
- Tampar o frasco imediatamente.
- Verificar sempre a existência de cloro e, caso comprovado, utilizar frasco esterilizado com tiosulfato de sódio.

Coleta de amostras de torneira

- Abrir a torneira e deixar correr a água por dois a três minutos para limpeza das tubulações e descarga de água parada.²

¹ Recomendações extraídas de OMS (1988) e APHA (1995).

² Este procedimento visa à coleta de amostras representativas da alimentação contínua da torneira. Quando se pretende uma informação mais precisa da qualidade da água no momento exato da coleta, deve-se coletar imediatamente após se abrir a torneira.

- Verificar a existência e medir o teor de cloro.
- Evitar a coleta de torneiras com vazamentos.

Coleta de amostras de poços

- Bombear a água por tempo suficiente para se obter uma amostra representativa da água que interessa analisar (± 5 minutos).

Coleta de amostras de rios e represas

A amostra deve ser coletada o mais distante possível das margens, procurando não revolver o fundo e evitando os remansos e as áreas de água estagnada. Segurar o frasco pelo fundo, em posição invertida, submergindo por completo, direcionando-o em sentido contracorrente e paralelo à lâmina superficial.

Transporte e conservação das amostras

- Se o transporte ao laboratório não puder ser realizado em cerca de uma hora, manter a amostra em temperatura inferior a 10 °C.
- O transporte ao laboratório deve ser realizado em, no máximo, seis horas.
- Em laboratório, a amostra deve ser refrigerada e processada, preferencialmente em duas horas.
- Amostras que não puderem ser refrigeradas devem obrigatoriamente ser analisadas em duas horas.
- Em casos excepcionais, a amostra deve ser conservada, no máximo, por 24 horas em temperaturas abaixo de 10 °C.
- As amostras não devem ser congeladas.

IV.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

FRASCO DE COLETA

Em geral, deve ser de vidro neutro, polietileno ou polipropileno, com volume de 1 litro.

CUIDADOS GERAIS DE COLETA

- Enxaguar o frasco várias vezes com a água de coleta.
- Em sistemas de distribuição, a água deve ser previamente escoada por cerca de três a cinco minutos.

Entretanto, em face da grande variedade de parâmetros físico-químicos, cada determinação pode apresentar particularidades, tais como:

- tipo de frasco, modo de lavagem;
- volume necessário para análise;
- preservação da amostra;
- medida de campo;
- prazo para análise.

Na tabela seguinte, estão resumidas as recomendações para alguns parâmetros. Para informações mais detalhadas, deve-se recorrer às publicações especializadas, como as de Souza e Berisio (1997) e da Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo.

Para os parâmetros indicadores de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VQACH), turbidez e cloro residual, inclui-se no Anexo III uma descrição sucinta das respectivas técnicas de análise.

Tabela III.1 – Tipos de frascos, técnicas de preservação e período entre coleta e análises físico-químicas de amostras, segundo o parâmetro de interesse

PARÂMETRO	TIPO DE FRASCO*	PRESERVAÇÃO*	PERÍODO ENTRE COLETA E ANÁLISE	OBSERVAÇÃO
Alcalinidade	P, V	R	-	Reduzir ao máximo a exposição ao ar. Encher totalmente o frasco com a amostra
Cloro residual livre	Medida em campo	-	-	-
Cloro residual total	Medida em campo	-	-	-
Cor	P, V	R	24 h	-
Cromo hexavalente	P, V	R	24 h	-
Dureza	P, V	R	7 dias	-
Fenóis	V - cor âmbar	H ₂ SO ₄ ou HCl até pH < 2	O mais breve possível	-
Ferro	P, V	1 mL, HCl conc. para cada 100 mL de amostra	O mais breve possível	-
Fluoreto	P	R	7 dias	-
Nitrato	P, V	H ₂ SO ₄ até a pH < 2 e R	24 h	-
Oxigênio consumido	P, V	R	24 h	-
Oxigênio dissolvido (OD)	V, frasco especial para OD	3 mL de solução de sulfato manganoso e 2 mL de reagente álcali iodeto	4 e 8 h	-
pH	P, V	R	6 h	Parâmetro usualmente medido em campo
Prata	P, V âmbar	HNO ₂ até pH < 2	7 dias	-

Continua...

Continuação

PARÂMETRO	TIPO DE FRASCO*	PRESERVAÇÃO*	PERÍODO ENTRE COLETA E ANÁLISE	OBSERVAÇÃO
Turbidez	P, V	Refrigerar e evitar exposição da amostra à luminosidade	24 h	-
Trihalometanos	Vidro	Sulfito de sódio ou tiosulfato de sódio	14 dias	-

* Abreviaturas: P = polietileno; V = vidro neutro ou borossilicato (pirei); e R = refrigerar a 4 oC.
 FONTE: Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo

ANEXO V

DETERMINAÇÃO DE COLIFORMES PELA TÉCNICA DOS TUBOS MÚLTIPLOS

Simplificadamente, o procedimento para a determinação de coliformes pode ser descrito como a seguir (DHSS, 1982):^{1, 2, 3}

- Inocular alíquotas da amostra (diluições) em séries de tubos contendo meio de cultura à base de lactose, por exemplo, caldo lactosado ou, preferencialmente, caldo lauril triptose e incubar a 35-37 °C.
- Após 24-48 horas, repicar o conteúdo de cada tubo positivo (produção de ácido e gás) em dois tubos de ensaio, contendo meio de cultura mais seletivo à base de lactose, por exemplo, caldo verde brilhante ou caldo EC; inocular um terceiro tubo contendo água triptonada.
- Incubar em tubo, preferencialmente caldo verde brilhante, a 35-37 °C; a produção de gás em 24-48 horas confirma a presença de coliformes (totais).
- Incubar o outro tubo, preferencialmente, caldo EC, a 44-45 °C; a produção de gás em 24 horas confirma a presença de coliformes termotolerantes (fecais).
- Incubar o tubo contendo água triptonada a 44-45 °C e após 24 horas adicionar 0,2 - 0,3 mL do reagente Kovac's; a produção de indol (aparecimento de um anel avermelhado na superfície) indica a presença de *E. coli*.

O procedimento descrito vale também para a análise qualitativa (presença/ausência) de coliformes, bastando, no caso, inocular um único frasco com 100 mL da amostra.

Na Figura V.1, pode-se visualizar o procedimento para o teste presença/ausência (P/A), o qual pode ser extrapolado para o teste qualitativo (TM).

-
- 1 O procedimento descrito constitui uma metodologia simplificada, porém aceita universalmente. Na necessidade de testes confirmativos, deve-se recorrer aos métodos padronizados nacionais e internacionais.
 - 2 A seleção do meio de cultura deve levar em conta a experiência e os recursos locais, guardadas as recomendações dos métodos padronizados.
 - 3 A inclusão de faixas de temperatura de incubação deve-se às variações encontradas nos diferentes métodos padronizados.

ANEXO VI

TABELAS PARA O CÁLCULO DO NÚMERO MAIS PROVÁVEL (NMP) DE COLIFORMES

Tabela VI.1 – NMP e 95% de intervalo de confiança para uma série de 5 x 20 mL da amostra

NÚMERO DOS TUBOS POSITIVOS	NMP/100 ML	95% DE INTERVALO DE CONFIANÇA
0	< 1,1	0-3,0
1	1,1	0,05-6,3
2	2,6	0,3-9,6
3	4,6	08-147
4	80	17-264
<u>5</u>	<u>≥ 8,0</u>	4,0-∞

Tabela VI.2 – NMP e 95% de intervalo de confiança para uma série de 10 x 10 mL da amostra

NÚMERO DOS TUBOS POSITIVOS	NMP/100 ML	95% DE INTERVALO DE CONFIANÇA
0	< 1,1	0-30
1	1,1	0,03-5,9
2	2,2	0,26-8,1
3	3,6	069-106
4	5,1	1,3-13,4
5	6,9	2,1 -16,8
6	92	31-211
7	12,0	43-271
8	16,1	59-368
9	23,0	8,1 -59,5
<u>10</u>	<u>≥ 23,0</u>	13,5-∞

Tabela VI.3 – NMP e 95% de intervalo de confiança para séries de 1 x 50 mL e 5 x 10 mL da amostra

NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS		NMP/100 ML	95% DE INTERVALO DE CONFIANÇA
1 x 50 mL	5 x 10 mL		
	0	0	<1 -
0	1	1	0,5-4
0	2	2	0,5-6
0	3	4	0,5-11
0	4	5	1 -13
0	5	7	2-17
1	0	2	0,5-6

Continua...

Continuação

NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS		NMP/100 ML	95% DE INTERVALO DE CONFIANÇA
1 x 50 mL	5 x 10 mL		
1	1	3	0,5-9
1	2	6	1 -15
1	3	9	2-21
1	4	16	4-20
1	5	> 18	-

Tabela VI.4 – NMP e 95% de intervalo de confiança para séries de 1 x 50, 5 x 10 e 5 x 1 mL da amostra

NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS			NMP/ 100 ML	95% DE INTERVALO DE CONFIANÇA
1 X 50 ML	5 X 10 ML	5 X 1 ML		
0	0	0	< 1	0,5-4
0	0	1	1	0,5-6
0	0	2	2	0,5-4
0	1	0	1	0,5-6
0	1	1	2	
0	1	2	3	0,5-8
0	2	0	2	0,5-6
0	2	1	3	0,5-8
0	2	2	4	0,5-11
0	3	0	3	0,5-8
0	3	1	5	0,5-13
0	4	0	5	0,5-13
1	0	0	1	0,5-4
1	0	1	3	0,5-8
1	0	2	4	0,5-11
1	0	3	6	0,5-15
1	1	0	3	0,5-8
1	1	1	5	0,5-13
1	1	2	7	1-17
1	1	3	9	2-21
1	2	0	5	0,5-13
1	2	1	7	1-17
1	2	2	10	3-23
1	2	3	12	3-28
1	3	0	8	2-19
1	3	1	11	3-26
1	3	2	14	4-34
1	3	3	18	5-53
1	5	1	35	12-101
1	5	2	54	18-138
1	5	3	92	27-217
1	5	4	161	3-450
1	5	5	≥ 180	

Tabela VI.5 – NMP e 95% de intervalo de confiança para séries de 5x10 mL, 5 x 1 mL e 5 x 0,1 mL da amostra

COMBINAÇÃO DE POSITIVOS	ÍNDICE NMP/100 ML	95% LIMITE DE CONFIANÇA	
		INFER.	SUPER.
0-0-0	< 2	-	-
0-0-1	2	1,0	10
0-1-0	2	1,0	10
0-2-0	4	1,0	13
1-0-0	2	1,0	11
1-0-1	4	1,0	15
1-1-0	4	1,0	15
1-1-1	6	2,0	18
1-2-0	6	2,0	18
2-0-0	4	1,0	17
2-0-1	7	2,0	20
2-1-0	7	2,0	21
2-1-1	9	3,0	24
2-2-0	9	3,0	25
2-3-0	12	5,0	29
3-0-0	8	3,0	24
3-0-1	11	4,0	29
3-1-0	11	4,0	29
3-1-1	14	6,0	35
3-2-0	14	6,0	35
3-2-1	17	7,0	40
4-0-0	13	5,0	38
4-0-1	17	7,0	45
4-1-0	17	7,0	46
4-1-1	21	9,0	55
4-1-2	26	12	$\frac{63}{63 \sim}$

COMBINAÇÃO DE POSITIVOS	ÍNDICE NMP/100 ML	95% LIMITE DE CONFIANÇA	
		INFER.	SUPER.
4-2-0	22	9,0	56
4-2-1	26	12	65
4-3-0	27	12	67
4-3-1	33	15	77
4-4-0	34	16	80
5-0-0	23	9,0	86
5-0-1	30	10	110
5-0-2	40	20	140
5-1-0	30	10	120
5-1-1	50	20	150
5-1-2	60	30	180
5-2-0	50	20	170
5-2-1	70	30	210
5-2-2	90	40	250
5-3-0	80	30	250
5-3-1	110	40	300
5-3-2	140	60	360
5-3-3	170	80	410
5-4-0	130	50	390
5-4-1	170	70	480
5-4-2	220	100	580
5-4-3	280	120	690
5-4-4	350	160	820
5-5-0	240	100	940
5-5-1	300	100	1300
5-5-2	500	200	2000
5-5-3	900	300	2900
5-5-4	1600	600	5300
5-5-5	> 1600	-	-

ANEXO VII

DETERMINAÇÃO DE COLIFORMES PELA TÉCNICA DA MEMBRANA FILTRANTE¹

- Filtrar volumes predeterminados da amostra, retirar a membrana e colocá-los sobre meios de cultura seletivos, preparados em placas de Petri.²
- Incubar as placas por quatro horas a 30 °C e subseqüentemente por 18-20 horas a 35-37 °C e/ou a 40-44 °C.³
- O número de colônias típicas incubadas a 35-37 °C e 40-44 °C fornecem, respectivamente, os resultados presuntivos para coliformes (totais) e termotolerantes (fecais).
- Repicar as colônias típicas para tubos de ensaio contendo meio de cultura à base de lactose. A produção de ácido e gás em 24-48 horas (coliformes totais) ou em 24 horas (coliformes termotolerantes) confirma a presença desses organismos.⁴
- Simultaneamente, repicar as colônias típicas incubadas a 44-45 °C em tubos de ensaio contendo água triptonada e incubá-los a 44-45 °C; após 24 horas, adicionar 0,2-0,3 mL de reagente Kovac's; a produção de indol indica a presença de *E. coli*.

1 O procedimento descrito constitui uma metodologia simplificada. Para informações mais detalhadas, deve-se recorrer às publicações nacionais e internacionais de métodos padronizados.

2 Os meios de cultura recomendados variam de acordo com o método padronizado. Podem-se citar meios sólidos, como o M-endo para CT e M-FC para CF, e meios líquidos, como o caldo lauril sulfato.

3 A inclusão de faixas de temperatura e de períodos de incubação deve-se às variações encontradas nos diversos métodos padronizados.

4 Preferencialmente devem ser testadas todas as colônias típicas; alternativamente, testar no mínimo 40% quando houver mais de cinquenta colônias típicas.



www.saude.gov.br/svs

www.saude.gov.br/bvs

disque-saúde
0800.61.1997

Secretaria de
Vigilância em Saúde

Ministério
da Saúde

