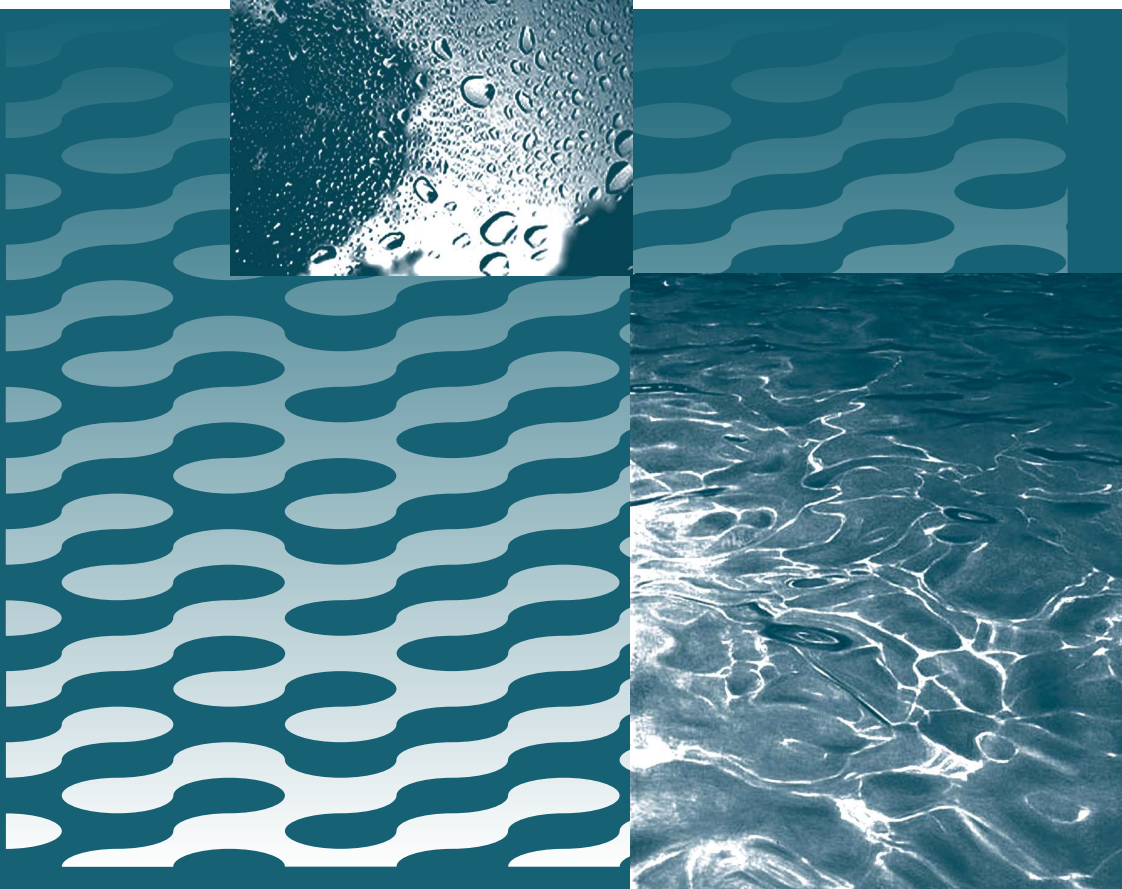


Ministério da Saúde

BOAS PRÁTICAS NO ABASTECIMENTO DE ÁGUA:

Procedimentos para a minimização de riscos à saúde
Manual para os responsáveis pela vigilância e controle



Brasília – DF

BOAS PRÁTICAS NO ABASTECIMENTO DE ÁGUA:

Procedimentos para a minimização de riscos à saúde
Manual para os responsáveis pela vigilância e controle

© 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.

Boas práticas no abastecimento de água : procedimentos para a minimização de riscos à saúde /

Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2006.

252 p. – (Série A. Normas e Manuais Técnicos)

ISBN 85-334-1243-6

1. Abastecimento de água. 2. Controle da qualidade da água. 3. Saúde pública. I. Título. II. Série.

NLM WA 675

Catálogo na fonte – Coordenação-Geral de Documentação e Informação – Editora MS – OS 2006/1028

Títulos para indexação:

Em inglês: Good Practices on Water Supply: Procedures for the Minimization of Health Peril

Em espanhol: Buenas Prácticas en el Abastecimiento de Agua: Procedimientos para la Minimización de Riesgos a la Salud

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

BOAS PRÁTICAS NO ABASTECIMENTO DE ÁGUA:

Procedimentos para a minimização de riscos à saúde

Manual para os responsáveis pela vigilância e controle

BRASÍLIA - DF
2006

Equipe de coordenação e responsável técnica pela edição

Nolan Ribeiro Bezerra – CGVAM/SVS/MS
Isaías da Silva Pereira – CGVAM/SVS/MS
Marta Helena Paiva Dantas – CGVAM/SVS/MS
Maria de Lourdes Fernandes Neto – CGVAM/SVS/MS
Jacira Azevedo Cancio – Opas/OMS

Elaboradores

Rafael Kopschitz Xavier Bastos – UFV
Leo Heller – Coordenação – UFMG
Aloisio de Araujo Prince – UFMG
Cristina Célia Silveira Brandão – UnB
Silvano Silverio da Costa – ASSEMAE
Paula Dias Bevilacqua – UFV
Rejane Maria de Souza Alves – COVEH/CGDT/DEVEP/SVS/MS

Colaboradores

Valter Lúcio de Pádua – UFMG
Armando Perez Flores – AAHM/Sabesp
Cícero Dédice de Goés Júnior – CGVAM/SVS/MS
Denise Maria Elisabeth Formaggia – Secretaria Estadual de Saúde – Caraguatatuba-SP
Fernanda Bitercurt – DENSP/Funasa
Johnny Ferreira dos Santos – DENSP/Funasa
Marcelo Gil Faccin – DMAE de Porto Alegre – Representante da Assemae
Márcia K. Amoedo – Embasa
Marcia Regina Lima de Oliveira – CGVAM/SVS/MS
Marcos Helano Montenegro – Ministério das Cidades
Mariely Helena Barbosa Daniel – CGVAM/SVS/MS
Milton Luis Joseph – Semasa – Representante da Assemae
Vera Regina Estuqui – Caesb – Representante da Aesbe
Vilma Ramos Feitosa – CGVAM/SVS/MS

Equipe de revisão da edição

Nolan Ribeiro Bezerra – CGVAM/SVS/MS
Mariely Helena Barbosa Daniel – CGVAM/SVS/MS



SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS, 6

LISTA DE TABELAS, 8

LISTA DE QUADROS, 9

APRESENTAÇÃO, 11

1 MARCOS REFERENCIAIS, 13

1.1 MARCO CONCEITUAL, 15

1.2 MARCOS LEGAIS, 17

1.3 MARCOS INSTITUCIONAIS, 29

2 BOAS PRÁTICAS NO ABASTECIMENTO DE ÁGUA SOB A PERSPECTIVA DOS RISCOS À SAÚDE HUMANA, 33

2.1 MANANCIAL, 36

2.2 CAPTAÇÃO, 48

2.3 TRANSPORTE (ADUÇÃO), 56

2.4 TRATAMENTO, 58

2.5 DISTRIBUIÇÃO, 138

2.6 SOLUÇÕES ALTERNATIVAS COLETIVAS DESPROVIDAS DE DISTRIBUIÇÃO POR REDE, 141

2.7 PRODUTOS E INSUMOS, 144

2.8 SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA, 152

2.9 CUIDADOS NA FASE DE IMPLANTAÇÃO, 162

3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, 165

3.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, 167

3.2 AMOSTRAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, 198

3.3 CONTROLE DE QUALIDADE EM LABORATÓRIOS, 205

4 INFORMAÇÃO SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, 207

4.1 GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES EM SISTEMAS E SOLUÇÕES ALTERNATIVAS COLETIVAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, 209

4.2 INFORMAÇÃO ÀS AUTORIDADES DE SAÚDE PÚBLICA, 221

4.3 INFORMAÇÃO AO CONSUMIDOR, 224

REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA, 235

APÊNDICE – MÉTODOS ANALÍTICOS RECOMENDADOS PELO STANDARD METHODS FOR WORLD WATER ASSOCIATION RESEARCHERS PARA PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, 241



LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ciclo hidrológico, [38](#)

Figura 2.2 – Terraços de infiltração em curva de nível, [43](#)

Figura 2.3 – Pequenas bacias de infiltração de enxurradas em encosta de morro (planta esquemática), [43](#)

Figura 2.4 – Pequenas bacias de infiltração de enxurradas em encosta de morro (perfil esquemático), [44](#)

Figura 2.5 – Pequena bacia de infiltração de enxurrada proveniente de estrada de terra (observar a lombada feita na estrada para o desvio da enxurrada), [45](#)

Figura 2.6 – Localização de pequena bacia de infiltração de água de enxurrada em estrada de terra (planta), [45](#)

Figura 2.7 – Localização, em planta, de captação em curso d'água, [49](#)

Figura 2.8 – Posicionamento da descarga de fundo e da tomada de água, [49](#)

Figura 2.9 – Caixa de tomada para captação de água de fonte, com dispositivo de proteção, [52](#)

Figura 2.10 – Poço raso, revestido com alvenaria de pedra, incluindo medidas de proteção, [52](#)

Figura 2.11 – Proteção sanitária em revestimento de poço profundo perfurado em rocha fendilhada, [54](#)

Figura 2.12 – Proteção sanitária em revestimento de poço profundo perfurado em solos argilosos, [54](#)

Figura 2.13 – Instalação de poço profundo equipada com bomba submersa, incluindo medidas de proteção, [55](#)

Figura 2.14 – Ilustração de boa manutenção da área de captação, [56](#)

Figura 2.15 – Técnicas de tratamento com uso da filtração lenta em areia, [60](#)

Figura 2.16 – Técnicas de tratamento com uso da filtração rápida, [61](#)

Figura 2.17 – Diagrama de coagulação – período de estiagem, [72](#)

Figura 2.18 – Exemplo de unidade de mistura rápida (calha Parshall): vazão excessiva e extravasamento de água, [74](#)

Figura 2.19 – Exemplo de unidade inadequada de mistura rápida (calha Parshall): instalações e controle precários da mistura rápida e coagulação, [76](#)

Figura 2.20 – Detalhe de dispositivo adequado de aplicação do coagulante com difusores de simples execução, [77](#)

Figura 2.21 – Floculador hidráulico, duas séries de câmaras de floculação em paralelo, porém com distribuição inadequada de fluxo, [81](#)

Figura 2.22 – Exemplo de unidade com funcionamento inadequado de floculador: excesso de vazão e transbordamento nas câmaras de floculação, [81](#)

Figura 2.23 – Trajetória da sedimentação de partículas em unidade de decantação com escoamento horizontal, [84](#)

Figura 2.24 – Decantador convencional com escoamento horizontal, [85](#)

Figura 2.25 – Qualidade da água visivelmente distinta em séries paralelas de decantadores, provavelmente por aplicação não homogênea do coagulante e distribuição não uniforme do fluxo, [87](#)

Figura 2.26 – Decantador circular de fluxo radial desnivelado com a instalação de bordas vertedouras ajustáveis para corrigir problema de desnivelamento, [88](#)

Figura 2.27 – Dispositivo inadequado de entrada de água floculada no decantador, provocando quebra de flocos, [88](#)

Figura 2.28 – Floculador de bandejas ao centro de um decantador circular de fluxo radial, dois filtros rápidos em paralelo, de difícil acesso para operação e manutenção, ETA de pequeno porte, antiga, com operação e manutenção precárias, [94](#)

Figura 2.29 – Operação adequada de lavagem de filtro, com visualização de dispositivo de lavagem superficial, [95](#)

Figura 2.30 – Evolução do teor de cloro residual em função da dosagem de cloro, [105](#)

Figura 2.31 – Unidade bastante precária de desinfecção com hipoclorito de cálcio, [109](#)

Figura 2.32 – Aplicação correta de produtos químicos no tanque de contato: “cloro”-gás na entrada e “cal” na saída, [109](#)

Figura 2.33 – Aparelho de teste de jarros, [128](#)

Figura 2.34 – Exemplo de calibração de vazões em uma calha Parshall, [129](#)

Figura 2.35 – Proteção sanitária para tampa de entrada em reservatórios e tanques, [139](#)

Figura 2.36 – Proteção sanitária para passagem de tubulação em lajes ou paredes de reservatórios e tanques, [140](#)

Figura 3.1 – Turbidez da água de manancial superficial (médias mensais), [179](#)



LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Parâmetros de qualidade da água bruta sugeridos para as técnicas de filtração lenta, [62](#)

Tabela 2.2 – Parâmetros de qualidade da água bruta sugeridos para as técnicas de filtração rápida, [62](#)

Tabela 2.3 – Valores de CT para a inativação de organismos patogênicos (99,9%), [106](#)

Tabela 2.4 – Recomendações para a eficácia da desinfecção, [107](#)

Tabela 2.5 – Limites recomendados para a concentração de íon fluoreto segundo a Portaria BSB nº 635/1975, [117](#)

Tabela 3.1 – Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção, [180](#)

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, [199](#)

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, [200](#)

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, [203](#)

Tabela I – Métodos analíticos para substâncias químicas que representam risco à saúde, [243](#)

Tabela II – Métodos analíticos para os parâmetros relacionados ao padrão de aceitação para consumo humano, [247](#)



LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Exemplos de situações ou práticas indesejáveis na mistura rápida/coagulação, [75](#)

Quadro 2.2 – Exemplos de situações ou práticas indesejáveis na floculação, [80](#)

Quadro 2.3 – Exemplos de situações ou práticas indesejáveis na decantação, [86](#)

Quadro 2.4 – Exemplos de situações ou práticas indesejáveis na filtração rápida, [93](#)

Quadro 2.5 – Remoção de microorganismos patogênicos e indicadores de contaminação pela filtração lenta, [98](#)

Quadro 2.6 – Exemplos de situações ou práticas indesejáveis na filtração lenta, [101](#)

Quadro 2.7 – Características dos principais desinfetantes utilizados no tratamento da água para consumo humano, [102](#)

Quadro 2.8 – Exemplos de situações ou práticas indesejáveis na desinfecção, [108](#)

Quadro 2.9 – Aplicabilidade de processos de tratamento de água para a remoção de contaminantes, [119](#)

Quadro 2.10 – Recomendações, [138](#)

Quadro 3.1 – Organismos patogênicos veiculados pela água e de transmissão feco-oral e sua importância para o abastecimento de água, [170](#)

Quadro 3.2 – Padrão microbiológico de potabilidade, [176](#)

Quadro 3.3 – Substâncias químicas inorgânicas que representam risco à saúde, [184](#)

Quadro 3.4 – Substâncias químicas orgânicas que representam risco à saúde, [185](#)

Quadro 3.5 – Agrotóxicos, [186](#)

Quadro 3.6 – Desinfetantes e produtos secundários da desinfecção, [189](#)

Quadro 3.7 – Padrão de aceitação para consumo humano, [190](#)

Quadro 3.8 – Métodos analíticos empregados na aplicação da Portaria MS nº 518/2004 – parâmetros microbiológicos, [195](#)

Quadro 3.9 – Métodos analíticos empregados na aplicação da Portaria MS nº 518/2004 – parâmetros físico-químicos, [196](#)

Quadro 4.1 – Informações relevantes para a caracterização de sistemas e soluções alternativas de abastecimento de água, [210](#)



APRESENTAÇÃO

O manual *Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde* foi produzido para preencher importante lacuna na área de abastecimento de água: a de estabelecer diretrizes para a adoção das chamadas boas práticas no abastecimento de água, a partir de um olhar de saúde pública.

Pode-se afirmar que se trata de lacuna histórica, pois há muito os responsáveis pelo funcionamento das instalações de abastecimento de água, tradicionalmente com formação profissional alinhada com os princípios da engenharia, não dispõem de uma clara orientação sobre como amoldar seus planejamentos, estratégias, concepções e, sobretudo, sua rotina operacional a uma perspectiva de minimização dos riscos à saúde. Na outra direção, profissionais da área de saúde, particularmente da atividade de vigilância, mais modernamente com sua especialidade em *vigilância ambiental*, também se têm ressentido da ausência de instrumentos técnico-normativos para bem orientá-los em seus procedimentos nos serviços de abastecimento de água.

Não se pode pleitear que o manual representa iniciativa inédita nessa direção, pois a Portaria nº 443/BSB, de outubro de 1978, destinava-se a trazer tais orientações. Contudo, por razões imprecisas, o instrumento não encontrou a aplicabilidade necessária, caindo em um quase esquecimento e abandono. Deve-se enfatizar, no entanto, que, a despeito de sua desatualização, permanece em vigor, nas determinações não conflitantes com a legislação posterior, sobretudo a Portaria nº 518/2004, do Ministério da Saúde, devendo ser adotada sempre que conveniente.

A motivação maior para a elaboração deste manual, porém, foi a publicação da Portaria MS nº 518/2004, que, ao estabelecer “os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”, determina o emprego das “boas práticas” no abastecimento como forma de minimizar os riscos à saúde humana decorrentes da utilização de água insegura pela população. Pode-se sugerir mesmo que o uso reiterado da expressão “boas práticas” naquela Portaria cumpriu o papel de provocar os envolvidos no controle e na vigilância da qualidade da água para consumo humano a definir seu significado. Esta seria, pois, a função do manual: procurar preencher de sentido a expressão adotada na legislação.

É importante assinalar ainda que o conceito está longe de ser exclusivo do campo do abastecimento de água. Trata-se, em verdade, de expressão empregada em diversas outras áreas relacionadas com a saúde pública, como a de

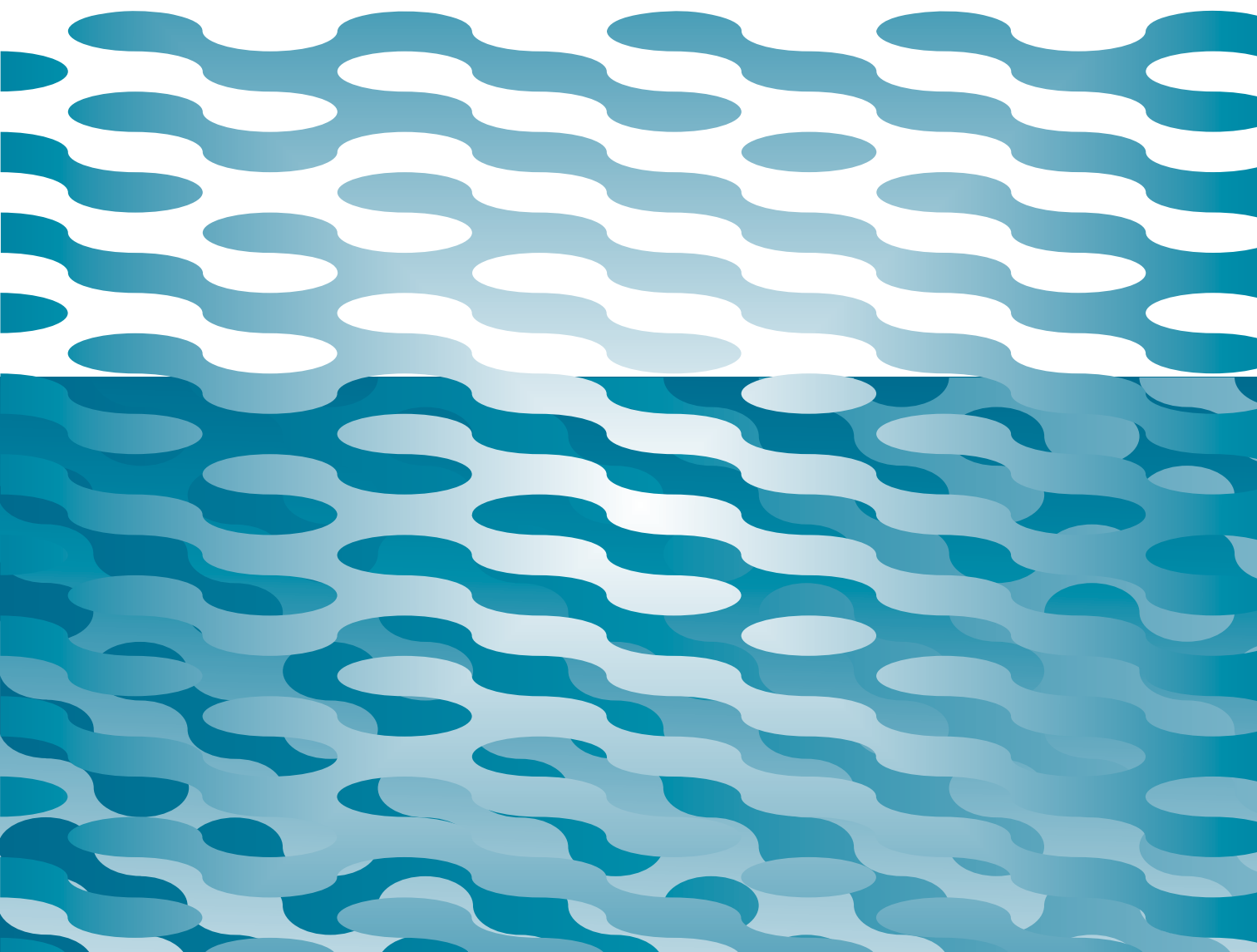
produção de alimentos e de controle de qualidade de práticas laboratoriais, bem como na própria literatura internacional sobre abastecimento de água, especialmente a mais recente.

O conteúdo do manual, como princípio orientador de sua elaboração, procurou ser atravessado pela seguinte premissa, contida na Portaria MS nº 518/2004: para a minimização de riscos à saúde humana decorrentes do abastecimento de água, tão ou mais importante que manter os parâmetros de qualidade da água enquadrados nos limites dos padrões de potabilidade, é o emprego daquelas práticas que possibilitam prevenir o surgimento desses riscos. Para essa abordagem, o documento foi estruturado em 18 seções, distribuídos pelos seguintes capítulos:

- 1 Marcos referenciais.
- 2 Boas práticas no abastecimento de água sob a perspectiva dos riscos à saúde humana.
- 3 Avaliação da qualidade da água para consumo humano.
- 4 Informação sobre a qualidade da água para consumo humano.

Dessa maneira, sem prejuízo de emprego do manual como fonte de consulta, o que supõe buscar partes isoladas do documento, concebeu-se uma estrutura que encadeasse os diversos aspectos do tema. Assim, pretendeu-se que, tendo por base os marcos conceituais, legais e institucionais do tema, fossem descritas as melhores práticas recomendadas em cada uma das unidades dos sistemas e soluções alternativas de abastecimento de água, com suas diversas variantes; em seguida, indicaram-se os melhores procedimentos para a avaliação qualitativa da água, para, por fim, se apresentarem informações necessárias aos responsáveis pelo controle e às autoridades sanitárias, bem como aquelas a que tem direito a população usuária. Completam o manual as referências bibliográficas citadas e a bibliografia recomendada.

Os autores e as entidades promotoras deste manual esperam que o documento ora apresentado à comunidade militante no campo do abastecimento de água possa constituir importante subsídio para que controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano passem a atuar crescentemente de forma integrada, cooperativa e construtiva, contribuindo para a proteção da saúde da população brasileira consumidora e usuária da água de abastecimento. Espera-se que, para o aperfeiçoamento dessa prática, nessa direção apontada, contribuam este e três outros documentos que, em seu conjunto, formam uma coleção para a implementação de práticas de controle e qualidade da água para consumo humano: a própria Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, o documento *Comentários sobre a Portaria nº 518/2004: subsídios para implementação* e o *Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade de água para consumo humano – Vigiagua*.



1.1 MARCO CONCEITUAL

Para a adequada compreensão do presente manual, alguns conceitos e definições devem estar presentes, como a seguir:

BOAS PRÁTICAS

Por *boas práticas no abastecimento de água* entendem-se aqueles procedimentos adotados nas fases de concepção, projeto, construção, operação e manutenção de um sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, que propiciam a minimização dos riscos à saúde humana advindos do uso daquela água. Boas práticas (ou “melhores práticas”) representam um conceito corrente na área de saúde e em atividades industriais e compreendem um conjunto de recomendações quanto aos procedimentos que mais bem se ajustam aos objetivos pretendidos – no caso do objeto do presente manual, a minimização dos riscos. É importante salientar que, para serem atingidas as boas práticas, um conjunto de recomendações, tal como o apresentado neste manual, constitui apenas um dos elementos. Tais recomendações não serão obedecidas se não estiverem acompanhadas de um adequado suporte físico (as características físicas do sistema ou da solução alternativa), técnico, humano, financeiro, organizacional, político-institucional e legal (inclusive quanto a regulamentos no nível local).

RISCO À SAÚDE HUMANA

Risco é definido como “uma característica de uma situação ou ação em que dois ou mais efeitos são possíveis, mas que o efeito particular que ocorrerá é incerto e pelo menos uma das possibilidades é indesejável” (COVELLO; MERKHOFFER, 1993). Devem ser enfatizados, na definição de risco, os termos *incerto* e *indesejável*. Nesse conceito, um abastecimento de água pode conduzir a diferentes e *incertos* efeitos sobre a saúde do usuário da água, alguns deles benéficos e outros nocivos, logo *indesejáveis*. Dessa forma, as boas práticas buscam exatamente minimizar a probabilidade de ocorrência dos efeitos indesejáveis, para a saúde humana, do abastecimento de água.

É importante ainda distinguir o termo *risco* do termo *perigo*, muito utilizado em estudos de avaliação de risco. Enquanto *risco* está associado à probabilidade de ocorrência de um efeito, *perigo* é uma característica intrínseca de uma substância ou de uma situação. Por exemplo, uma água para consumo humano que contenha agentes patogênicos seria um *perigo*, enquanto seu fornecimento à população traz um *risco*, que pode ser quantificado e expresso em termos de probabilidade.

ABASTECIMENTO DE ÁGUA – SISTEMA E SOLUÇÃO ALTERNATIVA

A Portaria MS nº 518/2004 classifica as instalações para abastecimento de água em duas categorias:

- sistema de abastecimento de água – 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.
- solução alternativa coletiva – 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.

As seguintes diferenciações podem ser observadas nas duas definições:

INSTALAÇÃO	CARACTERÍSTICA		
	COLETIVO/INDIVIDUAL	DISTRIBUIÇÃO CANALIZADA	RESPONSABILIDADE DO PODER PÚBLICO
Sistema de abastecimento de água	Coletivo	Obrigatoriamente	Obrigatoriamente
Solução alternativa coletiva	Coletivo	Não obrigatoriamente	Não obrigatoriamente

Como pode ser notado, do ponto de vista físico, determinados tipos de soluções alternativas podem ser idênticos aos sistemas de abastecimento, como as instalações condominiais horizontais, por exemplo. Nesse caso, a diferenciação estaria apenas no fato de a responsabilidade não ser do poder público e sim do próprio condomínio.

Poder-se-ia perguntar: por que a legislação sobre potabilidade da água encontrou necessidade de diferenciar as duas categorias de instalações? A resposta é: com a finalidade de diferenciar as exigências de controle da qualidade da água. Como essa diferenciação clara não existia na legislação anterior (Portaria MS nº 36/1990), as soluções alternativas não se viam obrigadas a exercer o controle da qualidade da água, nem as autoridades sanitárias a sua vigilância, submetendo seus usuários, que correspondem a uma parcela significativa da população brasileira, a maiores riscos à saúde humana. Ademais, a atual legislação assume como adequada a diferenciação quanto às exigências de controle da qualidade da água, pelas particularidades, sobretudo gerenciais, dos dois grupos de instalações.

Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano

Na Portaria nº 518/2004 encontram-se as seguintes definições:

- **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.
- **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.

Para efeito deste manual, cabe destacar as diferentes responsabilidades: o controle deve ser exercido pelo(s) responsável(is) pelo sistema ou solução alternativa; a vigilância, pela autoridade de saúde pública. Simetricamente, as boas práticas devem ser exercidas pelo(s) responsável(is) pelo sistema ou solução alternativa e devem ser verificadas e avaliadas pela autoridade de saúde pública, sobretudo visando a avaliar os riscos à saúde humana representados pelas instalações.

1.2 MARCOS LEGAIS

A legislação central que referencia este manual é a Portaria MS nº 518/2004, que “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”. A relação entre a Portaria MS nº 518/2004 e este manual é mais evidenciada nos seguintes artigos e incisos, do seu anexo, que explicitamente mencionam as boas práticas no abastecimento de água:

Art. 7º São deveres e obrigações das Secretarias Municipais de Saúde:
IV. efetuar, sistemática e permanentemente, avaliação de risco à saúde humana de cada sistema de abastecimento ou solução alternativa, por meio de informações sobre:
b) as características físicas dos sistemas, práticas operacionais e de controle da qualidade da água;

.....
d) a associação entre agravos à saúde e situações de vulnerabilidade do sistema.

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.

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 a 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:

- a) garantir o uso exclusivo do veículo para este fim;
- b) manter registro com dados atualizados sobre o fornecedor e, ou, sobre a fonte de água; e
- c) 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”.

Portanto, a Portaria MS nº 518/2004, por meio das determinações apresentadas, enfatiza que a adoção de limites de presença de substâncias e organismos potencialmente nocivos à saúde humana na água consumida, embora necessária, não é suficiente para garantir a desejável proteção à saúde. Além do acompanhamento desses limites, procedimentos complementares são essenciais, como a promoção de boas práticas em todo o abastecimento de água.

Além da Portaria MS nº 518/2004, outros instrumentos legais dão suporte ao conceito de boas práticas no abastecimento de água, podendo ser citados os seguintes, de nível federal:

NORMAS DA ABNT

Dentre outras, as seguintes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas versam sobre concepção, projeto e execução de componentes de sistemas de abastecimento de água e devem ser rigorosamente observadas nas situações em que se aplicam. Não se incluem nesta listagem as normas para a determinação analítica de parâmetros de qualidade da água e nem para procedimentos na rotina laboratorial, contudo devem ser sempre observadas.

Projeto

- **NBR 5626 – Instalações prediais de água fria**
Fixa condições exigíveis quanto à maneira e aos critérios pelos quais devem ser projetadas as instalações prediais de água fria, para atender às exigências técnicas mínimas de higiene, segurança, economia e conforto dos usuários. Aplica-se a quaisquer tipos de instalações de água fria para uso e consumo humano.
- **NBR 12211 – Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água**
Fixa condições para os estudos de concepção dos sistemas públicos de abastecimento de água.
- **NBR 12212 – Projeto de poço para captação de água subterrânea**
Fixa condições mínimas a serem obedecidas na elaboração de projetos de poços para captação de água subterrânea para abastecimento público.
- **NBR 12213 – Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público**
Fixa condições mínimas a serem obedecidas na elaboração de projetos de captação de água de superfície para abastecimento público.
- **NBR 12214 – Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público**
Fixa condições mínimas a serem obedecidas na elaboração de projetos de sistema de bombeamento de água para abastecimento público.

- NBR 12215 – *Projeto de adutora de água para abastecimento público*
Fixa condições exigíveis na elaboração de projetos de sistema de adução de água para abastecimento público.
- NBR 12216 – *Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público*
Fixa condições mínimas a serem obedecidas na elaboração de projetos de estação de tratamento destinada à produção de água potável para abastecimento público.
- NBR 12217 – *Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público*
Fixa condições exigíveis na elaboração de projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público.
- NBR 12218 – *Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público*
Fixa condições exigíveis na elaboração de projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.

Materiais

- NBR 5649 – *Reservatório de fibrocimento para água potável*
Fixa condições exigíveis para aceitação e recebimento de reservatórios de fibrocimento para água potável.
- NBR 5650 – *Reservatório de fibrocimento para água potável: verificação de estanqueidade e determinação dos volumes útil e efetivo*
Prescreve método de verificação da estanqueidade e de determinação dos volumes útil e efetivo dos reservatórios de fibrocimento para água potável.
- NBR 8220 – *Reservatório de poliéster reforçado com fibra de vidro para água potável para abastecimento de comunidades de pequeno porte*
Fixam-se condições mínimas exigíveis para o recebimento de reservatórios de poliéster reforçado com fibra de vidro, apoiados ou elevados, utilizados para armazenagem de água potável para uso domiciliar ou público, em comunidade de pequeno porte.
- NBR 11799 – *Material filtrante: areia, antracito e pedregulho*
Fixa condições exigíveis para recebimento e colocação do material filtrante, abrangendo a areia, o antracito e o pedregulho da camada suporte, em filtros para abastecimento público de água.
- NBR 13194 – *Reservatório de fibrocimento para água potável: estocagem, montagem e manutenção*
Fixa condições exigíveis para estocagem, montagem e manutenção de reservatórios de fibrocimento para água.
- NBR 13210 – *Caixa de poliéster reforçado com fibra de vidro para água potável*

Fixa condições exigíveis para o recebimento de caixas de poliéster reforçado com fibra de vidro, utilizadas para armazenamento de água potável.

Tubulações: assentamento, especificações, desinfecções e testes

- **NBR 5647 – Tubos de PVC rígido para adutoras e rede de água**
Fixa condições exigíveis no recebimento de tubos de PVC rígido, de seção circular, e respectivas juntas, destinados à execução de adutoras e redes de água.
- **NBR 5648 – Tubo de PVC rígido para instalações prediais de água fria**
Fixa condições exigíveis para o recebimento de tubos de PVC rígido de seção circular, e respectivas juntas, destinados à condução de água potável em instalações prediais de água fria com aproximadamente 20 graus Celsius.
- **NBR 5689 – Materiais para revestimento de base asfáltica empregados em tubos de aço para condução de água de abastecimento**
Estabelece tipos de materiais e requisitos mínimos exigíveis para os mesmos quando empregados em revestimento de base asfáltica para tubos de aço usados na condução de água de abastecimento.
- **NBR 7665 – Tubo de PVC rígido de fofo com junta elástica para adutoras e rede de água**
Fixa condições exigíveis no recebimento de tubos de PVC rígido, com diâmetro externos e equivalente, ao dois tubos de ferro fundido e respectivas juntas elásticas, destinados à execução de adutoras e redes enterradas de água.
- **NBR 7968 – Diâmetros normais em tubulações de saneamento nas áreas de rede de distribuição, adutoras, redes coletoras de esgoto e interceptores**
Padroniza diâmetros nominais a serem utilizados no projeto e na fabricação de tubos, conexões, aparelhos e respectivos acessórios. Aplica-se a tubos, conexões, aparelhos e acessórios para utilização em saneamento, nas áreas de rede de distribuição, adutoras, redes coletoras de esgoto e interceptores para os diâmetros nominais de 50 a 1500.
- **NBR 9650 – Verificação da estanqueidade no assentamento de adutoras e redes de água**
Fixa condições exigíveis para verificação da estanqueidade durante o assentamento de tubulações destinadas à adução de água sob pressão.
- **NBR 9797 – Tubo de aço-carbono eletricamente soldado para condução de água de abastecimento**
Fixa condições exigíveis para fabricação de tubos de aço-carbono destinados à condução de água de abastecimento, eletricamente soldados.

- **NBR 9822 – Execução de tubulações de PVC rígido para adutoras e redes de água**
Fixa condições exigíveis para locação, demarcação, abertura e regularização da vala, transporte, manuseio, disposição, assentamento, execução das juntas, envolvimento, ancoragem, ensaios de estanqueidade e reaterro na execução de tubulações de PVC rígido para adutoras e redes de água.
- **NBR 10156 – Desinfecção de tubulações de sistema público de abastecimento de água**
Fixa condições exigíveis para lavagem e desinfecção de tubulações de sistemas públicos de abastecimento de água, usando gás cloro ou compostos clorados. Aplica-se também à lavagem e à desinfecção de peças e acessórios que completam a tubulação, devendo ser considerados os casos de tubulações recém-construídas, das tubulações que sofreram reparos e das tubulações em uso.
- **NBR 12266 – Projeto e execução de valas para assentamento de tubulações de água, esgoto ou drenagem urbana**
Fixa condições exigíveis para projetos de execução de valas para assentamento de tubulações de água, esgoto ou drenagem urbana. Estabelece também critério para posicionamento de vala na via pública e dimensionamento do escoramento.
- **NBR 12595 – Assentamento de tubulações de ferro fundido dúctil para condução de água sob pressão**
Fixa condições para o assentamento de tubulações de ferro fundido dúctil utilizadas na condução de água sob pressão enterradas, semi-enterradas ou aéreas e para temperatura de serviço máxima de 90 graus Celsius.

Laboratórios

- **NBR 13035 – Planejamento e instalação de laboratórios para análises e controle de água**
Fixa condições exigíveis para planejamento e instalação de laboratórios para análises e controle de águas, a fim de que sejam economicamente viáveis, funcionais, eficientes e seguros em seu desempenho sob os pontos de vista biológico, microbiológico e físico-químico.
- **ABNT ISO/IEC GUIA 25 – Requisitos gerais para a capacitação de laboratórios de calibração e de ensaios**
Fixa requisitos gerais para capacitação de laboratórios de calibração e de ensaios.
- **ABNT ISO/IEC GUIA 58 – Sistema de credenciamento de laboratórios de calibração e ensaios. Requisitos gerais para operação e reconhecimento**

Estabelece requisitos gerais para a operação de um sistema de credenciamento de laboratórios de calibração e/ou ensaios, de tal modo que os credenciamentos concedidos, e os serviços abrangidos por estes credenciamentos, possam ser reconhecidos em nível nacional ou internacional, e o organismo que opera o sistema de credenciamento possa ser reconhecido, em nível nacional ou internacional, como competente e confiável.

Produtos químicos utilizados no tratamento da água

- NBR 6471 – *Cal virgem e cal hidratada: retirada e preparação de amostra*
Determina o modo pelo qual se deve proceder para retirar e preparar amostra de cal hidratada a ser remetida ao laboratório para ensaios de controle e de recebimento.
- NBR 6473 – *Cal virgem e cal hidratada: análise química*
Prescreve o método pelo qual deve ser feita a análise química de cal virgem hidratada, abrangendo cal cálcica e cal dolomítica.
- NBR 9414 – *Solução de hipoclorito de sódio comercial: determinação do teor de ferro pelo método colorimétrico com o fenantrolina*
Prescreve método para determinação de teor de ferro no hipoclorito de sódio pelo método colorimétrico com fenantrolina.
- NBR 9425 – *Solução de hipoclorito de sódio comercial: determinação do teor de cloro ativo pelo método volumétrico*
Prescreve método para determinação do teor de cloro ativo em soluções de hipoclorito de sódio comercial.
- NBR 9432 – *Solução de hipoclorito de sódio comercial: determinação do teor de cloreto pelo método volumétrico*
Prescreve método para determinação do teor de cloreto no hipoclorito de sódio pelo método volumétrico.
- NBR 9433 – *Solução de hipoclorito de sódio comercial: determinação do teor de clorato pelo método volumétrico*
Prescreve método para determinação do teor de clorato no hipoclorito de sódio pelo método volumétrico.
- NBR 9559 – *Solução de hipoclorito de sódio comercial: determinação do teor de hidróxido e carbonato de sódio*
Prescreve método para determinação do teor de hidróxido e carbonato de sódio no hipoclorito de sódio comercial.
- NBR 9852 – *Solução de hipoclorito de sódio comercial: determinação do teor de matérias insolúveis*
Prescreve método de ensaio para determinação do teor de matérias insolúveis de hipoclorito de sódio comercial.
- NBR 10790 – *Cal virgem e cal hidratada para tratamento de água de abastecimento público*

- Fixa condições exigíveis de aceitação e recebimento de cal virgem e cal hidratada, utilizadas no tratamento de água de abastecimento público.
- NBR 11176 – *Sulfato de alumínio*
Fixa condições exigíveis para o fornecimento e recebimento do produto sulfato de alumínio, utilizado, entre outros fins, no tratamento de água destinada ao abastecimento público.
 - NBR 11177 – *Amostragem de sulfato de alumínio*
Fixa condições exigíveis para coleta de amostras de sulfato de alumínio, no estado sólido (embalado e a granel) ou no estado líquido (veículo-tanque).
 - NBR 11179 – *Sulfato de alumínio: determinação de resíduo insolúvel em água*
Prescreve método para determinação de resíduo insolúvel em água, no sulfato de alumínio sólido e líquido.
 - NBR 11180 – *Sulfato de alumínio: determinação do alumínio total solúvel em água*
Prescreve método para determinação do teor de alumínio sólido e líquido.
 - NBR 11181 – *Sulfato de alumínio: determinação do ferro total solúvel em água, no sulfato de alumínio sólido e líquido*
Prescreve método para determinação de ferro total solúvel em água, no sulfato de alumínio sólido e líquido.
 - NBR 11182 – *Sulfato de alumínio: determinação de acidez livre e basicidade*
Prescreve método para determinação de acidez livre e basicidade no sulfato de alumínio sólido e líquido.
 - NBR 11887 – *Hipoclorito de cálcio*
Fixa condições exigíveis para o hipoclorito de cálcio, utilizado entre outros fins como desinfetante no tratamento de água destinada ao abastecimento público e piscinas de uso geral.
 - NBR 12144 – *Hipoclorito de cálcio: determinação de resíduo insolúvel em água*
Prescreve método de determinação de resíduo insolúvel em água no hipoclorito de cálcio.
 - NBR 12145 – *Hipoclorito de cálcio: determinação granulométrica*
Prescreve método de determinação granulométrica de hipoclorito de cálcio
 - NBR 12279 – *Amostragem de hipoclorito de sódio*
Fixa condições exigíveis para coleta de amostras de hipoclorito de sódio.
 - NBR 12308 – *Amostragem de hipoclorito de cálcio*
Fixa as condições exigíveis para a coleta de amostras de hipoclorito de cálcio.

Construção de poços

- NBR 12244 – *Construção de poço para captação de água subterrânea*
Fixa condições exigíveis na construção de poço para captação de água subterrânea, destinada ao abastecimento público. Aplica-se a todos os tipos de poços perfurados em rochas de características físicas as mais diversas.

LEGISLAÇÃO DA ÁREA DE SAÚDE

Na vasta legislação relacionada à saúde pública, localizam-se três grupos de temas que diferentemente se relacionam com este documento: a legislação que cria e regulamenta o SUS (em especial a Lei nº 8.080/90), a legislação que estabelece procedimentos para os sistemas de abastecimento de água (Portaria MS nº 443/1978) e a legislação sobre a potabilidade da água, além da Portaria MS nº 518/2004, com ênfase para a legislação que estabelece as condições de aplicação de flúor na água. Descrevem-se a seguir os referidos instrumentos:

Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990

Trata-se da legislação que regulamenta o capítulo sobre saúde da Constituição Federal de 1988, dispondo “sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências”. As interseções dessa legislação com o tema do presente manual podem ser observados em:

Art. 2º A saúde é um direito fundamental do ser humano, devendo o Estado prover as condições indispensáveis ao seu pleno exercício.

§ 1º O dever do Estado de garantir a saúde consiste na formulação e execução de políticas econômicas e sociais que visem à redução de riscos de doenças e de outros agravos e no estabelecimento de condições que assegurem acesso universal e igualitário às ações e aos serviços para a sua promoção, proteção e recuperação.

§ 2º O dever do Estado não exclui o das pessoas, da família, das empresas e da sociedade.

Art. 3º A saúde tem como fatores determinantes e condicionantes, entre outros, [...] o saneamento básico, o meio ambiente [...]

Parágrafo único. Dizem respeito também à saúde as ações que, por força

do disposto no artigo anterior, se destinam a garantir às pessoas e à coletividade condições de bem-estar físico, mental e social.

Art. 6º Estão incluídas ainda no campo de atuação do Sistema Único de Saúde (SUS):

II - a participação na formulação da política e na execução de ações de saneamento básico;

.....
V - a colaboração na proteção do meio ambiente, nele compreendido o do trabalho;

Art. 18. À direção municipal do Sistema de Saúde (SUS) compete:

I - planejar, organizar, controlar e avaliar as ações e os serviços de saúde e gerir e executar os serviços públicos de saúde;

.....
IV - executar serviços:

d) de saneamento básico

Portaria MS nº 443/BSB de 3 de outubro de 1978

A rigor, trata-se de uma legislação sobre boas práticas em sistemas de abastecimento de água. Interessante observar que data de 1978, mas que teve baixa observância no território nacional, tanto pelos prestadores de serviços de saneamento quanto pelas autoridades sanitárias. Porém, permanece em vigor e deve ser observada como um instrumento complementar, no que não colide com a Portaria MS nº 518/2004. Em seu *caput*, estabelece que o Ministro de Estado da Saúde resolve: I - Aprovar as normas, que com esta se baixam sobre proteção sanitária dos mananciais, dos serviços de abastecimento público e controle de qualidade da água nos mesmos e das instalações prediais, elaboradas por especialistas do Ministério da Saúde, da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro (FEEMA) da Secretaria Especial do Meio Ambiente, do Ministério do Interior e da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), de São Paulo.

Legislação sobre fluoretação

Sobre o tema, constam:

- A Lei nº 6.050, de 24 de maio de 1974, que “dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas de abastecimento quando existir estação de tratamento”.

- O Decreto nº 76.872, de 22 dezembro de 1975, que “regulamenta a Lei nº 6.050, de 24 de maio de 1974, que dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas públicos de abastecimento”.
- A Portaria nº 635/BSB, de 26 de dezembro de 1975, que aprova normas e padrões sobre a fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento, destinada ao consumo humano.

LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Da vasta legislação ambiental existente no país, nos diversos níveis federativos, possui estreita aplicabilidade ao abastecimento de água para consumo humano a Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005, que estabelece critério para classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, em reformulação quando da elaboração deste manual. Essa legislação, ao definir os usos e os requisitos de qualidade da água que cada uma das nove classes de águas naturais – sendo cinco classes de águas doces – devem apresentar, tem possibilitado o enquadramento das águas de todo o território brasileiro e, em decorrência, o zelo pela manutenção de sua qualidade.

Mesmo que essa legislação seja dinâmica, certamente se constitui na principal referência para a averiguação da qualidade das águas dos mananciais, conforme previsto nos artigos 7, 9 e 10 da Portaria MS nº 518/2004.

LEGISLAÇÃO SOBRE RECURSOS HÍDRICOS

Deve ser atentamente observada a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Pontos importantes definidos nessa legislação incluem:

Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

- I - a água é um bem de domínio público;
- II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Art. 2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Art. 3º Constituem diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- I - a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade;
- II - a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País;
- III - a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental;
- IV - a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional;
- V - a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo.

Art. 5º São instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- I - os Planos de Recursos Hídricos;
- II - o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III - a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- IV - a cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- V - a compensação a municípios.

São ainda estabelecidas nessa legislação as figuras dos *comitês de bacia hidrográfica*, com competência para arbitrar os conflitos relacionados aos recursos hídricos, aprovar e acompanhar o Plano de Recursos Hídricos da bacia e estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso da água, e das *agências de água*, com a função de secretaria executiva dos comitês.

1.3 MARCOS INSTITUCIONAIS

Para que se empreguem adequadamente as boas práticas no abastecimento de água, torna-se indispensável reconhecer e observar a estrutura institucional que dá suporte à área de abastecimento de água, nos níveis federal, estadual, distrital e municipal. Na atual estrutura do país, a área de saneamento encontra lugar

principalmente em três estruturas institucionais: a de desenvolvimento urbano – representada no nível federal pelo Ministério das Cidades –, a de saúde e a de meio ambiente. Além disso, encontra inúmeras interfaces com outras áreas. Apenas analisando os atuais órgãos federais, o campo do saneamento apresenta maiores ou menores relações com o Ministério das Cidades, por meio de suas Secretarias de Saneamento Ambiental, Habitação, Transportes e Mobilidade Urbana, Programas Urbanos; o Ministério do Meio Ambiente, com suas Secretarias de Recursos Hídricos, Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, Políticas para o Desenvolvimento Sustentável, Biodiversidade e Floresta; o Ministério da Saúde, além dos Ministérios de Ciência e Tecnologia, Educação, Cultura; Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Integração Nacional, Turismo.

Na atual estrutura do Ministério da Saúde, localiza-se a Secretaria de Vigilância em Saúde e, subordinada a ela, a Coordenação-Geral de Vigilância Ambiental em Saúde, responsável pela vigilância da qualidade da água para consumo humano. Pela concepção institucional descentralizada estabelecida pelo Sistema Único de Saúde (SUS), essa estrutura tem correspondências, ainda que com diferenciações no formato, nos níveis estadual e municipal.

Quanto à posição do saneamento no governo federal, o Ministério das Cidades estruturou-se a partir de 2003, compondo-se de quatro secretarias nacionais: Saneamento Ambiental; Habitação; Transportes e Mobilidade Urbana e Programas Urbanos. A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental apresenta-se com a missão de

assegurar os direitos humanos fundamentais de acesso à água potável e à vida em ambiente salubre nas cidades e no campo, mediante a universalização do abastecimento de água e dos serviços de esgotamento sanitário, coleta e tratamento dos resíduos sólidos, drenagem urbana e controle de vetores e reservatórios de doenças transmissíveis.

Logo, compete a essa secretaria ações como financiamento, avaliação, implementação e estabelecimento de diretrizes para a área de saneamento, tornando-se a principal referência, em nível federal, para a área.

Nos níveis estadual e municipal, as ações de saneamento são realizadas por órgãos com diferentes formatos institucionais e administrativos. Em cada estado da federação encontram-se as companhias estaduais de saneamento, responsáveis pela operação, mediante concessão municipal, de um grande número de sistemas de abastecimento de água. Além disso, um número razoável de sistemas é de responsabilidade direta do poder municipal, com gestão organizada por meio de serviços autônomos, empresas públicas, órgãos da administração direta e outras formas. Um pequeno número deles, no Brasil, firmou contrato de concessão com empresas privadas.

No Ministério do Meio Ambiente também se localizam estruturas relacionadas ao saneamento, em especial a Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, além da Secretaria Nacional de Recursos Hídricos. Esta última, responsável pela formulação da Política Nacional de Recursos Hídricos, pela inte-

gração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental e por exercer a secretaria-executiva do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, coordena as ações de recursos hídricos, com importantes interfaces com o abastecimento de água.

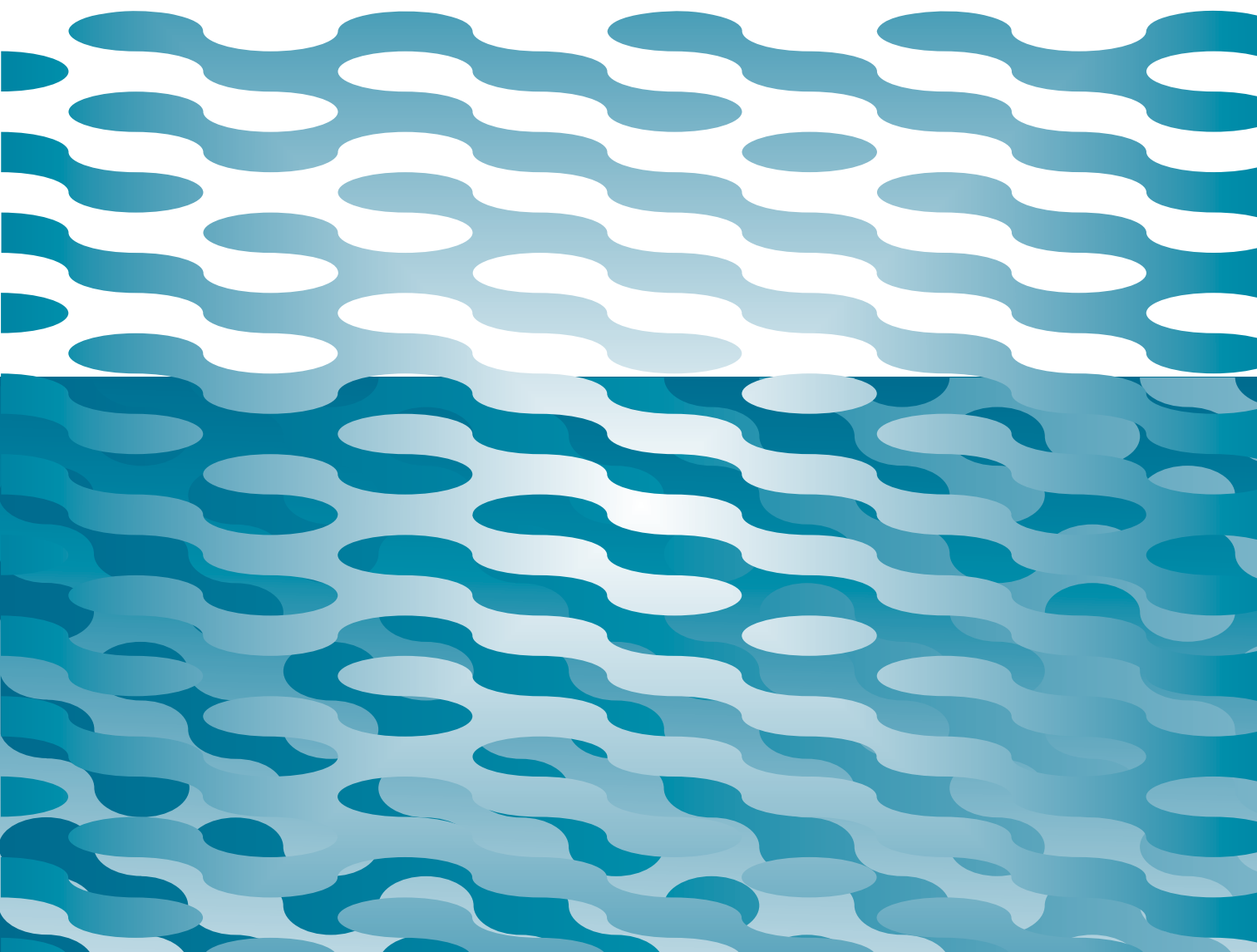
Nessa mesma política de recursos hídricos, a Agência Nacional de Águas (ANA), autarquia sob regime especial com autonomia administrativa e financeira criada pela Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, tem por atribuição “implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos e coordenar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos”. Por determinação legal, dentre outras funções, cabe à agência:

- supervisionar, controlar e avaliar as ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação federal pertinente aos recursos hídricos;
- disciplinar, em caráter normativo, a implementação, a operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos;
- outorgar [...] o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União [...];
- fiscalizar os usos de recursos hídricos nos corpos de água de domínio da União;
- implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, a cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União;
- planejar e promover ações destinadas a prevenir ou minimizar os efeitos de secas e inundações [...];
- promover a elaboração de estudos para subsidiar a aplicação de recursos financeiros da União em obras e serviços de regularização de cursos de água, de alocação e distribuição de água, e de controle da poluição hídrica, em consonância com o estabelecido nos planos de recursos hídricos;
- definir e fiscalizar as condições de operação de reservatórios por agentes públicos e privados, visando a garantir o uso múltiplo dos recursos hídricos [...];
- organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos;
- propor ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos o estabelecimento de incentivos, inclusive financeiros, à conservação qualitativa e quantitativa de recursos hídricos.

É importante ainda destacar a existência dos Conselhos Nacionais, de seus correspondentes estaduais e em alguns casos municipais, bem como a realização de Conferências periódicas, reconhecidas como instâncias máximas de definição de diretrizes para as políticas nos diversos campos. Assim, identificam-se no nível federal o Conselho Nacional das Cidades, com sua Câmara de Saneamento Ambiental; o Conselho Nacional de Saúde, com sua Comissão Intersetorial de Saneamento e Meio Ambiente, e o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, dentre outras, com suas câmaras técnicas de águas subterrâneas, de cobrança pelo uso de recursos hídricos e de gestão de recursos hídricos transfronteiriços.

BOAS PRÁTICAS NO ABASTECIMENTO
DE ÁGUA SOB A PERSPECTIVA DOS RISCOS
À SAÚDE HUMANA

2



Neste capítulo, as diversas unidades empregadas para o fornecimento de água às populações são abordadas a partir de um olhar sobre os potenciais riscos à saúde que podem ser a elas atribuídos. Assim, parte-se do pressuposto de que, para se assegurar a potabilidade da água para consumo humano nos termos definidos pela Portaria MS nº 518/2004 (antiga Portaria MS nº 1.469/2000), é essencial que a concepção, o projeto, a construção e, sobretudo, a operação dessas unidades sejam desenvolvidos com a preocupação de minimizar riscos à saúde. E, além disso, que tais cuidados podem implicar modificações nas práticas tradicionalmente vigentes, quando estas se baseiam exclusivamente nas recomendações dos manuais técnicos e nos livros-textos em uso no país.

A estrutura do capítulo considera, conforme definido pela Portaria, que o fornecimento de água às populações pode ser realizado por dois diferentes tipos de instalação: o *sistema de abastecimento de água para consumo humano* e a *solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano*. O quadro a seguir relembra as definições expressas na Portaria MS nº 518/2004:

- sistema de abastecimento de água – 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.
- solução alternativa coletiva – 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.

Para efeito do desenvolvimento da presente seção, assumiu-se que, fisicamente, um sistema de abastecimento de água assemelha-se às soluções alternativas que distribuem água por meio de canalizações. Em outras palavras, do ponto de vista físico, configuram-se duas modalidades de fornecimento de água, classificação que orientou o presente manual.

Portanto, as divisões iniciais deste capítulo (2.1 a 2.5) referem-se à primeira modalidade, o item 2.6 é específico para a segunda modalidade e as demais divisões (2.7 a 2.9) aplicam-se igualmente a ambos. A orientação das divisões iniciais (2.1 a 2.6) é a de enfatizar aspectos operacionais e de projeto, enquanto o item 2.9 versa especificamente sobre cuidados a serem observados na fase de construção.

2.1 MANANCIAL

É a fonte ou a origem da água utilizada para o abastecimento, podendo ser de três tipos:

- água superficial: são os córregos, os ribeirões, os rios ou os lagos, isto é, os corpos de água formados pela água que escorre sobre a superfície do solo;
- água subterrânea: formada pela água que se infiltra e se movimenta abaixo da superfície do solo, ou seja, no interior da crosta terrestre, e que se manifesta por meio de nascentes, poços rasos, poços profundos, drenos, etc. Pode pertencer ao lençol não-confinado ou freático, no qual a água mantém a pressão atmosférica, ou ao lençol confinado, onde a água está sob pressão, entre camadas impermeáveis do subsolo;
- água de chuva: água que se precipita em direção à superfície do planeta e é aproveitada antes que atinja essa superfície, durante as chuvas.

A ocorrência de cada um desses tipos de manancial está diretamente associada à circulação da água no planeta, conhecida como ciclo hidrológico.

CICLO HIDROLÓGICO

“Ciclo hidrológico” é o nome dado à dinâmica permanente da água no planeta. Descreve as etapas ou os mecanismos (formas) de transferência ou movimentação da água em seus diversos estados (líquido, sólido ou gasoso), quais sejam, a precipitação, a evapotranspiração, a infiltração e o escoamento superficial (figura 2.1).

As diferentes etapas do ciclo hidrológico podem ser assim caracterizadas:

Precipitação

Por precipitação atmosférica entende-se o conjunto de águas originadas do vapor d'água atmosférico, que cai em estado líquido (chuva, neblina, orvalho) ou sólido (granizo, geada, neve) sobre a superfície da Terra.

Evapotranspiração

A evapotranspiração inclui a água retirada de uma região pelos seguintes mecanismos:

- **evaporação:** passagem da água superficial do estado líquido para o gasoso, fenômeno que depende diretamente da temperatura e da umidade relativa do ar;
- **transpiração:** processo pelo qual as plantas retiram a umidade do solo, por meio de suas raízes, e liberam-na no ar sob a forma de vapor, por meio dos estômatos existentes nas folhas.

Infiltração

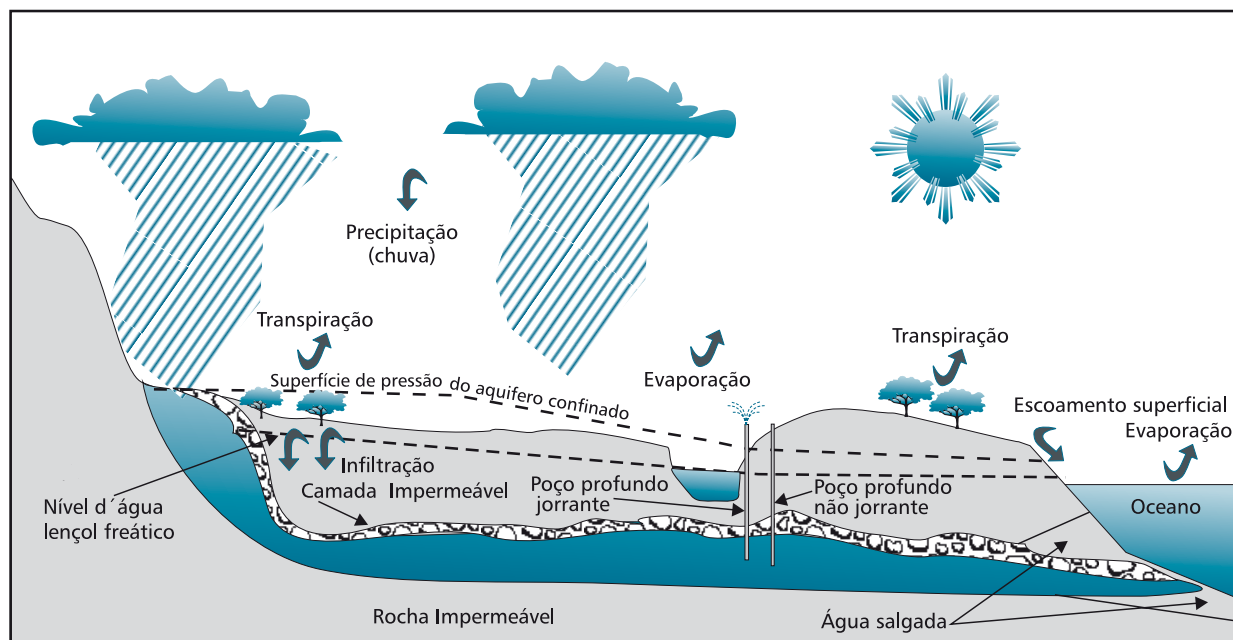
A infiltração é o processo pelo qual parte da água precipitada sobre a superfície do planeta atinge seu subsolo, formando os lençóis de água subterrânea. Esses lençóis de água podem ser de dois tipos (OLIVEIRA, 1976):

- **lençol freático:** aquele em que a água se encontra livre, com sua superfície sob a ação da pressão atmosférica. É típico das águas que comumente ocorrem em poços freáticos e em nascentes que fluem com a pressão da atmosfera;
- **lençol confinado:** aquele em que a água se encontra confinada por camadas impermeáveis do subsolo, sujeitas, portanto, a pressão superior à pressão atmosférica.

Escoamento superficial

O escoamento superficial é o deslocamento sobre o terreno, por efeito da ação da gravidade, da parcela da água precipitada da atmosfera que não se infiltra no solo ou que não retorna diretamente à atmosfera pela evapotranspiração. As formas mais conhecidas de escoamento superficial são as enxurradas, os córregos, os ribeirões e os rios.

Figura 2.1 – Ciclo hidrológico



DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO PLANETA

Dos 1.386 quatrilhões de toneladas de água existentes no planeta, apenas 2,5% são água doce. Dessa já reduzida parcela, tão-somente 0,3% corresponde à água existente em rios e em lagos (REBOUÇAS, 1999).

Logo, da pequena parcela de água doce disponível, uma proporção de apenas 0,3% apresenta-se como água superficial, de utilização mais fácil pelo ser humano. Tal realidade ressalta a grande importância da preservação da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos disponíveis no planeta, em especial das águas superficiais, que a cada dia se tornam relativamente mais escassos em função do acelerado crescimento populacional, da má utilização dos recursos naturais pelo homem e da poluição.

Ainda que o total da água que participa do ciclo hidrológico não se altere, por se tratar de um ciclo fechado, podem-se modificar a sua distribuição e a sua qualidade nos principais ambientes que retêm a água, ainda que transitoriamente (atmosfera, oceanos e continentes). Ou seja, mesmo não se alterando o total de chuva, se cuidados não forem tomados para a sua permanência em boas condições de uso no local de interesse, a água pode ficar cada vez mais inacessível àqueles que dela necessitam.

Nesse sentido, a vegetação é de fundamental importância para a retenção da água nos continentes, pois dela depende a maior ou a menor quantidade da água

que se infiltra no solo, parcela esta que garante as vazões das nascentes e dos poços, além de ser a grande responsável pela perenidade dos corpos de água superficial. Portanto, o desmatamento predatório pode comprometer seriamente os recursos hídricos numa dada região, podendo levar até mesmo à sua exaustão e à consequente desertificação de vastas áreas, como já ocorre em diversas regiões do mundo e do próprio Brasil.

A qualidade da água é um atributo dinâmico no tempo e no espaço e bastante susceptível às ações antrópicas. Normalmente, os recursos hídricos prestam-se a múltiplos usos, tais como: a geração de energia, a irrigação, a criação de animais, o abastecimento para consumo humano e fins industriais, a recreação e a pesca, a composição e a harmonia paisagística e até mesmo a recepção de efluentes domésticos e industriais, desde que de forma controlada. A cada uso corresponde uma certa demanda de água, em quantidade e qualidade necessárias e suficientes. Entretanto, a concentração demográfica, a expansão industrial, as atividades agropecuárias, enfim, o uso e a ocupação do solo na bacia hidrográfica de um manancial podem introduzir na água substâncias em “excesso” ou indesejáveis, comprometendo diversos usos. De forma análoga, a captação de água para suprir uma demanda específica pode comprometer a oferta de água para outros fins. Portanto, o desequilíbrio entre a oferta e a demanda de água, ou entre as funções de um recurso hídrico como manancial de abastecimento e corpo receptor, podem fazer dos *usos múltiplos usos conflitantes*.

Portanto, a preservação da vegetação, o uso e a ocupação adequados do solo nas bacias contribuintes influenciam diretamente na preservação da qualidade das águas dos mananciais.

A tênue linha que separa as possibilidades múltiplas do conflito requer racionalidade e hierarquia (prioridades)¹ no uso da água, o que inclui necessariamente disciplina de uso, preservação da qualidade da água, controle de perdas e de desperdícios e reciclagem. O conflito demanda arbitragem, que, no caso do uso da água, deve ser exercida pela própria sociedade, amparada por um arcabouço legislativo-institucional que possibilite a gestão democrática dos recursos hídricos.

Neste sentido, muito já se avançou no país, culminando na promulgação da Lei Nacional de Recursos Hídricos, a qual incorpora dispositivos tais como: o da gestão por bacias hidrográficas, exercida pelos Comitês de Bacias (o “Parlamento” das águas) e as Agências da Água (órgãos técnicos executores); o do usuário-pagador, exercido por meio do mecanismo de outorga da água (direito de uso); e o do poluidor-pagador.

No que diz respeito à preservação da qualidade da água e do controle de poluição, também muito se avançou, ao menos no que tange aos aspectos normativos e fiscalizadores, haja vista o moderno aparato de licenciamento ambiental e controle de emissão de efluentes existentes na legislação federal e de vários estados.

¹ A legislação brasileira sempre foi muito clara, desde o Código das Águas da década de 1930 até a atual Lei Nacional de Recursos Hídricos: em situações de escassez, os usos prioritários da água são o abastecimento para consumo humano e a dessedentação de animais.

Entretanto, em que pesem os avanços, há que se reconhecer que da intenção ao gesto e à ação o caminho a ser percorrido ainda é longo.

IMPORTÂNCIA DA ESCOLHA CORRETA E DA PROTEÇÃO DOS MANANCIAIS

O manancial é uma das partes mais importantes do abastecimento de água, pois de sua escolha criteriosa depende o sucesso das demais unidades do sistema, no que se refere tanto à quantidade como à qualidade da água a ser disponibilizada à população.

O manancial é a primeira e fundamental garantia da quantidade e da qualidade da água em serviço de abastecimento de água.

Deve ser lembrado também que, se a água captada estiver poluída por determinadas substâncias, não será possível torná-la potável pelos processos de tratamento de água usualmente utilizados. Os fatos a seguir descritos esclarecem essa afirmação.

O chamado tratamento convencional da água (composto por coagulação, floculação, decantação e filtração), mesmo complementado por oxidação, não é capaz de remover satisfatoriamente substâncias como: antimônio, bário, cromo (+6), cianeto, fluoreto, chumbo, mercúrio (inorgânico), níquel, nitrato, nitrito, selênio (+6), tálio, compostos orgânicos sintéticos, pesticidas e herbicidas, rádio, urânio, cloreto, sulfato e zinco (AWWA, 1999).

Tal problema chega a assumir uma proporção tão crítica que em países desenvolvidos têm se priorizado estratégias em que um município de maior porte suporta financeiramente regiões vizinhas, indústrias e produtores agrícolas para proteger as bacias hidrográficas. No cômputo final, os custos inerentes a tal apoio podem ser muito menores do que tentar transformar água poluída em água potável. Relatos de 1999 dão conta de que a cidade de Nova York planejava despendar US\$ 1,4 bilhão para proteger seus mananciais, até mesmo adquirindo grandes extensões de terra nas bacias, o que evitaria um gasto de US\$ 3 a 8 bilhões para a implantação de um novo sistema de tratamento de água (WORLDWATCH INSTITUTE, 1999).

A Declaração Universal dos Direitos da Água, promulgada pela ONU em 1992, em seu artigo 3º lembra que:

“Os mecanismos naturais de transformação da água bruta em água potável são lentos, frágeis e muito limitados. Assim sendo, a água deve ser manipulada com racionalidade, precaução e parcimônia.”

Todos esses importantes alertas apontam numa só direção:

A imperiosa necessidade da proteção dos mananciais utilizados pelas populações humanas e demais seres vivos

Por isso é que, em diversos países, as bacias hidrográficas de mananciais são cuidadas e declaradas como verdadeiros santuários ambientais.

PRÁTICA NÃO RECOMENDADA	PRÁTICA RECOMENDADA
Muitas vezes, o profissional de abastecimento de água, ao escolher o manancial, pensa apenas na suficiência de sua vazão (quantidade de água) e na facilidade de adução de suas águas até a comunidade.	Ao escolher um manancial, o profissional de abastecimento de água deve considerar aspectos relacionados à quantidade de água, à facilidade de adução e à proteção do manancial (qualidade da água), lembrando-se de que, geralmente, quanto maior a vazão do manancial, tanto maior é sua bacia hidrográfica, o que vale dizer, tanto mais difícil será garantir a proteção da respectiva bacia hidrográfica e, por conseguinte, a qualidade da água a ser captada.

Assim sendo, todo o esforço deve ser feito pelos prestadores dos serviços de abastecimento de água, juntamente com as populações abastecidas, para que seja garantido – inclusive, mas não apenas, pela atuação dos órgãos ambientais responsáveis – que as atividades desenvolvidas na bacia a montante das captações de água não comprometam, mas favoreçam a quantidade e a qualidade da água. A seguir, apontam-se algumas providências a serem adotadas para atingir esses objetivos:

MEDIDAS DE ORDEM GERAL PARA PROTEÇÃO DE MANANCIAIS

Ter o adequado conhecimento da bacia hidrográfica a montante da captação de água, incluindo fatores físicos, bióticos e socioeconômicos; aspectos relacionados à geologia, ao relevo, ao solo, à vegetação, à fauna e às atividades humanas aí desenvolvidas. Para tanto, é essencial que se realizem periodicamente diagnósticos de uso e ocupação do solo e inspeções sanitárias nas bacias contribuintes aos mananciais.

Proceder ao enquadramento dos mananciais, nos termos e no “espírito” da legislação pertinente (Resolução Conama nº 257/2005).

“ENQUADRAMENTO: estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser alcançado ou mantido em um segmento de corpo d’água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo.”

Promover a gestão dos recursos hídricos, nos termos da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, incorporando princípios e instrumentos, tais como:

- a gestão por bacia hidrográfica;
- a constituição de Comitês de Bacias;
- a elaboração de Planos Diretores de Recursos Hídricos;
- a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- a participação comunitária e o controle social.

Se possível deverão ser criados e implementados, no âmbito local, dispositivos legais, tais como:

- leis de proteção de mananciais;
- zoneamento ambiental;
- leis de uso e ocupação do solo;
- criação de Áreas de Proteção Ambiental.

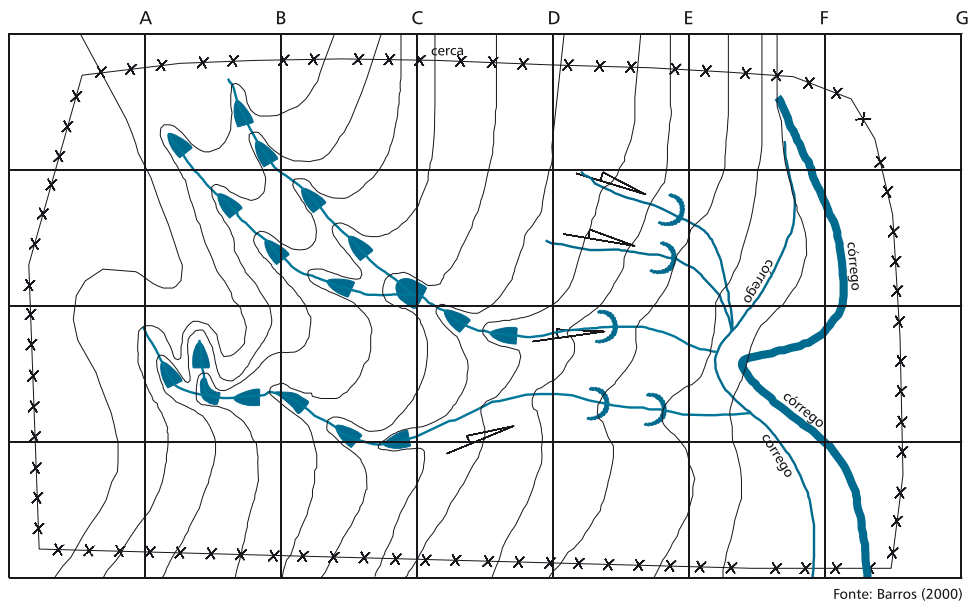
Além dessas medidas de ordem geral, destacam-se as seguintes iniciativas práticas para garantir a qualidade e a quantidade de água necessária ao manancial:

- 1) Conservação ou recomposição da vegetação das áreas de recarga do lençol subterrâneo, áreas estas geralmente situadas nas chapadas ou nos topos dos morros.
- 2) Manutenção da vegetação em encostas de morros, além da implantação de dispositivos que minimizem as enxurradas e favoreçam a infiltração da água de chuva, como, por exemplo, pequenas bacias de captação de enxurradas em encostas de morros.

Figura 2.2 – Terraços de infiltração em curva de nível

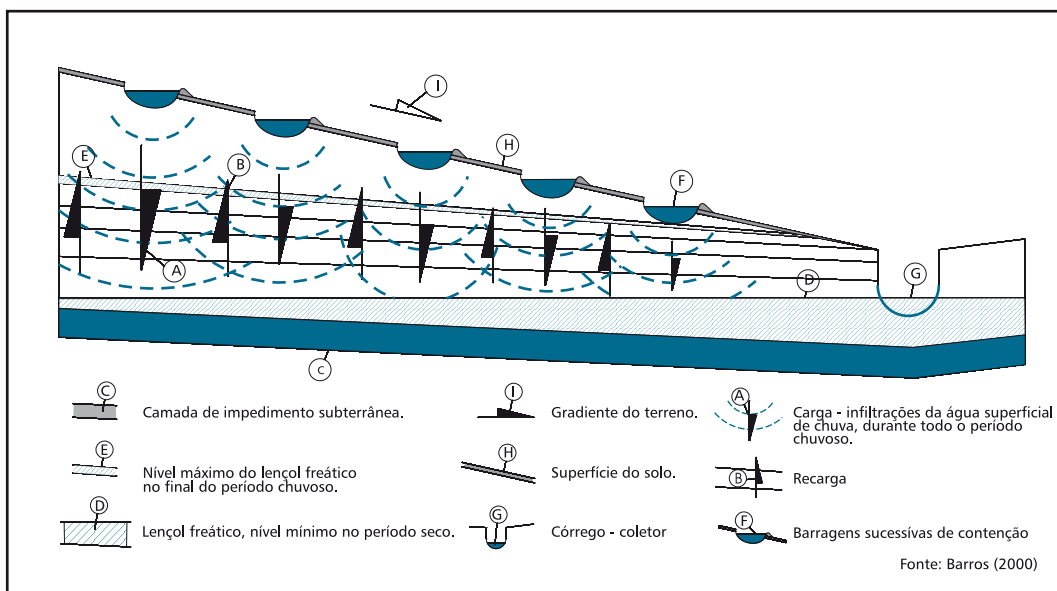


Figura 2.3 – Pequenas bacias de infiltração de enxurradas em encosta de morro (planta esquemática)



Fonte: Barros (2000)

Figura 2.4 – Pequenas bacias de infiltração de enxurradas em encosta de morro (perfil esquemático)



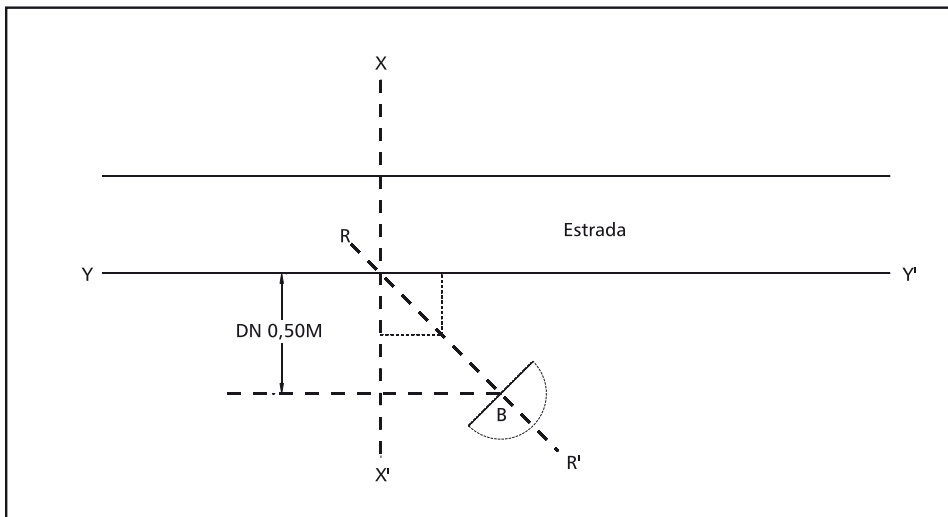
- 3) Proteção das áreas de nascentes de água.
- 4) Conservação ou replantio, com vegetação nativa, das matas ciliares, que se situam ao longo dos cursos de água e são importantes para minimizar o carreamento de solo e de poluentes às coleções de água superficial.
- 5) Utilização e manejo corretos de áreas de pasto, a fim de evitar a degradação da vegetação e o endurecimento do solo por excessivo pisoteamento de animais (o que dificulta a infiltração da água de chuva).
- 6) Utilização e manejo adequados do solo nas culturas agrícolas visando a prevenir a erosão e o carreamento de sólidos para os cursos de água, por meio de técnicas apropriadas, como plantio em curvas de nível e previsão de faixas de retenção vegetativa, cordões de contorno e culturas de cobertura, além do uso criterioso de maquinário agrícola, evitando a impermeabilização do solo.
- 7) Desvio de enxurradas que ocorrem em estradas de terra para bacias de infiltração a serem implantadas lateralmente às estradas vicinais, procedimento que evita o carreamento de solo aos cursos de água e favorece a infiltração da água de chuva no subsolo (figuras 2.5 e 2.6).

Figura 2.5 – Pequena bacia de infiltração de enxurrada proveniente de estrada de terra (observar a lombada feita na estrada para o desvio da enxurrada)



FONTE: SAAE – Viçosa / CBCN

Figura 2.6 – Localização de pequena bacia de infiltração de água de enxurrada em estrada de terra (planta)



- 8) Utilização correta de agrotóxicos e de fertilizantes para evitar a contaminação de aquíferos e das coleções de água de superfície.
- 9) Destinação adequada dos esgotos e dos resíduos sólidos (“lixo”) originados em residências, criatórios de animais e atividades fabris, com a mesma finalidade do tópico anterior, valorizando técnicas de minimização, reutilização e reciclagem de resíduos, assim como o reuso da água em aplicações que não representem riscos à saúde humana e animal.
- 10) Estímulo à utilização de sistemas de irrigação mais eficientes no consumo de água e de energia pelos agricultores.
- 11) Incentivo a atividades econômicas que não agredam o meio ambiente, tais como agricultura orgânica e turismo ecológico.
- 12) Oferecimento de condições à participação democrática, empreendedora e organizada dos cidadãos, desenvolvendo trabalhos em parceria com instituições e comunidades.

Por fim, vale ressaltar que dois dos principais problemas “emergentes” de qualidade da água para consumo humano guardam relação direta com o uso e a ocupação do solo na bacia de captação: a transmissão de protozooses (ex.: giardíase e criptosporidiose) e o desenvolvimento de cianobactérias.

Importância da atenção ao manancial

Giardíase e criptosporidiose são zoonoses, sendo as atividades agropecuárias e os esgotos sanitários fontes inquestionáveis de contaminação de mananciais (ROSE et al., 1998); cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* vêm sendo detectados em mananciais de nosso país em densidades elevadas, superiores ao registrado na literatura estrangeira (BASTOS et al., 2001). Cianobactérias encontram *habitat* propício ao seu desenvolvimento em ambientes eutrofizados e constituem sérios problemas de saúde pública, ao, com a lise das células, liberarem toxinas letais ao seres humanos (CHORUS; BARTRAM, 1999).

Em que pesem os avanços analítico-metodológicos na pesquisa de protozoários e de cianotoxinas em amostras de água, seu emprego rotineiro ainda é uma possibilidade distante, quer pelas limitações pendentes dos próprios métodos, quer pelos custos envolvidos. Em extensão considerável, a “emergência” dessas duas questões colocam em xeque os paradigmas tradicionais de avaliação da qualidade da água e, em relação aos protozoários, alguns autores sugerem que tanto ou mais importante que a pesquisa acerca deles são medidas tais como: inspeção sanitária das fontes de abastecimento e respectivas bacias de captação (uso e ocupação do solo, potenciais fontes de contaminação, etc.); programas de proteção de bacias e fontes de abastecimento (CRAUN et al., 1998; ALLEN et al., 2000).

Em programas de inspeção de mananciais, especial atenção deve ser dirigida à existência de focos de poluição pontuais ou difusos, tais como: ocupação residencial na bacia de captação, atividades agropecuárias e industriais. Assumem particular importância: (i) os focos de poluição associados à carga de nutrientes (ex.: atividades agrícolas), que concorrem para a eutrofização de mananciais e as devidas consequências para o tratamento da água e para a saúde humana em razão da proliferação de algas e cianobactérias; (ii) as atividades pecuárias como fonte de contaminação de mananciais com organismos patogênicos com potencial zoonótico, em especial os protozoários, em função da reconhecida maior dificuldade de remoção por meio de processos convencionais de tratamento de água.

A mesma abordagem aplica-se a substâncias de difícil remoção por meio de processos convencionais de tratamento de água. Assim, a atenção aos mananciais deve também considerar as atividades agrícolas, industriais e extrativistas (ex.: garimpo) como fontes de contaminação de substâncias químicas refratárias aos processos de tratamento convencional da água, tais como agrotóxicos e metais pesados.

Assim torna-se nítida e justificável a visão sistêmica pretendida na Portaria MS nº 518/2004, dando conta da dinâmica da água do manancial ao consumo:

Portaria MS nº 518/2004 – atenção ao manancial

Art. 9º Ao(s) responsável(is) pela operação de sistema de abastecimento de água incumbe:

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;

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.

2.2 CAPTAÇÃO

Costuma-se afirmar, com muita propriedade, que:

O tratamento da água começa na sua captação.

Além da relação com a qualidade da água, a captação também tem uma função crucial no abastecimento quanto à regularidade do fornecimento da água. As estruturas de captação, sobretudo em mananciais de superfície, em geral se localizam junto – em alguns casos até sobre – aos cursos de água, que, no regime climático brasileiro, quase sempre sofrem grandes variações (de vazão, de velocidade, de nível) ao longo do ano. Por essa razão, é freqüente ocorrerem acidentes com tais estruturas, provocando colapso no abastecimento, já que o reparo dos acidentes pode ser complexo e demorado. Logo:

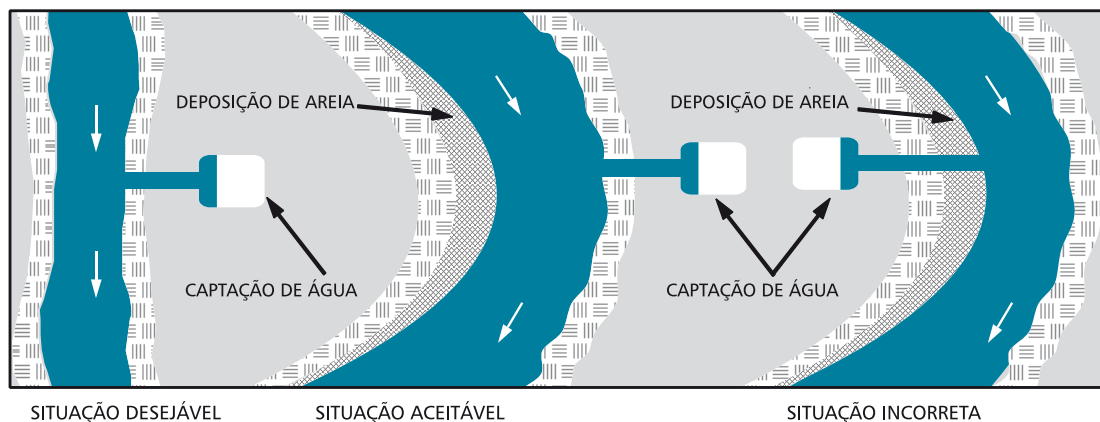
A captação tem função crucial no abastecimento, em vista dos riscos de acidente que enfrenta e, em consequência, dos possíveis colapsos no fornecimento de água.

Por isso, toda atenção deve ser dada à escolha correta, à manutenção e à operação adequadas do local da captação de água. Para tanto, sugerem-se as seguintes medidas:

CAPTAÇÃO EM CURSOS D'ÁGUA (CÓRREGOS, RIBEIRÕES E RIOS)

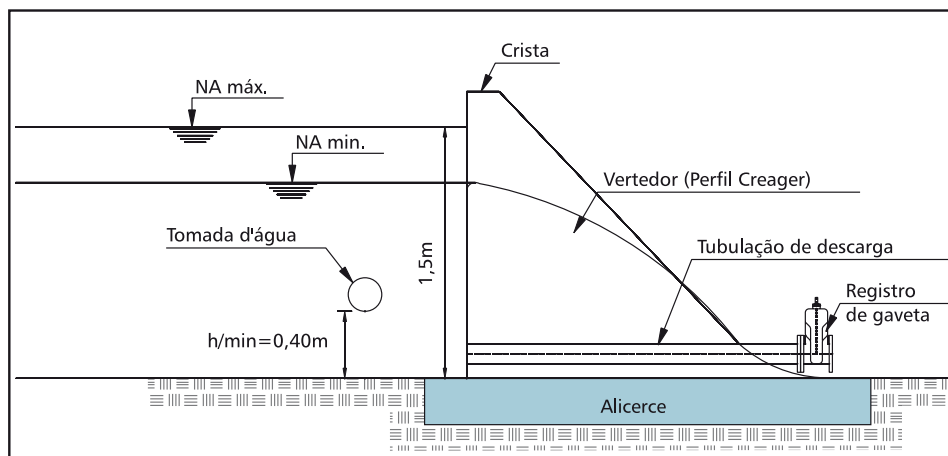
- 1) Localizar a captação em trechos retilíneos do curso d'água. Quando isto não for possível, deve-se evitar a localização da captação na parte convexa das curvas, por favorecerem o depósito de material sólido, preferindo-se o lado côncavo, cujas margens devem ser protegidas contra a erosão favorecida pela maior velocidade da água nesses trechos (figura 2.7).
- 2) Não permitir, sobretudo em mananciais integrantes de pequenas ou de microbacias hidrográficas, a instalação de indústrias, clubes, plantações ou outras formas de exploração que requeiram o uso intensivo de agrotóxicos e de fertilizantes, como também o lançamento de esgotos domésticos e industriais ou o funcionamento de estações de tratamento de esgotos, a montante e nas proximidades da tomada de água.

Figura 2.7 – Localização, em planta, de captação em curso d'água



- 3) Implantar, quando necessários, dispositivos que impeçam o assoreamento ou o carreamento de solo para o local da tomada de água (tais como vegetação e bacias de captação de enxurradas em áreas vizinhas e a montante).
- 4) Existindo barragem de nível, com soleira para garantir nível mínimo de água, esta deve ser dotada de descarga de fundo, que garanta o fluxo residual de água para jusante e também a limpeza do reservatório de água, sobretudo para remoção do material sólido aí naturalmente decantado (figura 2.8).
- 5) Para favorecer a captação de água de melhor qualidade, a tubulação de tomada deve ser colocada a uma distância de segurança acima do fundo do curso d'água e abaixo do seu nível mínimo de água.
- 6) Devem ser colocadas grades e telas em tomadas de água instaladas à superfície da água.

Figura 2.8 – Posicionamento da descarga de fundo e da tomada de água



- 7) Em cursos d'água com transporte intenso de sólidos, deve haver dispositivo para retenção de areia (caixa de areia).
- 8) Para os casos de mananciais com grandes lâminas de água, deve ser adotada, no mínimo, uma tubulação de tomada para cada 1,50 m de altura de água.
- 9) A velocidade da água nos condutos livres ou forçados da tomada de água deve ser adequada (por exemplo, não ser inferior a 0,60 m/s), para evitar a deposição de material sólido.
- 10) As tubulações de tomada de água devem ser ancoradas e protegidas contra a ação das águas superficiais.
- 11) Os passadiços devem ter largura mínima necessária para a adequada manutenção (por exemplo, 0,60 m) e possuir, pelo menos, um corrimão.

CAPTAÇÃO EM LAGOS E EM REPRESAS

- 1) Os responsáveis pelo abastecimento de água devem providenciar uma zona de proteção à tomada de água, com a interdição, para outros usos, de uma zona de segurança com raio mínimo a seu redor (por exemplo, 500 m); e assegurar a vigilância sistemática para que se cumpra a legislação, que determina como área de preservação permanente as margens de contorno das lagoas ou dos reservatórios naturais ou artificiais, com as seguintes larguras: 100 m em áreas rurais (exceto lagos e represas com até 20 ha de superfície, cuja faixa marginal de proteção é de 50 m); 30 m em áreas urbanas e 100 m para represas hidrelétricas.
- 2) Deve ser mantida permanente vigilância sobre as atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica a montante do lago ou da represa, a fim de impedir o desenvolvimento daquelas que possam prejudicar a quantidade e a qualidade da água afluyente, acionando, para tanto, as entidades ambientais do Executivo, do Ministério Público e do Judiciário responsáveis por esse tipo de fiscalização, além de mobilizar a comunidade para pressionar os responsáveis pela degradação da água.
- 3) Nessa mesma bacia hidrográfica, devem ser desenvolvidas e incentivadas medidas de conservação e de recomposição da vegetação, assim como o correto uso do solo, para favorecer a infiltração da água de chuva e evitar erosões e a perda de solos pelas enxurradas.
- 4) Quando necessários, devem ser implantados dispositivos que impeçam o assoreamento ou o carreamento de solo para o local da tomada de água (tais como vegetação e bacias de captação de enxurradas em áreas vizinhas e a montante).
- 5) Para lidar com eventuais problemas de floração de algas, prováveis de ocorrer em ambientes lênticos, prever tomadas de água a diferentes profundidades.

CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DE LENÇOL FREÁTICO (POÇOS RASOS, DRENOS, NASCENTES, ETC.)

- 1) Manter a área de captação devidamente cercada (garantindo uma distância mínima das estruturas de, por exemplo, 15 m), limpa e com aparência agradável (sempre que possível gramada e arborizada).
- 2) Posicionar os dispositivos de captação em cota superior à da localização de possíveis fontes de poluição, garantindo também afastamentos horizontais mínimos em relação a essas mesmas possíveis fontes de poluição, observado o tipo de solo, conforme referências a seguir:
 - de fossas secas, tanques sépticos, linhas de esgoto: 15 m;
 - de depósitos de lixo e de estrumeiras: 15 m;
 - de poços absorventes e de linhas de irrigação subsuperficial de esgotos: 30 m;
 - de estábulos ou currais: 30 m;
 - de fossas negras (fossas cujo fundo atinge o lençol freático): 45 m.
- 3) Proteger as tomadas de água em nascentes ou fontes com a utilização de caixas de tomada de água cobertas, fechadas e dotadas de tubulações de descarga de fundo e de extravasão (figura 2.9).
- 4) Dotar os poços freáticos e os poços de visita ou de bombeamento das galerias de infiltração (drenos de captação de água) de tampas seladas, com caimento para fora dos poços (figura 2.10).
- 5) Construir paredes impermeabilizadas até a profundidade de três metros abaixo da superfície do solo, para os poços rasos e os poços das galerias de infiltração (figura 2.10).
- 6) Posicionar as coberturas dos poços rasos, das caixas ou dos poços de tomada de água de nascentes ou de galerias de infiltração em cota altimétrica superior à cota do terreno e à cota de inundação da área correspondente (pelo menos 0,30 m acima dessas cotas) (figura 2.10).

Figura 2.9 – Caixa de tomada para captação de água de fonte, com dispositivo de proteção

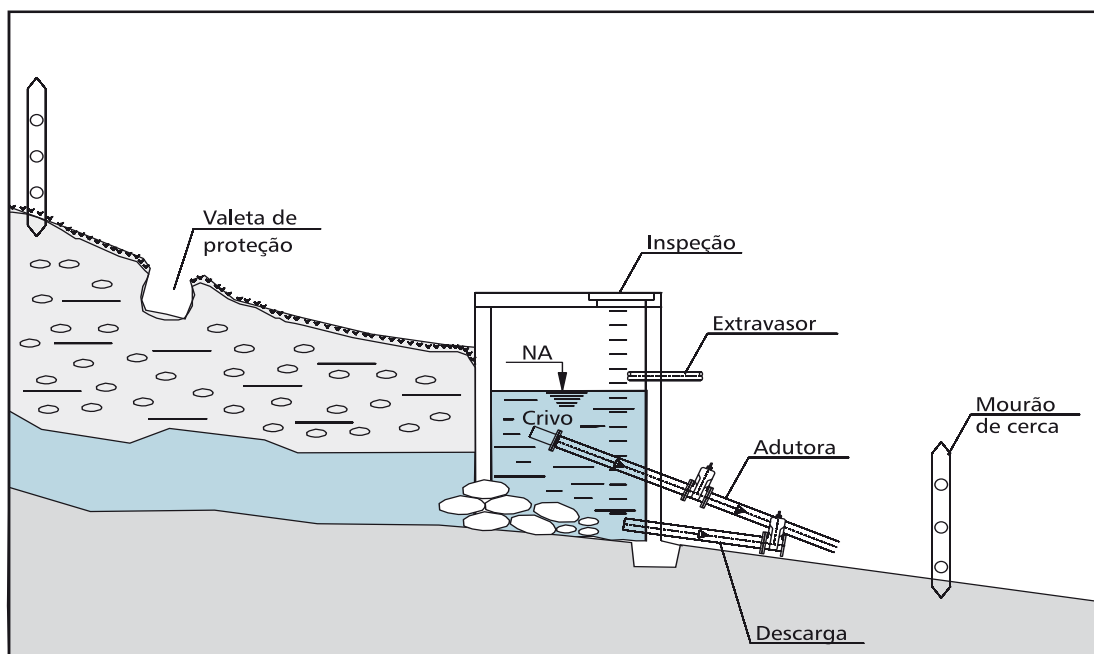
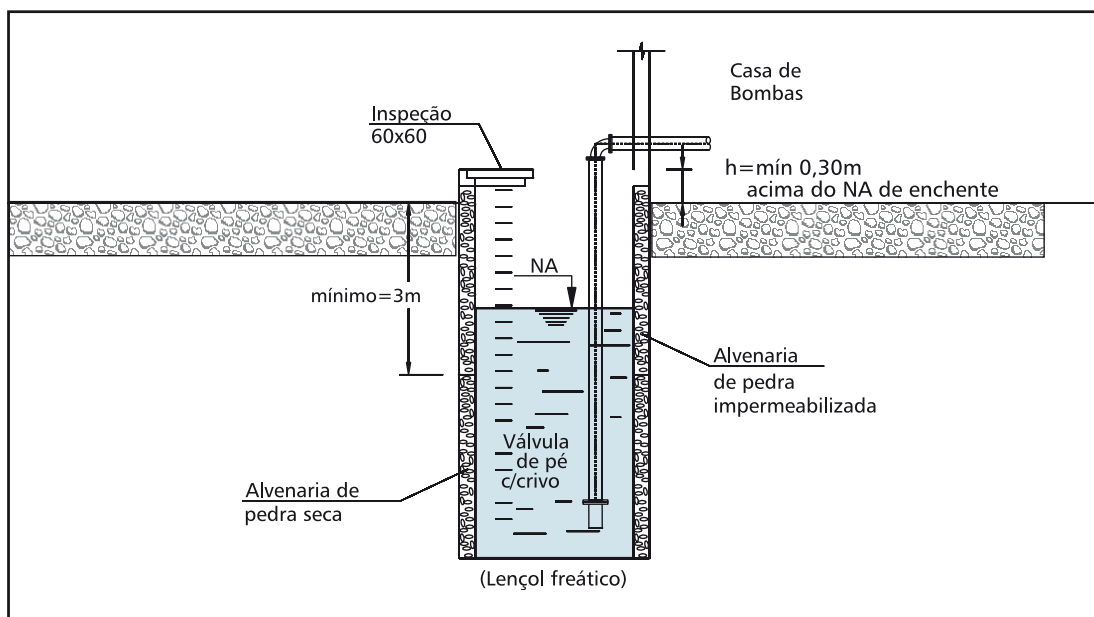


Figura 2.10 – Poço raso, revestido com alvenaria de pedra, incluindo medidas de proteção



- 7) Construir e manter valetas de desvio de águas superficiais para as áreas onde se situam os poços rasos ou as caixas de tomada de nascentes (figuras 2.9 e 2.10).
- 8) Dotar os poços freáticos e as galerias de infiltração de dispositivos adequados e seguros para a extração de água, inclusive do ponto de vista sanitário (figuras 2.9 e 2.10).

CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DE LENÇOL CONFINADO (POÇOS JORRANTES OU NÃO JORRANTES)

- 1) A captação com poço(s) deve garantir vazão constante e contínua sem prejuízo da qualidade da água.
- 2) O funcionamento de cada poço deve ser adequadamente monitorado, como parcela integrante dos recursos hídricos regionais.
- 3) Em resposta a áreas dotadas de mais de um poço, os ensaios de vazão devem levar em conta a interferência entre os poços.
- 4) A área onde se localizam os poços deve ser dotada de perímetro de proteção sanitária com condições de segurança (cerca e portão) e aspecto agradável (gramado, pintura de moirões, etc.), além de disponibilidade de espaço e de facilidades, na superfície, para a instalação e a manutenção dos equipamentos e das instalações de bombeamento.
- 5) Para prevenir riscos de contaminação ou mineralização, o poço deve ser cimentado em toda a extensão necessária ao seu isolamento (figuras 2.11 e 2.12).
- 6) A profundidade de instalação da bomba deve ser definida com base na posição prevista para o nível dinâmico relativo à vazão explotada e no tipo de equipamento de extração de água.
- 7) A tubulação na saída do poço deve ser dotada de válvulas que evitem o retorno da água (válvula de retenção) e possibilitem a interrupção ou o controle do fluxo de água (válvula de parada); essa tubulação deve ser provida também de ventosa e de derivação aberta para a atmosfera e dotada de válvula de parada, com a finalidade de permitir operações de medição de vazão, limpeza do poço e descarga da adutora (figura 2.13).
- 8) Os poços devem ser sempre desinfetados após sua construção e após a execução de serviços de desenvolvimento, de limpeza e de manutenção (inclusive dos equipamentos de extração de água).
- 9) Os poços abandonados devem ser adequadamente vedados, a fim de impedir a poluição do aquífero ao qual se encontram conectados.

Figura 2.11 – Proteção sanitária em revestimento de poço profundo perfurado em rocha fendilhada

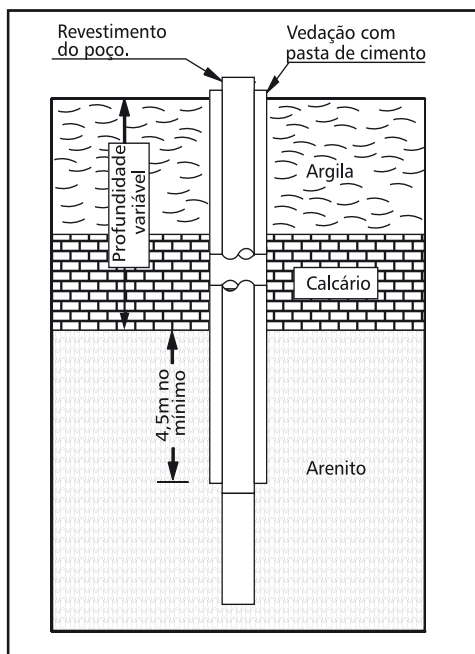


Figura 2.12 – Proteção sanitária em revestimento de poço profundo perfurado em solos argilosos

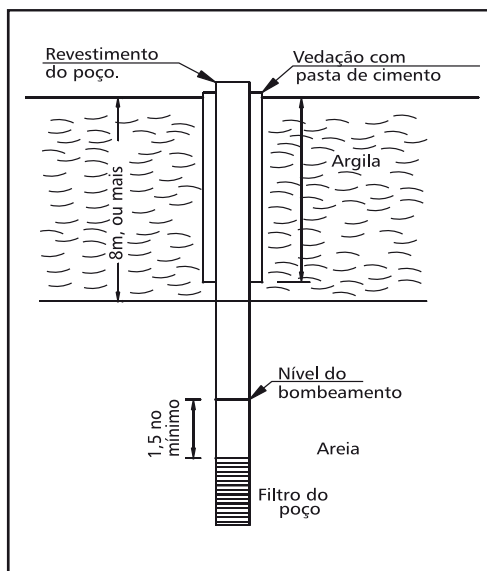
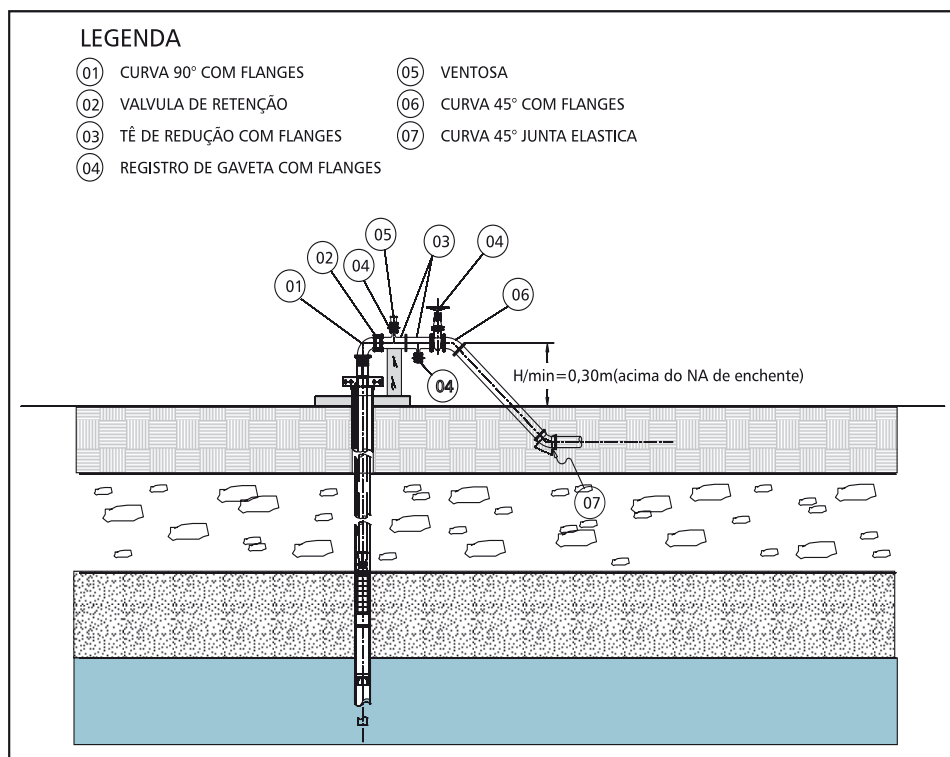


Figura 2.13 – Instalação de poço profundo equipada com bomba submersa, incluindo medidas de proteção



CAPTAÇÃO DE ÁGUAS DE CHUVA

- 1) Manter os telhados e as calhas sempre limpos antes de cada estação de chuva.
- 2) Dotar o reservatório que acumula a água da chuva de dispositivos que propiciem o desvio das águas das primeiras chuvas e as das chuvas fracas por aproximadamente 5 a 10 minutos ou até que estejam limpas.
- 3) Dotar o reservatório de dispositivos de extravasão, limpeza de fundo e ventilação devidamente protegidos com telas, para evitar o eventual acesso de animais e de impurezas ao seu interior.
- 4) Construir o reservatório com tampas seladas e removíveis.
- 5) Dotar os reservatórios de canalizações para extração da água, tomando cuidado para que a tomada de água seja feita com crivo ou tela de proteção para evitar a entrada de impurezas no seu interior.
- 6) Deve-se cuidar para evitar condições propícias ao criadouro de vetores que procriem na água, a exemplo de mosquitos transmissores de dengue.
- 7) Desinfetar o reservatório antes do uso e zelar para a não-contaminação dos dispositivos de extração de água.

MEDIDAS DE CARÁTER GERAL

- 1) Deve-se providenciar a outorga do direito de uso da água.
- 2) A área de captação deve ser devidamente cercada, limpa, gramada, arborizada e mantida com aparência agradável (figura 2.14).
- 3) Deve-se cuidar da adequada e permanente conservação das suas vias de acesso.
- 4) Deve-se ter à disposição, em local protegido e de fácil e rápido acesso, ferramentas e materiais que permitam a eficiente operação, manutenção e execução de reparos na tomada de água.
- 5) Devem-se limpar e desinfetar as instalações de tomada de água após qualquer atividade de construção, de reparos ou manutenção.

Figura 2.14 – Ilustração de boa manutenção da área de captação



2.3 TRANSPORTE (ADUÇÃO)

Basicamente, o transporte da água, seja bruta ou tratada, ocorre por meio de combinações entre *adutoras e tubulações* ou *canais e estações elevatórias*.

Para a garantia da qualidade da água em estações elevatórias, devem ser tomados os seguintes cuidados operacionais:

- 1) No escorvamento de bombas, utilizar água de qualidade compatível com aquela que estiver sendo recalçada.
- 2) Os poços de sucção devem ter sua cobertura acima do nível do terreno e, além disso, deve haver medidas de proteção para evitar a infiltração de água superficial.

- 3) Dotar as tubulações de sucção de crivos que impeçam a entrada de sólidos grosseiros.
- 4) Manter sempre cobertos os poços de sucção das elevatórias de água tratada, bem como dotá-los de telas, extravasores e ventilações.
- 5) Assegurar a adequada impermeabilização das paredes dos poços de sucção das elevatórias de água tratada.
- 6) Para as elevatórias que exijam a presença permanente de operadores, dotá-las de instalações sanitárias adequadas ao uso desse pessoal, inclusive no que se refere à disposição de esgotos.
- 7) Lavar e desinfetar periodicamente os poços de sucção, com especial atenção para aqueles de água tratada.
- 8) Limpar e desinfetar as tubulações, as bombas e os poços de sucção das elevatórias de água tratada após a execução de serviços de construção, de reparos ou de manutenção.
- 9) Manter a área onde se situa a elevatória adequadamente cercada, limpa e com aparência agradável (sempre que possível gramada e arborizada).

Nas adutoras, os cuidados operacionais mínimos a serem tomados para a garantia da qualidade da água aduzida são os seguintes:

- 1) Evitar que as adutoras de água tratada se esvaziem, visto que essa situação pode favorecer a contaminação por água poluída.
- 2) Instalar e manter adequadamente, nas adutoras, válvulas de descarga e ventosas que possibilitem sua conservação e limpeza e evitem a ocorrência de pressão negativa no interior das tubulações, situação que pode favorecer a sucção de águas de qualidade inferior.
- 3) Dar a necessária manutenção às estruturas de sustentação das tubulações, à vegetação destinada a evitar erosões nos terrenos e às valetas de desvio de enxurradas.
- 4) Ter especial atenção às travessias, que podem se constituir em locais propícios para a retirada clandestina de água, com conseqüente contaminação da água transportada pela adutora, bem como acidentes com colapso do trecho.
- 5) Evitar o assentamento de ocupações humanas e de construções nas faixas de terreno sob as quais estejam implantadas as tubulações das adutoras.

2.4 TRATAMENTO

O tratamento da água para consumo humano tem por finalidade primeira torná-la potável. Em síntese, procura-se tornar a água atrativa e segura para o consumo. Portanto, os principais objetivos do tratamento são de ordem sanitária (remoção e inativação de organismos patogênicos e substâncias químicas que representem riscos à saúde) e estética/organoléptica (por exemplo: remoção de turbidez, cor, gosto e odor).

Em uma abordagem mais ampla, o tratamento da água para consumo humano tem por objetivos:

- Atender ao padrão de potabilidade exigido pelo Ministério da Saúde:
 - prevenindo a veiculação de doenças de origem microbiológica ou química;
 - estimulando a aceitação para consumo.
- Prevenir a cárie dentária, por meio da fluoretação.
- Proteger o sistema de abastecimento dos efeitos da corrosão e da deposição/incrustação.

Considerando esses objetivos, as estações de tratamento geralmente contemplam a combinação das seguintes etapas:

- clarificação, com o objetivo de remover impurezas por meio da combinação dos seguintes processos unitários: coagulação, floculação, sedimentação, flotação e filtração;
- desinfecção, para a inativação de organismos patogênicos;
- fluoretação, para a prevenção da cárie dentária;
- estabilização da água, destinada ao controle da sua corrosividade ou de sua capacidade de formar depósitos excessivos de substâncias insolúveis na água.

A potabilização da água pode requerer a adoção de processos especiais em seu tratamento, destinados à remoção de contaminantes, como substâncias químicas inorgânicas e orgânicas, inclusive metais pesados e agrotóxicos. A maioria desses processos exige operação especializada e muitas vezes instalações e manutenção dispendiosas, o que reforça as considerações, apresentadas no item 2.1 deste capítulo, sobre a importância da correta seleção e proteção dos mananciais.

SELEÇÃO DE PROCESSOS VISANDO À CLARIFICAÇÃO

Em tese, do ponto de vista tecnológico, qualquer água pode ser tratada, porém nem sempre a custos acessíveis ou por meio de métodos apropriados à realidade local. 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 permitam ou potencializem um determinado uso. Portanto, água potabilizável é aquela que, em função de suas características *in natura*, pode ser dotada de condições de potabilidade por meio de processos de tratamento viáveis do ponto de vista técnico-econômico.

O conhecimento das características da água bruta permite uma avaliação de sua tratabilidade, ou seja, da escolha do processo de tratamento mais adequado e viável para torná-la potável.

Em linhas gerais, as técnicas de tratamento de clarificação podem ser divididas em dois grupos: as que se baseiam na *filtração rápida* e as que se baseiam na *filtração lenta*. O primeiro grupo apresenta a coagulação química e a filtração rápida como etapas fundamentais para a clarificação da água, ao passo que, no segundo grupo, a etapa básica é a filtração lenta e é dispensável o uso de coagulantes. Em ambos os grupos, a filtração pode ou não ser precedida por outros processos de clarificação.

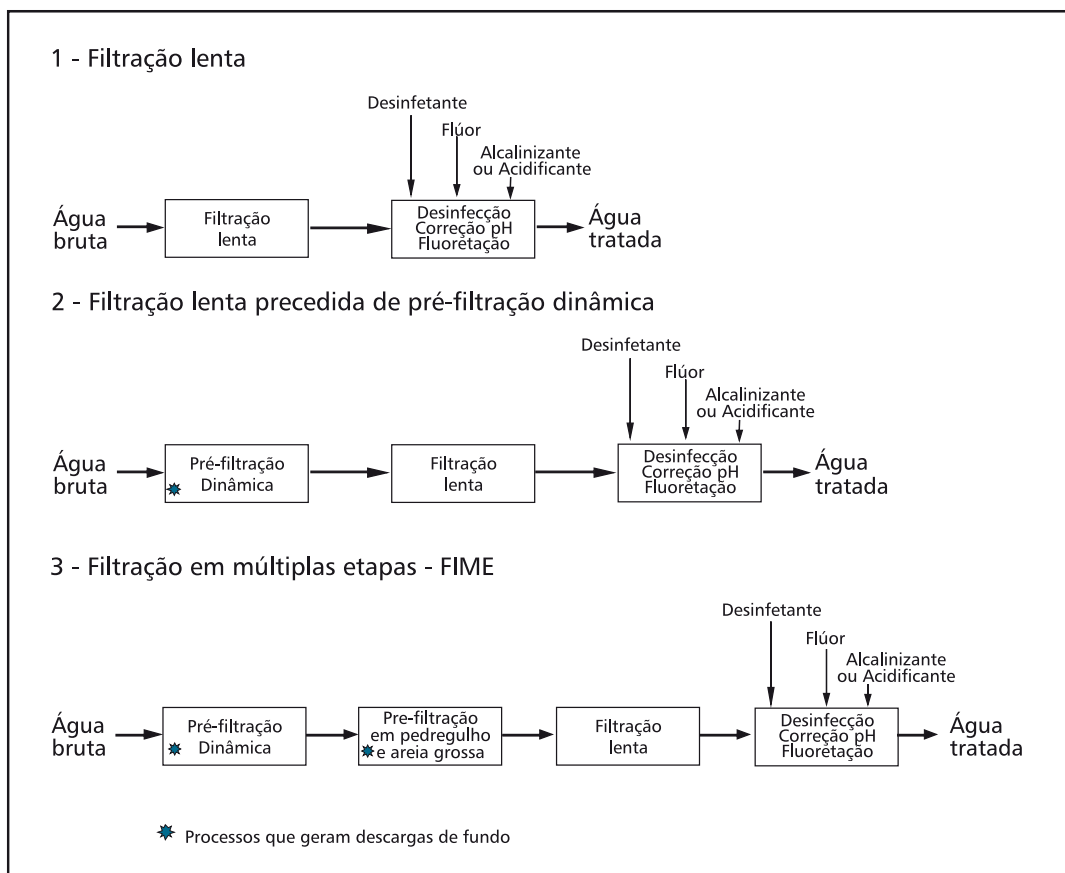
A filtração lenta, quando usada como etapa única de clarificação da água, é geralmente adequada para o tratamento de águas de “boa” qualidade, por exemplo, águas com baixa turbidez, cor e densidade de algas. Dotada de sistemas de pré-tratamento, essa técnica pode ser a opção para tratar águas com valores medianos de turbidez e de densidade de algas, porém não será, em hipótese alguma, aplicável a águas que contenham cor verdadeira acima de poucas unidades.

Águas brutas com presença de cor ou valores mais elevados de turbidez e algas exigem o uso de uma das variantes da técnica de filtração rápida. Essas variantes englobam seqüências de tratamento conhecidas como *de ciclo completo* ou *convencional*, nas quais, em função de elevados teores de impurezas, a filtração rápida é precedida de outro processo de clarificação – a sedimentação ou a flotação. Englobam também as seqüências conhecidas como *filtração direta*, nas quais o filtro é responsável único pela remoção do material em suspensão; geralmente são adequadas para o tratamento de águas que apresentam teores de turbidez, cor e algas de médio a alto, porém não suficientemente elevados para justificar o uso de uma ETA de ciclo completo. É importante lembrar que, em qualquer das variantes da filtração rápida, a etapa de *coagulação* é parte fundamental da seqüência de tratamento.

Nas seqüências de filtração direta, os filtros podem ser de escoamento ascendente ou descendente e, neste último caso, podem ser precedidos ou não de uma etapa de floculação. O uso em série de filtros ascendentes e descendentes é também uma opção considerada como filtração direta e é denominado dupla filtração.

Nas figuras 2.15 e 2.16 apresentam-se, respectivamente, os fluxogramas mais usuais das técnicas de filtração lenta e de filtração rápida; nas tabelas 2.1 e 2.2 estão sintetizadas algumas recomendações gerais para a seleção de processos de tratamento em função da qualidade da água bruta.

Figura 2.15 – Técnicas de tratamento com uso da filtração lenta em areia



Na avaliação de recomendações como as apresentadas nas tabelas 2.1 e 2.2, é importante considerar que se trata apenas de um referencial para a seleção de técnicas de tratamento, tendo por base os valores-limites de alguns parâmetros de qualidade da água. Deve sempre ser lembrado que a qualidade da água, especialmente de mananciais superficiais, sofre grandes variações ao longo das estações do ano. Logo, devem ser cuidadosamente analisadas as conseqüências advindas de um período em que ocorra deterioração da qualidade da água, sobre o processo de tratamento em consideração.

Exemplificando, se a turbidez da água de um determinado manancial aumenta muito em épocas de chuvas, porém esse aumento tem duração em geral de algumas

horas, deve ser avaliado o impacto desse pico de turbidez sobre o desempenho do tratamento. Caso o impacto, em um processo de tratamento mais simplificado, resulte apenas em diminuir a carreira dos filtros, mas sem afetar sua eficiência na remoção dos sólidos e dos microorganismos indicadores, esse manancial poderia ser tratado com essa técnica simplificada.

Figura 2.16 – Técnicas de tratamento com uso da filtração rápida

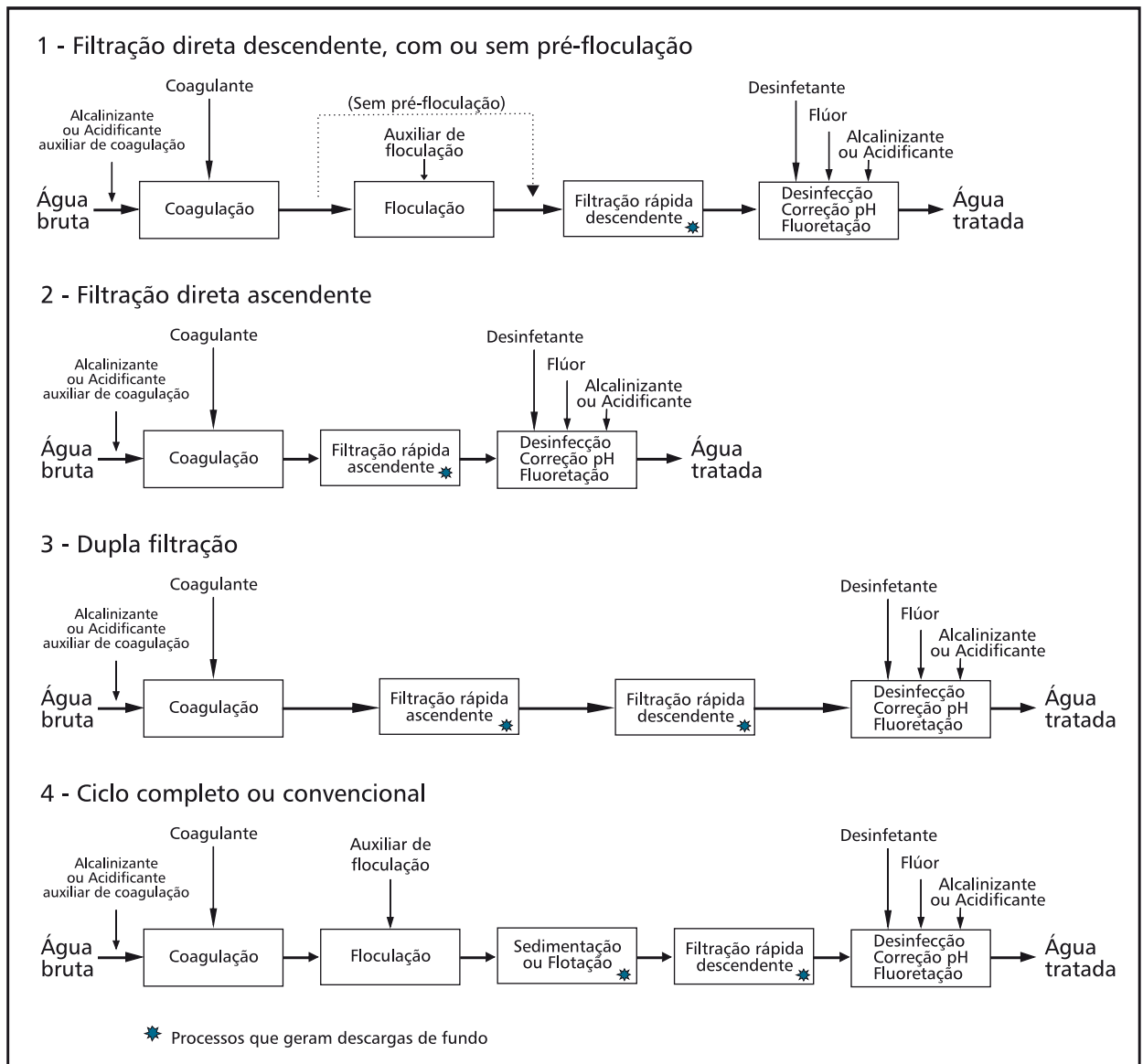


Tabela 2.1 – Parâmetros de qualidade da água bruta sugeridos para as técnicas de filtração lenta

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO		
	FILTRAÇÃO LENTA	PRÉ-FILTRAÇÃO DINÂMICA + FILTRAÇÃO LENTA	FIME
Turbidez (uT)	95% ≤ 10	95% ≤ 25	95% ≤ 100
	100% ≤ 25	100% ≤ 50	100% ≤ 200
Cor verdadeira (uC)	95% ≤ 5	95% ≤ 10	95% ≤ 10
	100% ≤ 10	100% ≤ 25	100% ≤ 25
Sólidos em suspensão (mg/L)	95% ≤ 10	95% ≤ 25	95% ≤ 100
	100% ≤ 25	100% ≤ 50	100% ≤ 200
Coliformes totais (NMP/100 mL)	1000	5000	20000
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	500	1000	5000

FONTE: Adaptado de Di Bernardo (1993) e de Di Bernardo et al. (1999)

Tabela 2.2 – Parâmetros de qualidade da água bruta sugeridos para as técnicas de filtração rápida

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO				
	FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE	FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE	DUPLA FILTRAÇÃO PEDREG. + AREIA	DUPLA FILTRAÇÃO AREIA G+AREIA	CICLO COMPLETO
Turbidez (uT)	90% ≤ 10	90% ≤ 10	90% ≤ 100	90% ≤ 50	90% ≤ 1500
	95% ≤ 25	95% ≤ 25	95% ≤ 150	95% ≤ 100	
	100% ≤ 100	100% ≤ 100	100% ≤ 200	100% ≤ 150	
Cor verdadeira (uC)	90% ≤ 20	90% ≤ 20	90% ≤ 50	90% ≤ 50	90% ≤ 150
	95% ≤ 25	95% ≤ 25	95% ≤ 75	95% ≤ 75	
	100% ≤ 50	100% ≤ 50	100% ≤ 100	100% ≤ 100	
Sólidos em suspensão (mg/L)	95% ≤ 25	95% ≤ 25	95% ≤ 150	95% ≤ 100	
	100% ≤ 100	100% ≤ 100	100% ≤ 200	100% ≤ 150	
Coliformes totais (NMP/100 mL)	1000 ¹	1000 ¹	5000 ¹	5000 ¹	
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	500 ¹	500 ¹	1000 ¹	1000 ¹	
Taxa de filtração (m/dia)	200-600 ²	160-240	FAP: 80-180 FRD: 180-600 ²	FAAG: 80-180 FRD: 180-600 ²	200-600 ²

FONTE: Adaptado de Di Bernardo et al.(2003); Cepis (1992)

¹ Limites mais elevados podem ser praticados com a adoção de pré-desinfecção;

² Na faixa sugerida, as taxas mais elevadas são aplicáveis somente quando é utilizado o meio granular de dupla camada e testes piloto revelarem que a qualidade da água não fica comprometida.

Além disso, atualmente é amplamente reconhecido o conceito de múltiplas barreiras de proteção no sistema de tratamento, ou seja, sabe-se que o número de etapas/processos independentes que compõem a estação de tratamento determina seu grau de confiabilidade ou estabilidade. Um sistema de tratamento com apenas uma etapa de remoção–inativação de patógenos e que apresenta eficiência de 4 log, em tese, é menos confiável que um sistema de tratamento com duas etapas de remoção–inativação, cada uma com eficiência de 2 log. Isso porque a probabilidade de que o segundo sistema apresente uma falha total é menor que no caso do primeiro sistema.

A literatura mais atual inclui informações de remoção–inativação de organismos patogênicos em termos logarítmicos (log 10) ou percentuais (%), cuja equivalência pode ser calculada como a seguir:

$$Y = (100/10^x) - 100$$

Sendo y = % remoção/inativação

x = log remoção/inativação

Portanto:

LOG REMOÇÃO/INATIVAÇÃO	% REMOÇÃO/INATIVAÇÃO
0,5 log	68%
1,0 log	90%
1,5 log	96,8%
2,0 log	99%
2,5 log	99,7%
3,0 log	99,9%
4,0 log	99,99%

Portanto, em épocas de chuvas, se alterações bruscas na qualidade da água bruta puderem se fazer sentir na qualidade do efluente final, o uso de seqüências de tratamento com menor número de etapas/processos deve ser evitado.

Propositadamente, não foram incluídos nas tabelas 2.1 e 2.2 valores-guias para a densidade de algas na água bruta, pois a ampla diversidade de espécies, com as mais variadas características (tamanho, mobilidade, toxicidade, entre outras), pode interferir de maneira muito particular na eficiência dos processos de tratamento.

Quando a água a ser tratada contém algas em quantidade significativa, é particularmente importante avaliar o desempenho dos processos e das seqüências de tratamento com base em estudos experimentais. Particular atenção deve ser dada ao tratamento de mananciais com presença de cianobactérias (algas cianofíceas), isso porque, além das dificuldades operacionais associadas à presença de algas, esses organismos são potenciais produtores de toxinas.

Assim, ao se avaliar a aplicabilidade de um processo, ou de uma sequência de processos, no tratamento de águas com presença de cianobactérias, é fundamental observar não apenas a eficiência de remoção de células saudáveis, como também a remoção de cianotoxinas. Deve-se ainda avaliar a possibilidade de o processo promover a indesejada lise celular e a liberação das toxinas para a água. Estudos têm revelado que os processos de tratamento mais usualmente adotados (ciclo completo, por exemplo) são pouco eficientes na remoção dessas toxinas, fazendo-se necessária a adoção de etapas complementares de tratamento.

Pode-se mesmo dizer que a observação de boas práticas em tratamento de água se inicia já na etapa de projeto, tomando-se como primeiras “lições”:

- A escolha definitiva do manancial de abastecimento e a seleção da alternativa de tratamento devem levar em consideração séries históricas de informações sobre a qualidade da água, contemplando as variações sazonais.
- A seleção da alternativa de tratamento e a determinação dos parâmetros de projeto devem, preferencialmente, ser baseados em ensaios de tratabilidade, em experimentos de bancada ou em escala piloto, de forma que se obtenham os parâmetros ótimos de operação.
- A determinação dos parâmetros de projeto deve contemplar as possíveis variações de vazões afluentes à ETA, decorrentes de alternativas de operação e de aumento de demanda de consumo ao longo do período de projeto.

Por fim, independentemente da qualidade da água bruta, cabe destacar o disposto na Portaria MS nº 518/2004:

- 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.
- Art. 23. Toda água para consumo humano suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização deve incluir tratamento por filtração.

ENSAIOS DE TRATABILIDADE

Na etapa de projeto, os ensaios de tratabilidade podem ser realizados em escala de bancada, geralmente com o uso do aparelho de teste de jarros, ou em escala piloto. Tais estudos permitem a definição da opção tecnológica de tratamento mais adequada, fornecem informações sobre os produtos químicos mais apropriados, suas dosagens e seqüências de aplicação e sobre parâmetros de projeto ótimos para as diferentes unidades de tratamento. Os ensaios de tratabilidade podem servir ainda como ferramenta para a otimização de condições operacionais, para a reforma ou para a ampliação de estações existentes.

Os estudos de tratabilidade devem considerar a possibilidade de ocorrerem mudanças de qualidade na água do manancial, bem como variações de vazões afluentes à ETA decorrentes de alternativas de operação e de aumento de demanda de consumo ao longo do período de projeto. Para informações mais detalhadas sobre ensaios de tratabilidade, deve-se recorrer à literatura especializada, como, por exemplo, Di Bernardo et al. (2002).

Com o emprego do equipamento de teste de jarros, em geral, simulam-se os processos de coagulação/mistura, floculação e sedimentação. Testes mais completos podem, adicionalmente, incluir a simulação da filtração. A título de ilustração, inclui-se um exemplo real de um ensaio de tratabilidade.

Ensaio de tratabilidade – exemplo com emprego do *Jar Test*

Característica da água bruta
turbidez inicial (T_0) – 63 uT
pH – 7,07
Alcalinidade – 35 mg/L

ETAPA 1 – Aproximação inicial da dosagem ótima de sulfato de alumínio

Os ensaios foram realizados em duas repetições, a fim de abranger uma faixa mais ampla de doses de sulfato de alumínio. Na execução dos ensaios, foram adotados como parâmetros: para a mistura rápida, um gradiente de velocidade de 1.000 s^{-1} e tempo de mistura de 3 segundos; para floculação, um gradiente de 50 s^{-1} e tempo de detenção de 20 minutos; e para decantação, uma taxa de aplicação superficial de $10\text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, que corresponde a um tempo de coleta das amostras de 10 minutos (tempo contado após o término da simulação do processo de floculação).

Esta etapa é conduzida como uma aproximação inicial e orientação para as etapas seguintes. Nesse sentido foi encontrada uma dosagem

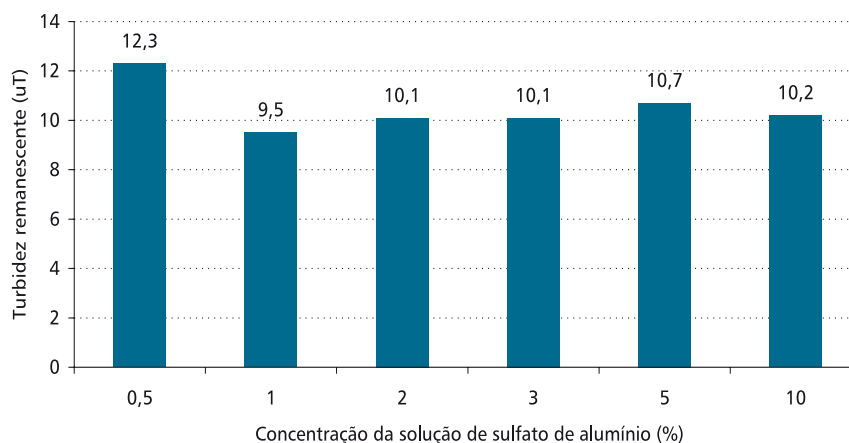
ótima de coagulante de 14 mg/L, correspondente ao menor valor de turbidez remanescente (4,9 UT).

ENSAIO 1			ENSAIO 2		
JARRO	DOSE DE SULFATO DE ALUMÍNIO (mg/L)	TF (UT)	JARRO	DOSE DE SULFATO DE ALUMÍNIO (mg/L)	TF (UT)
1	14	4,9	1	8	12,2
2	17	5,4	2	11	7,5
3	20	9,2	3	14	4,6
4	23	12,7	4	17	6,2
5	26	16,0	5	20	7,7
6	29	12,1	6	23	9,4

TF = turbidez final, após sedimentação das amostras

ETAPA 2 – Determinação da concentração ótima de sulfato de alumínio

Foram preparadas seis soluções de sulfato de alumínio com concentração entre 0,5 e 10%. Nessa etapa o ensaio foi conduzido com a dose de sulfato fixa em 14 mg/L e com os mesmos parâmetros hidráulicos da etapa anterior. Apesar de os resultados não terem demonstrado diferenças tão marcantes de turbidez da água decantada, por razões de economia a concentração da solução de coagulante determinada como ótima é de 1%.

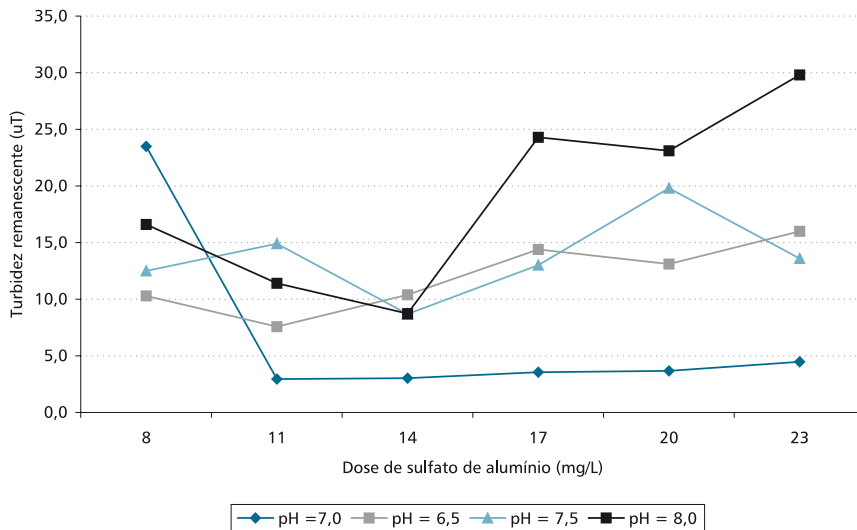


ETAPA 3 – Determinação do par de valores ótimos dose x pH

Com a concentração de sulfato de alumínio fixa em 1%, os ensaios foram conduzidos variando o pH de 6,5 a 8 e as doses de sulfato de 8 a 23 mg/L. Na condução de cada ensaio, o pH era ajustado nos seis jarros

ao valor desejado, variando-se as doses de 8 a 23 mg/L. Os parâmetros hidráulicos da mistura, floculação e sedimentação permaneceram os mesmos das etapas anteriores.

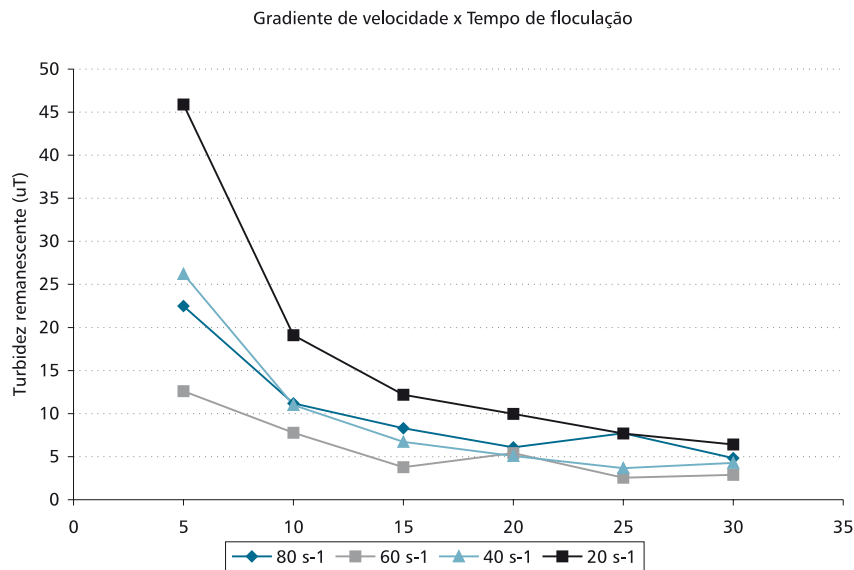
Do gráfico a seguir percebe-se nitidamente que a coagulação em pH 7,0 e com doses de sulfato a partir de 11 mg/L fornece os melhores resultados de turbidez de água decantada (< 5 UT). Por razões econômicas, foram assumidos como parâmetros ótimos de coagulação: pH 7,0 e dose de sulfato de 11 mg/L.



ETAPA 4 – Determinação dos parâmetros ótimos de floculação

Com os parâmetros de coagulação (pH, dose e concentração de sulfato) fixados, a fim de determinar o gradiente e o tempo de floculação ótimos, esses parâmetros de controle foram testados em faixas de gradientes entre 80 e 20 s^{-1} (controlados pela velocidade de rotação do equipamento de *jar test*) e tempos de floculação entre 5 a 30 minutos.

G(S ⁻¹)	TEMPO DE FLOCULAÇÃO / TURBIDEZ REMANESCENTE (UT)					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
80	22,0	11,2	8,3	6,1	7,7	4,9
60	12,6	7,8	3,8	5,4	2,6	2,9
40	26,2	11,0	6,7	5,1	3,7	4,3
20	45,9	19,1	12,2	10,0	7,7	6,4



ETAPA 5 – Determinação da velocidade ótima de sedimentação

Aplicando gradientes decrescentes de 60–40 s⁻¹ em um tempo de floculação total de 20 minutos, amostras da água decantada foram coletadas aos tempos de 1, 2, 3, 4, 5 e 10 minutos, simulando diferentes taxas de aplicação superficial (velocidades de sedimentação).

De acordo com os resultados de turbidez da água decantada, a velocidade de sedimentação não deve superar 0,039 cm/s, correspondendo a aproximadamente 30 m³/m².dia como taxa de aplicação superficial. Velocidades inferiores a 0,039 cm/s poderiam ser consideradas uma opção antieconômica.

T (seg.)*	VS (cm/s)**	TURBIDEZ REMANESCENTE (UT)***
60	0,117	22,6
120	0,058	12,8
180	0,039	5,4
240	0,029	4,6
300	0,023	3,8
600	0,012	3,0

* tempo de coleta das amostras em profundidade constante (7 cm);

** velocidade de sedimentação = tempo de coleta/7 cm;

*** média dos seis jarros.

A seguir discorre-se sobre os principais processos unitários de tratamento de água, apresentando-se uma breve base conceitual, acompanhada de exemplos de situações ou práticas indesejáveis de projeto e operação e possíveis soluções, ou seja, as boas práticas.

COAGULAÇÃO

Coagulação refere-se ao fenômeno químico da desestabilização das cargas superficiais, geralmente negativas, das partículas coloidais e em suspensão presentes na água, a partir da adição de um coagulante. Os coagulantes mais utilizados no Brasil são os sais de alumínio e de ferro.

Com a adição do coagulante, o que se busca é a minimização ou a eliminação das forças de repulsão eletrostáticas existentes entre as partículas de impurezas, tornando possível a predominância das forças de atração entre elas e, portanto, possibilitando sua aglomeração – formação de flocos – na etapa de floculação, que segue a de coagulação. Os flocos formados, em função de seu tamanho, densidade e características físico-químicas, poderão ser removidos da água por processos de separação tais como sedimentação, flotação e filtração.

A coagulação pode ocorrer por mecanismos distintos:

- Varredura – ocorre na situação em que os hidróxidos metálicos precipitam e os colóides (partículas de impurezas) presentes na água podem ser envolvidos pelos aglomerados do precipitado, quando esses se formam ou com eles colidem. Tal mecanismo, conhecido como “captura” ou “varredura”, ocorre nos floculadores e decantadores. Dessa maneira, são formados aglomerados de hidróxido e impurezas (flocos) com maior dimensão e densidade e, geralmente, boas características de sedimentabilidade.
- Adsorção é formação de pontes interpartículas – fenômeno predominante quando se utilizam polímeros orgânicos como coagulantes ou auxiliares de floculação. Grupos reativos presentes nesses compostos de cadeia longa podem ser adsorvidos na superfície de uma partícula, deixando segmentos livres para serem adsorvidos por outras partículas, fazendo a ligação entre elas, e assim formar um agregado partícula–polímero–partícula no qual o polímero atua como uma “ponte”. Para serem usados como coagulantes, faz-se necessário que esses polímeros possuam sítios positivamente carregados (polieletrólitos catiônicos), que, além da adsorção, garantam também a neutralização das cargas negativas de partículas de impurezas.

Quando os sais de alumínio e ferro são utilizados como coagulantes, as reações do coagulante na água e as espécies hidrolisadas formadas dependem das características da água (principalmente pH e alcalinidade) e da dosagem de coagulante aplicada. Como na prática não se utilizam valores extremos de pH de coagulação (valores muito ácidos ou muito básicos), o mecanismo de coagulação predominante em uma determinada água será ou adsorção-neutralização de cargas ou varredura.

A coagulação é um fenômeno complexo, porém sua compreensão é fundamental para o sucesso dos tratamentos que envolvem a filtração rápida. Dessa forma, recomenda-se a leitura de textos especializados (AMIRTHARAJAH E O'MELIA, 1990; CEPIS, 1992; DI BERNARDO, 1993; entre outros). Para efeito desse manual, cabe destacar:

- Os mecanismos de coagulação predominantes devem ser ajustados às características da água e à alternativa de tratamento empregada.
- Quando a tecnologia de tratamento é uma das variantes da filtração direta, o mecanismo de adsorção-neutralização de cargas deve ser predominante, uma vez que se deseja a desestabilização eletrostática das partículas a serem removidas nos filtros. Geralmente, esse mecanismo é favorecido pelo uso de baixas dosagens de coagulantes e valores de pH entre 5 e 6.
- O mecanismo de varredura deve ser favorecido quando o tratamento inclui o processo de sedimentação, que requer flocos de maiores dimensões e densidade.
- Mecanismos diversos de coagulação podem ocorrer simultaneamente.
- Para cada água devem ser selecionados o coagulante mais adequado e os parâmetros ótimos de operação: concentração da solução coagulante, dosagem do coagulante e pH de coagulação.
- No mecanismo de adsorção-neutralização de cargas existe uma faixa relativamente estreita de dosagem de coagulante na qual a coagulação (desestabilização das partículas) é efetiva. O uso de dosagem superiores à ótima leva ao processo de re-estabilização das partículas. Ou seja, há a adição de excesso de espécies hidrolisadas positivas que são adsorvidas na superfície da partícula tornando-as de carga positiva e com novo potencial de repulsão.

Uma melhor aproximação do problema pode ser obtida com uma abordagem mais ampla, mediante a elaboração dos diagramas de coagulação. Com essa avaliação, podem-se conhecer mais adequadamente os mecanismos de coagulação predominantes, ou a serem favorecidos, propiciando otimizar com melhor eficiência o processo de coagulação. A seguir apresentam-se diagramas construídos para o mesmo estudo de caso anterior.

Exemplo de ensaio de tratabilidade – elaboração de diagramas de coagulação com o emprego do *Jar Test*

Para a determinação da concentração ótima de sulfato de alumínio correspondente à época de seca (turbidez média de 7,0 UNT), primeiramente fixou-se a concentração em 0,5%, variando-se a dosagem de 2 a 32 mg/L (em três ensaios consecutivos: 2 a 12 mg/L, 12 a 22 mg/L e 22 a 32 mg/L); a seguir, variou-se a concentração em 1, 2, 3, 5 e 10% e a dosagem, como descrito, para cada concentração.

Os pontos de maior remoção foram: 0,5%–10mg/L e 0,5%–18 mg/L. Diante disso, e levando em consideração o fator economia, optou-se pela concentração ótima da época de seca 0,5% (concentração utilizada para a realização do diagrama).

Nos ensaios do diagrama, para cada valor de pH variou-se a dosagem de 2 a 24 mg/L (de 2 em 2 mg/L), com intervalos de variação do pH de 5,0 a 9,0 (de 0,4 em 0,4). Com os valores de turbidez remanescente e inicial, calculou-se a remoção em porcentagem, como a seguir:

$$R = (T_i - T_f) \times 100 / T_i$$

De posse dos valores dosagem–pH–remoção, utilizou-se o programa topográfico DATA-GEOSIS para plotar o diagrama (curvas de isoeffiência). A área hachurada é a região de maior eficiência, no caso 90%.

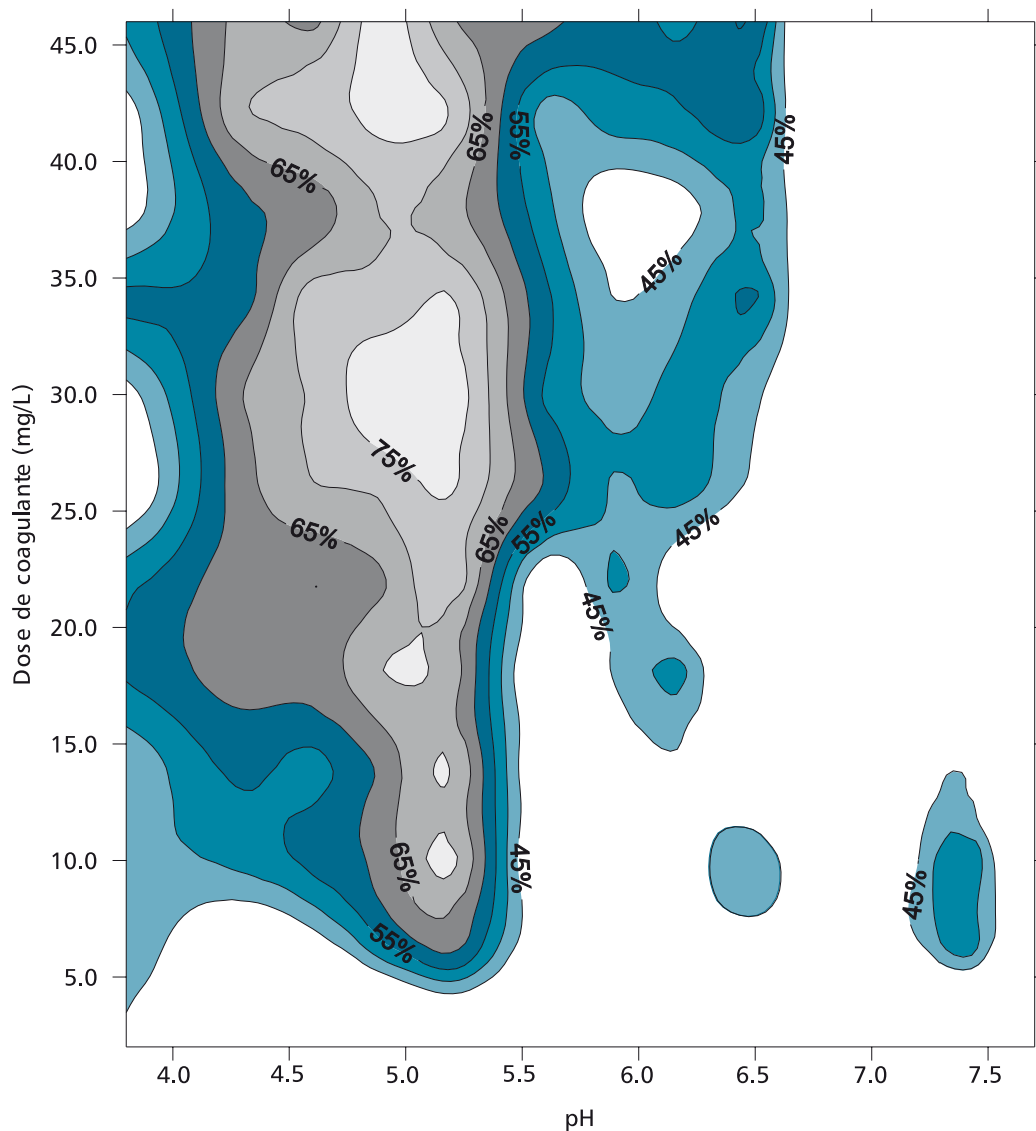
Percebe-se que na região de maior eficiência a dosagem e o pH estão, respectiva e aproximadamente, entre 8 e 14 mg/L e 7,9 e 8,3. Sendo essas dosagens relativamente baixas, sugere-se que nesta área pode ocorrer a desestabilização por adsorção. Os ensaios sugerem a possibilidade de adoção da filtração direta durante os períodos de seca, requerendo, entretanto, e eventualmente, a correção do pH, uma vez que a água bruta natural mantém-se próxima à neutralidade.

Para a realização do diagrama correspondente ao período de chuva, foi utilizada uma concentração ótima de 1%, determinada anteriormente para uma turbidez inicial de 63 uT. Para cada valor de pH, variou-se a dosagem de 8 a 30 mg/L (de 2 em 2 mg/L), com intervalo de variação do pH de 5,0 a 9,0 (de 0,2 em 0,2). Observa-se que a área hachurada de maior eficiência (95%) abrange amplas faixas de pH e dose de sulfato e, provavelmente, diversos mecanismos de coagulação (adsorção, varredura e/ou combinação de ambos).

Considerando que o pH da água bruta afluenta à ETA mantém-se próximo do neutro, a eficiência máxima obtida, sem correção de pH, seria alcançada com doses de sulfato em torno de 12 mg/L

A figura 2.17 ilustra o diagrama de coagulação.

Figura 2.17 – Diagrama de coagulação – período de estiagem



Mistura rápida

A unidade de mistura é destinada à dispersão rápida e homogênea do coagulante na água a ser tratada. Uma boa mistura deve ser realizada no menor tempo possível e sob condições de elevada turbulência da água, medida pelo parâmetro gradiente de velocidade (G , em s^{-1}).

Uma mistura efetiva apresenta-se como um fator imprescindível quando a tecnologia de tratamento é a filtração direta e, portanto, o mecanismo de coagulação a ser favorecido é o da adsorção-neutralização de cargas. Quando os sais de alumínio e ferro são usados como coagulantes, a hidrólise ocorre em menos de um segundo e, portanto, a adsorção das espécies hidrolisadas solúveis às partículas coloidais ocorre quase que imediatamente. Ou seja, o projeto da unidade de mistura rápida deve considerar essa escala de tempo.

Na coagulação por varredura, predominante no tratamento convencional, o mais importante é a garantia de uma boa homogeneização do coagulante e uma floculação adequada. Nesse caso, a unidade de mistura rápida pode operar com valores de gradiente de velocidade menores que na adsorção-neutralização de cargas, e pode-se dispor de tempos de mistura mais elevados, pois o tempo de formação de precipitados metálicos é um pouco mais lento.

A norma brasileira que dispõe sobre o projeto de estações de tratamento de água, a NBR 12216 (ABNT, 1992), no seu item 5.8.2, ressalta que, para o projeto das unidades de mistura rápida,

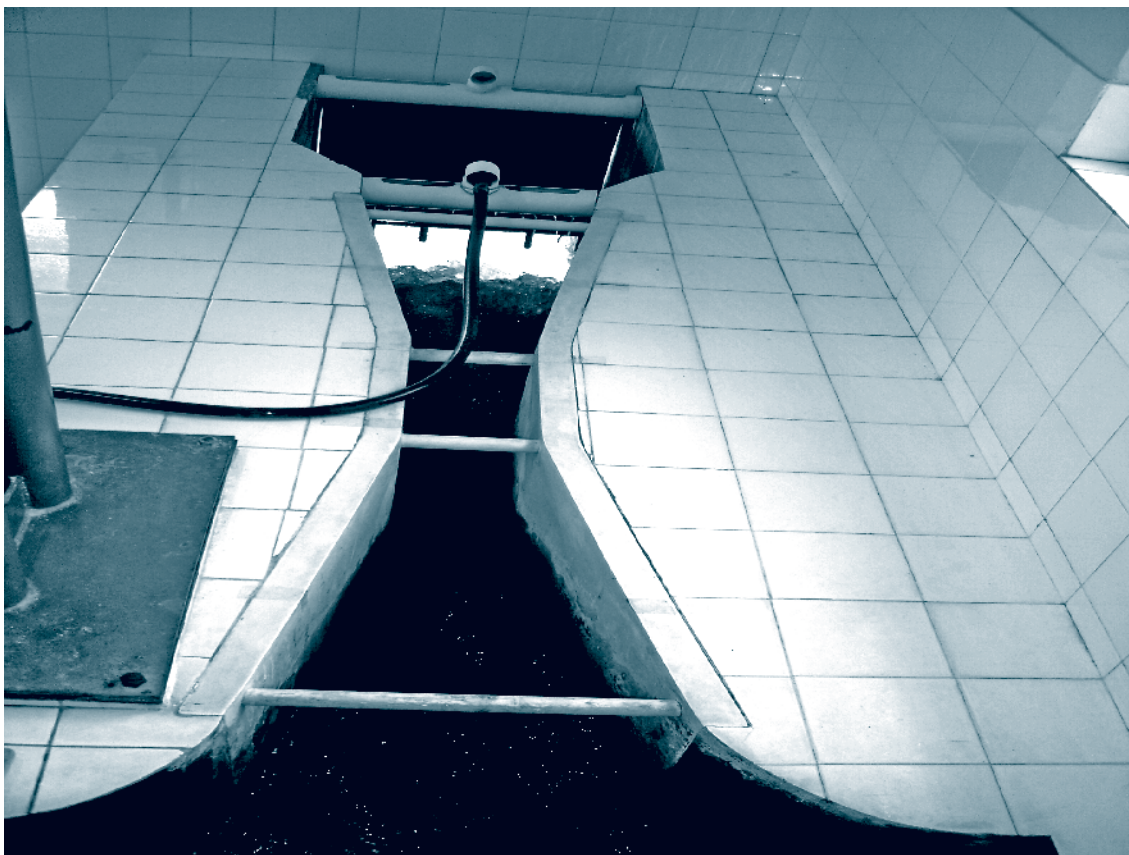
as condições ideais em termos de gradiente de velocidade, tempo de mistura e concentração de coagulante devem ser determinadas preferencialmente através de ensaios de laboratório. Quando esses ensaios não podem ser realizados, deve ser observada a seguinte orientação.

- (a) a dispersão de coagulantes metálicos hidrolisáveis deve ser feita a gradientes de velocidade compreendidos entre 700 s^{-1} e 1100 s^{-1} , em um tempo de mistura não superior a 5 segundos;
- (b) a dispersão de polieletrólitos, como coagulantes primários ou auxiliares de coagulação, deve ser feita obedecendo às recomendações do fabricante.

As condições de gradiente de velocidade e tempo de mistura previstas no item (a) nem sempre são as necessárias para promover uma mistura efetiva quando se deseja promover a adsorção-neutralização de cargas como mecanismo predominante. Assim, para o projeto de ETAs com técnica de filtração direta, os estudos de bancada são imprescindíveis.

As unidades de mistura rápida podem ser classificadas em dois grandes grupos: hidráulicas e mecanizadas. As unidades de mistura rápida hidráulicas, de modo geral, apresentam menos problemas operacionais que as mecanizadas, em face da ausência de peças e motores. Entretanto, apresentam menor flexibilidade operacional. Muitas estações de tratamento no Brasil valem-se da turbulência existente no ressalto hidráulico das calhas Parshall para o processo de mistura (figura 2.18).

Figura 2.18 – Exemplos de unidades de mistura rápida (calha Parshall): vazão excessiva e extravasamento de água



Situações ou práticas não recomendáveis na mistura rápida/coagulação

A eficiência e a estabilidade de um sistema de tratamento dependem da boa *performance* e do controle dos processos de tratamento unitários e sequenciais, portanto, em primeira instância, da otimização e do controle sistemático da mistura e da coagulação. Segundo Kawamura (1991), a maioria das estações convencionais de tratamento de água não tem unidades de mistura rápida operando em condições ótimas (gradiente de velocidade e tempo de contato) e consegue garantir a produção de água tratada de qualidade adequada à custa de adição de coagulante em excesso (25 a 30%).

Apresentam-se, a seguir, exemplos de situações ou práticas não recomendáveis, desde a etapa de definição dos parâmetros de projeto até o controle de rotina.

Quadro 2.1 – Exemplos de situações ou práticas indesejáveis na mistura rápida/coagulação

ITEM	SITUAÇÕES OU PRÁTICAS NÃO-RECOMENDADAS	CONSEQUÊNCIA	SOLUÇÃO/ PREVENÇÃO DO PROBLEMA
01	Falhas de projeto ou construtivas de unidades de mistura. Exs.: escolha ou execução inadequada do Parshall, comprometendo a formação do ressalto e a garantia do gradiente desejado; tempo de detenção ou potência introduzida inadequados em unidades mecanizadas.	Comprometimento da coagulação e, por conseguinte, dos processos unitários subsequentes (floculação, decantação, flotação, filtração, desinfecção) e do processo de tratamento como um todo. Falha mais freqüente: • gradientes de velocidade inadequados, principalmente se insuficientes.	Determinação criteriosa dos parâmetros de projeto e execução cuidadosa das unidades de mistura. Levantamento das dimensões exatas das unidades executadas e em operação; levantamento dos perfis hidráulicos e dos parâmetros reais de operação; comparação com os parâmetros ótimos e realização dos ajustes necessários. Ex.: elevação da lâmina de saída na calha Parshall e adequação do ressalto com a instalação de <i>stop-logs</i> .
02	Seleção de coagulante e dos parâmetros de operação (concentração e dose de coagulante, pH de coagulação) sem a realização de ensaios de tratabilidade para a determinação dos parâmetros ótimos.	Comprometimento da coagulação e, por conseguinte, dos processos unitários subsequentes (floculação, decantação, flotação, filtração, desinfecção) e do processo de tratamento como um todo. Falha mais freqüente: • operação do processo sem o controle adequado dos mecanismos de coagulação mais apropriados à qualidade da água e à tecnologia de tratamento.	Realização de ensaios de tratabilidade e determinação dos parâmetros ótimos, levando em consideração variações sazonais da qualidade da água.
03	Aplicação do coagulante ou da cal em pontos ou de forma inadequados.	Comprometimento da coagulação e, por conseguinte, dos processos unitários subsequentes (floculação, decantação, flotação, filtração, desinfecção) e do processo de tratamento como um todo. Falha mais freqüente: • dispersão inadequada do coagulante.	O coagulante e, quando necessário, a cal devem ser aplicados imediatamente antes de pontos de maior dissipação de energia (agitação da água). A aplicação dos produtos químicos deve ser realizada por meio de difusores. Os locais e as seqüências de aplicação devem ser determinados mediante ensaios feitos localmente.
04	Controle inadequado da coagulação – falhas de processo.	Comprometimento da coagulação e, por conseguinte, dos processos unitários subsequentes (floculação, decantação, flotação, filtração, desinfecção) e do processo de tratamento como um todo. Falha mais freqüente: • operação do processo sem o controle adequado dos mecanismos de coagulação mais apropriados à qualidade da água e à tecnologia de tratamento empregada.	Realização sistemática de teste de jarros e controle dos parâmetros de operação, abrangendo variações sazonais da qualidade da água.

Continua...

Continuação

ITEM	SITUAÇÕES OU PRÁTICAS NÃO-RECOMENDADAS	CONSEQÜÊNCIA	SOLUÇÃO/ PREVENÇÃO DO PROBLEMA
05	Controle inadequado da coagulação – falhas de equipamentos ou de operação.	Comprometimento da coagulação e, por conseguinte, dos processos unitários subsequentes (floculação, decantação, flotação, filtração, desinfecção) e do processo de tratamento como um todo. Falhas mais freqüentes: • solução e homogeneização inadequadas do coagulante, ou da cal, nos tanques de preparo; • controle inadequado da dosagem de coagulante ou de cal.	No caso de produtos granulados, controle sistemático dos equipamentos, dos dispositivos e da rotina de homogeneização dos produtos químicos nos tanques de preparo. Calibração e aferição sistemáticas dos dosadores.

Para uma abordagem mais detalhada sobre o projeto e o controle de unidades de mistura rápida e sobre processos de coagulação, pode-se consultar Richter e Azevedo Neto (1991), Cepis (1992), Di Bernardo (1993), Vianna (1997), Di Bernardo et al. (2003), entre outras referências.

Figura 2.19 – Exemplo de unidade inadequada de mistura rápida (calha Parshall): instalações e controle precários da mistura rápida e coagulação



Figura 2.20 – Detalhe de dispositivo adequado de aplicação do coagulante com difusores de simples execução



FLOCULAÇÃO

Após a desestabilização das partículas, deve-se propiciar o encontro entre elas para que se agreguem e ganhem tamanho, peso e densidade compatíveis com o processo de separação sólido-líquido subsequente (decantação, flotação ou filtração).

Isso é obtido por meio da mistura lenta da água por um tempo determinado, favorecendo a formação de flocos. Na floculação, a turbulência provocada, expressa pelo gradiente de velocidade, deve ser bem menor que a empregada na mistura rápida e ser gradualmente decrescente, para propiciar a boa formação dos flocos no início do processo e evitar a ruptura dos flocos formados ao longo do floculador.

A adequada agitação da água pode ser obtida hidráulica ou mecanicamente. No primeiro caso, provoca-se um movimento sinuoso da água (floculadores hidráulicos); no segundo, a agitação ocorre por meio de equipamentos mecânicos (floculadores mecanizados). Os floculadores hidráulicos apresentam menores custos e complexidade operacionais; os mecanizados apresentam maior flexibilidade operacional (maior possibilidade de variação e controle dos gradientes de velocidade).

Os parâmetros de controle da floculação são: o(s) gradiente(s) de floculação (G , em s^{-1}) e o tempo de floculação ou tempo de detenção hidráulica no floculador (T , em minutos).

Para cada água, incluindo suas variações de qualidade sazonais, correspondem condições ótimas de floculação (gradientes e tempo de floculação ótimos), preferivelmente determinadas, já na etapa de projeto, em ensaios de laboratório-teste de jarros.

Não sendo possível a realização desses ensaios, situação hoje em dia pouco justificável, a norma brasileira (NBR 12216) recomenda a adoção dos seguintes parâmetros:

- gradiente de velocidade (G): máximo de $70 s^{-1}$ e mínimo de $10 s^{-1}$ entre o início e o final do floculador;
- previsão de um dispositivo que permita a variação de 20% em torno dos gradientes de projeto;
- tempo de floculação (T): 20-30 minutos para floculadores hidráulicos e 30-40 minutos para floculadores mecanizados.

A hidrodinâmica dos floculadores é de fundamental importância para a eficiência da operação. Os floculadores devem ser compartimentados, separados por cortinas, chicanas ou paredes, e a conexão entre câmaras (passagens, orifícios, tubulações) deve ser concebida de forma que evite caminhos preferenciais, estabelecendo curtos-circuitos e zonas mortas. Além disso, as passagens devem apresentar geometria tal que os gradientes de velocidade (devidos às perdas de carga localizadas) não sejam superiores ao do compartimento anterior, sob risco de ruptura dos flocos.

A seguir, listam-se, de forma muito sucinta, os tipos de floculadores mais usuais. Para uma melhor descrição dos princípios de funcionamento, critérios de projeto e cuidados operacionais, deve-se recorrer à literatura especializada (AZEVEDO NETTO et al., 1979; RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991; CEPIS, 1992, 1993; DI BERNARDO, 1993; VIANNA, 1997; VALENCIA, 1981).

Floculadores mecânicos

O gradiente de velocidade nos floculadores mecanizados depende da velocidade de rotação do eixo, da geometria da câmara e do dispositivo de agitação, tais como altura, largura e espaçamento das paletas, tipo e tamanho da turbina ou da hélice. Ao longo da operação, os gradientes podem ser mais bem adequados às variações de vazão e qualidade da água por meio do controle da velocidade de rotação dos agitadores. Podem ser:

- com agitadores de paletas de eixo vertical;
- com agitadores de paletas de eixo horizontal;
- com agitadores de fluxo axial (turbinas e hélices).

Floculadores hidráulicos

Nos floculadores hidráulicos, a agitação (gradiente de velocidade) é obtida por sucessivas mudanças de direção, horizontais e/ou verticais, no fluxo da água. Vale-se, portanto, da perda de carga (resistência hidráulica ao escoamento) nas câmaras e nas passagens. A distribuição do fluxo e os gradientes são determinados pela geometria das câmaras, pelo posicionamento, tipo e geometria das passagens. Depreende-se então que, na operação, o controle e o ajuste de gradientes a variações de qualidade da água e vazões são mais difíceis que nos floculadores mecânicos. De toda forma, os operadores devem estar atentos ao necessário controle dos gradientes. Alguns tipos são:

- floculadores com chicanas horizontais ou verticais;
- floculadores tipo Cox;
- floculadores tipo Alabama;
- floculadores hidráulicos de bandejas perfuradas, em que o fluxo é descendente, passando por sucessivas bandejas perfuradas, em que a perda de carga nos orifícios provoca a necessária turbulência (gradiente de velocidade) para a floculação;
- floculadores em meio granular e com telas, variante com emprego menos freqüente, onde se vale da agitação obtida na passagem da água pelos interstícios do meio granular (por exemplo, seixo rolado) ou através de telas interpostas ao sentido de *fluxo da água*.

Quadro 2.2 – Exemplos de situações ou práticas indesejáveis na floculação

ITEM	SITUAÇÃO OU PRÁTICA INDESEJÁVEIS	CONSEQUÊNCIA	SOLUÇÃO/ PREVENÇÃO DO PROBLEMA
01	Falhas de projeto ou construtivas de unidades de floculação. Exs.: tempo de detenção inadequados, favorecimento de zonas mortas ou curtos-circuitos; gradientes de velocidade inadequados nas câmaras e nas passagens entre câmaras; velocidades inadequadas. Potência introduzida inadequada em unidades mecanizadas.	Comprometimento da floculação e, por conseguinte, dos processos unitários subsequentes (decantação, flotação, filtração, desinfecção) e do processo de tratamento como um todo. Falha mais freqüente: • gradientes de velocidade inadequados, não decrescentes, ou gradientes excessivos nas passagens, resultando em sedimentação de flocos no floculador ou na ruptura dos flocos.	Determinação criteriosa dos parâmetros de projeto e execução cuidadosa das unidades de floculação. Levantamento das dimensões exatas das unidades executadas e em operação; levantamento dos perfis hidráulicos e dos parâmetros reais de operação; comparação com os parâmetros ótimos e realização dos ajustes necessários. Ex.: adequação da localização e das dimensões das passagens entre câmaras, promovendo uma melhor distribuição do fluxo e adequando os gradientes de velocidade.
02	Seleção dos parâmetros de operação (gradientes de velocidade e tempo de floculação) sem a realização de ensaios de tratabilidade para a determinação dos parâmetros ótimos.	Comprometimento da floculação e, por conseguinte, dos processos unitários subsequentes (decantação, flotação, filtração, desinfecção) e do processo de tratamento como um todo. Falha mais freqüente: • operação do processo inadequada à qualidade da água e à tecnologia de tratamento.	Realização de ensaios de tratabilidade e determinação dos parâmetros ótimos, levando em consideração variações sazonais da qualidade da água e das vazões.
03	Controle inadequado da floculação.	Comprometimento da floculação e, por conseguinte, dos processos unitários subsequentes (decantação, flotação, filtração, desinfecção) e do processo de tratamento como um todo. Falha mais freqüente: • impossibilidade de variar os gradientes de velocidade, de acordo com as variações da qualidade da água bruta e de vazões.	Realização sistemática de teste de jarros, com base nos parâmetros reais de operação, abrangendo variações sazonais da qualidade da água e de vazões. Instalação de dispositivos que permitam a variação dos gradientes. Controle e variação de vazões para adequar os gradientes e o tempo de floculação aos parâmetros ótimos, de acordo com as variações da qualidade da água.

Figura 2.21 – Floculador hidráulico, duas séries de câmaras de floculação em paralelo, porém com distribuição inadequada de fluxo



Figura 2.22 – Exemplo de unidade com funcionamento inadequado de floculador: excesso de vazão e transbordamento nas câmaras de floculação



DECANTAÇÃO

A decantação é uma das técnicas mais antigas e simples de clarificação da água e resulta da ação da força da gravidade sobre as impurezas, facilitando a sedimentação delas no fundo da unidade e resultando na clarificação do sobrenadante.

Nas ETAs, quando a água bruta apresenta cor verdadeira elevada ou alta concentração de partículas em suspensão, é necessária a construção de unidades que removam parte dessas impurezas da água antes de encaminhá-las aos filtros, de modo que deve ser adotada a tecnologia denominada “tratamento de ciclo completo ou convencional”.

Tradicionalmente, as ETAs de ciclo completo são projetadas com unidades de decantação antecedendo os filtros. Contudo, nos últimos anos, pesquisas mostraram que em determinadas situações, como cor verdadeira elevada ou presença de algas acompanhadas de baixa turbidez, a substituição dos decantadores por unidades de flotação apresenta vantagens significativas do ponto de vista da possibilidade de redução do espaço físico ocupado pela ETA, melhoria da qualidade do afluente do filtro, aumento da concentração de sólidos no lodo gerado e redução do consumo de coagulante químico. Desde então, embora os flotadores exijam maiores cuidados operacionais, algumas ETAs passaram a ser projetadas com unidades de flotação e outras foram reformadas para possibilitar a substituição dos decantadores por flotadores. Por uma opção didática, este Manual aborda apenas a decantação, devendo ser consultada a bibliografia específica para detalhes sobre a flotação (a exemplo de DI BERNARDO, 1993; DI BERNARDO et al., 2002).

No estudo da sedimentação, distinguem-se dois tipos de partículas: partícula discreta e partícula floculenta. A primeira delas não sofre alteração de tamanho ou de forma durante a sedimentação, ao contrário das partículas floculentas, as quais são predominantes no tratamento de água quando se emprega coagulação química.

As unidades de decantação são projetadas com base na taxa de aplicação superficial (TAS), que está diretamente relacionada à velocidade de sedimentação das partículas suspensas na água e é calculada dividindo-se a vazão afluente ao decantador pela sua área em planta. A NBR-12216 (ABNT/1992) recomenda que a TAS seja determinada por meio de ensaios de laboratório e que, não sendo possível a realização dos ensaios, sejam adotados os seguintes valores, em função da capacidade das ETAs e de seu nível operacional:

TAS em função da vazão tratada na ETA (ABNT,1992)

- ETA que trata até 1.000 m³/dia: TAS de 25 m³m⁻²d⁻¹
- ETA que trata entre 1.000 e 10.000m³/dia: TAS de 35 m³m⁻²d⁻¹ quando se tem bom nível operacional, caso contrário recomenda-se TAS de até 25 m³m⁻²d⁻¹
- ETA que trata mais de 10.000 m³/dia: TAS de até 40 m³m⁻²d⁻¹

A redução na TAS possibilita melhoria na qualidade da água decantada. Contudo, isso implica a construção de unidades maiores. Deve-se destacar que a definição da TAS depende fundamentalmente da qualidade da água bruta. A remoção de flocos muito leves, tais como os resultantes de água com concentração elevada de determinadas espécies de algas ou que possuem cor verdadeira elevada e baixa turbidez, exige o projeto de decantadores com baixa TAS.

Exemplo: Uma ETA que tem bom nível operacional e que trata 180 L/s possui dois decantadores, cada um com 8 m de largura e 30 m de comprimento. Com base nesses dados, pede-se calcular a TAS dos decantadores e verificar se o valor encontrado atende ao recomendado na NBR-12216 (ABNT/1992).

Solução

- Cálculo da capacidade da ETA (C) em m³/dia

$$C = [\text{vazão (L/s)} \times 86.400 \text{ (s/dia)}] / 1000 \text{ (L/m}^3\text{)}$$

$$C = 180 \times 86.400 / 1000 = 15.552 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- Cálculo da TAS

$$\text{TAS} = C / \text{Área total de decantação}$$

$$\text{TAS} = 15.552 / (2 \times 8 \times 30) = 32,4 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$$

- Comentário: observa-se que sob essas condições a TAS atende à recomendação da norma

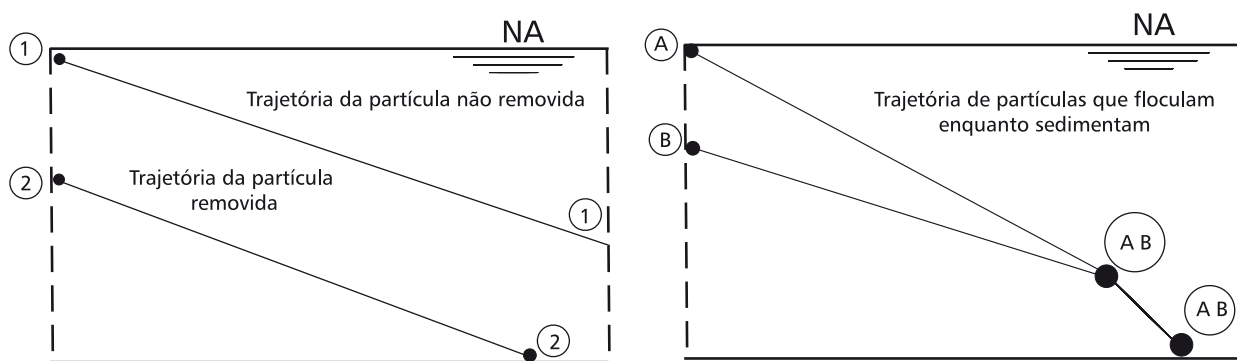
Em um tanque de sedimentação ideal, as partículas que apresentam velocidade de sedimentação maior ou igual ao valor da taxa de aplicação superficial são, teoricamente, removidas. Entretanto, a eficiência da unidade real sofre influência de diversos fatores, como densidade de corrente, ação de vento e ressuspensão de lodo. Também uma fração de partículas com velocidade de sedimentação menor que a correspondente à TAS é removida, dependendo da posição em que entra no decantador e da intensidade da floculação adicional que ocorre no interior da unidade.

Na figura 2.23, as trajetórias das partículas 1 e 2 em um decantador com escoamento horizontal são paralelas, o que indica que possuem a mesma velocidade de sedimentação. Entretanto, apenas a partícula 2 será, teoricamente, removida, supondo que ambas não tenham o tamanho alterado à medida que sedimentam. Embora as duas percorram a mesma distância vertical no tempo de detenção do decantador, a partícula 1, por entrar próximo à superfície, não alcançará o fundo da unidade.

As formulações matemáticas para prever o desempenho das unidades de decantação limitam-se a partículas não-floculentas, não havendo modelo satisfatório para prever o efeito da floculação que ocorre durante a sedimentação. Dessa forma, investigações teóricas tendem a produzir resultados de natureza qualitativa, sendo freqüentemente indispensáveis estudos experimentais para se obterem informações de projeto e operação dessas unidades, nas quais se tem a sedimentação de suspensões floculentas.

Pela figura 2.23, observa-se que durante a sedimentação floclenta (partículas A e B) pode ocorrer contato entre os flocos, resultando na formação de outro com velocidade de sedimentação superior à dos originais, em virtude do aumento no diâmetro nominal daquele flocos que se forma a partir dos dois primeiros (A e B), com melhoria da eficiência da sedimentação. Na prática, contudo, o fenômeno da floculação é muito mais complexo que o mostrado, uma vez que partículas de diferentes formas e densidades estão envolvidas, sendo a floculação influenciada por fatores como a concentração de partículas, o movimento da água no decantador e a intensidade da ruptura dos flocos formados, em função de forças de cisalhamento.

Figura 2.23 – Trajetória da sedimentação de partículas em unidade de decantação com escoamento horizontal



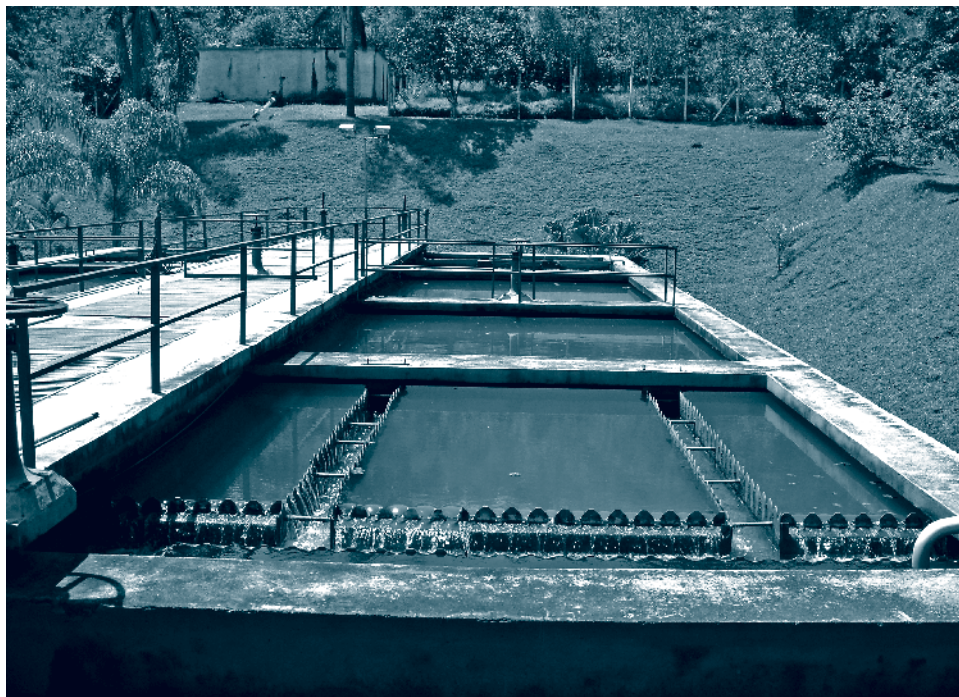
A introdução de módulos (dutos ou placas) no interior do decantador foi uma inovação de grande importância iniciada na década de 1960, dando origem aos chamados “decantadores de alta taxa”. Enquanto nos decantadores convencionais com escoamento horizontal a taxa de aplicação superficial em geral é inferior a $50 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, a introdução de dutos ou de placas possibilita o projeto de unidades com taxas de até $150 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$.

Por possibilitarem maior TAS, os decantadores de alta taxa permitem reduzir o espaço físico ocupado pelas ETAs. Entretanto, quando é necessária a aplicação de produtos químicos que necessitam de maior tempo de contato, os decantadores de alta taxa podem ser inadequados, em virtude de o tempo de detenção nesse tipo de unidade em geral ser inferior a uma hora, enquanto nos decantadores convencionais é de duas a quatro horas. O maior tempo de detenção também possibilita que eventuais problemas durante o tratamento sejam detectados e corrigidos antes que a água seja enviada à população, além de absorver picos de vazão e mudanças bruscas de qualidade da água. Na figura 2.24 apresenta-se um exemplo de um decantador convencional retangular.

Tanto na decantação convencional quanto na de alta taxa, a remoção do lodo depositado no fundo da unidade pode ser realizada mecânica ou manualmente. A frequência dessa operação depende da concentração de sólidos suspensos presentes na água. Em

todo caso, o intervalo decorrido entre duas remoções de lodo não deve ser longo a ponto de possibilitar a solubilização de metais e de outras substâncias prejudiciais à saúde humana que estejam presentes na forma de precipitado no lodo da ETA.

Figura 2.24 – Decantador convencional com escoamento horizontal



A eficiência da unidade de decantação é diminuída quando ocorre mau funcionamento das unidades de coagulação e floculação, o que pode acontecer por problemas operacionais ou quando a água bruta apresenta baixa concentração de partículas, fato que dificulta a coagulação, uma vez que resulta em menor taxa de contato entre as partículas e nos produtos da hidrólise do coagulante, limitando o transporte de massa. Com a finalidade de aumentar a eficiência da coagulação nesses casos, há autores que fazem referência à adição de argila na água bruta para aumentar a eficiência da unidade de floculação e, conseqüentemente, da operação de decantação. Por isso é comum ouvir de alguns operadores o relato de que é mais fácil “limpar” a água no período de chuva do que no período de seca.

Quadro 2.3 – Exemplos de situações ou práticas indesejáveis na decantação

ITEM	SITUAÇÃO OU PRÁTICA INDESEJÁVEIS	CONSEQUÊNCIA	SOLUÇÃO/ PREVENÇÃO DO PROBLEMA
01	Seleção da taxa de aplicação superficial sem a realização de ensaios de tratabilidade para a determinação dos parâmetros ótimos.	Comprometimento da decantação, sobrecarga dos filtros, comprometimento da qualidade da água filtrada e da desinfecção. Falha mais freqüente: • operação do processo inadequada à qualidade da água e às variações de vazão.	Realização de ensaios de tratabilidade e determinação dos parâmetros ótimos, levando em consideração variações sazonais da qualidade da água e das vazões.
02	Falhas de projeto ou construtivas de unidades de decantação Exs.: tempo de detenção inadequado; taxas de aplicação superficial inadequadas.	Comprometimento da decantação, sobrecarga dos filtros, comprometimento da qualidade da água filtrada e da desinfecção. Falha mais freqüente: • operação do processo inadequada à qualidade da água e às variações de vazão.	Determinação criteriosa dos parâmetros de projeto e execução cuidadosa das unidades de decantação. Levantamento das dimensões exatas das unidades executadas e em operação; levantamento dos parâmetros reais de operação; comparação com os parâmetros ótimos e realização dos ajustes necessários.
03	Falhas de projeto ou construtivas de unidades de decantação. Exs.: distribuição desigual da água floculada para os decantadores, por deficiência do canal de distribuição ou da cortina distribuidora; estruturas de entrada inadequadas.	Comprometimento da decantação, sobrecarga dos filtros, comprometimento da qualidade da água filtrada e da desinfecção. Falhas mais freqüentes: • gradientes excessivos na conexão floculador–decantador e nas estruturas de entrada do decantador, com possibilidade de ruptura dos flocos; • favorecimento de zonas mortas ou curtos-circuitos.	Levantamento das dimensões e das características hidráulicas das unidades executadas e em operação e realização dos ajustes necessários. Ex.: os gradientes na conexão floculador–decantador e nas estruturas de entrada do decantador devem ser inferiores ao gradiente da última câmara de floculação. Otimizar a distribuição de fluxo entre decantadores e em cada unidade.
04	Falhas de projeto ou construtivas de unidades de decantação Ex.: coleta desigual de água decantada por desnivelamento dos vertedores ou das bordas das calhas de coleta de água decantada.	Comprometimento da decantação, sobrecarga dos filtros, comprometimento da qualidade da água filtrada e da desinfecção. Falhas mais freqüentes: • arraste de flocos; • favorecimento de zonas mortas ou curtos-circuitos.	Implantar vertedores ajustáveis devidamente nivelados ou nivelar os vertedores existentes.
05	Controle operacional inadequado da decantação.	Comprometimento da decantação, sobrecarga dos filtros, comprometimento da qualidade da água filtrada e da desinfecção. Falhas mais freqüentes: • operação do processo inadequada às variações de qualidade da água e de vazões; • sobrecarga dos decantadores.	Realização sistemática de teste de jarros, com base nos parâmetros reais de operação, abrangendo variações sazonais da qualidade da água e de vazões. Controle e variação de vazões a fim de adequar as taxas de aplicação superficiais aos parâmetros ótimos, de acordo com as variações da qualidade da água. Otimização do processo com decantação laminar.

Continua...

Continuação

ITEM	SITUAÇÃO OU PRÁTICA INDESEJÁVEIS	CONSEQÜÊNCIA	SOLUÇÃO/ PREVENÇÃO DO PROBLEMA
06	Limpeza deficiente dos decantadores.	Comprometimento da decantação, sobrecarga dos filtros, comprometimento da qualidade da água filtrada e da desinfecção. Desenvolvimento de odores ofensivos, desprendimento de gases da zona de lodo, ressuspensão de flocos.	Provisão de estruturas adequadas de descarga de lodo e limpeza periódica dos decantadores.

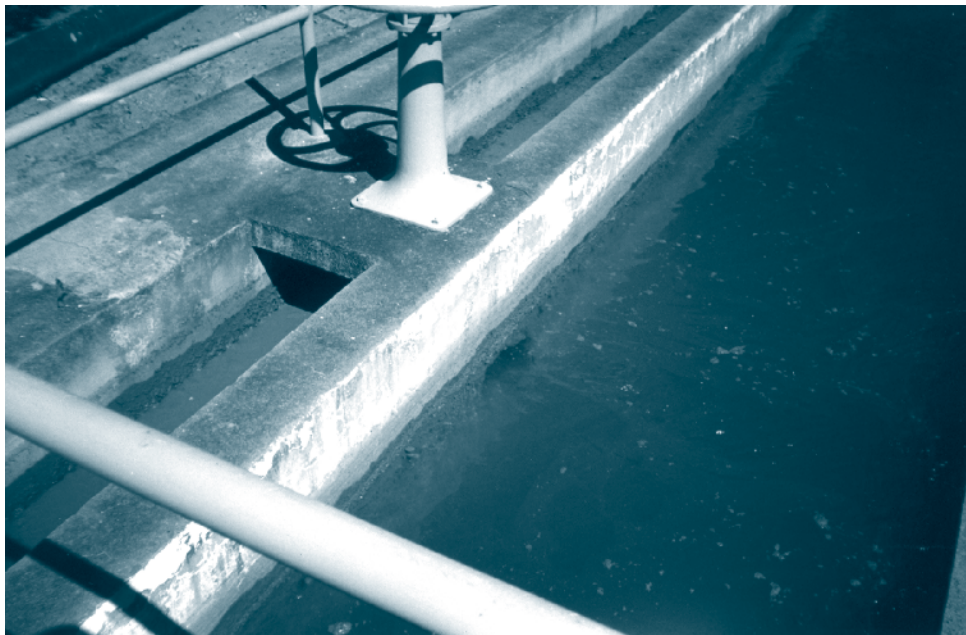
Figura 2.25 – Qualidade da água visivelmente distinta em séries paralelas de decantadores, provavelmente por aplicação não homogênea do coagulante e distribuição não uniforme do fluxo



Figura 2.26 – Decantador circular de fluxo radial desnivelado com a instalação de bordas vertedouras ajustáveis para corrigir problema de desnivelamento



Figura 2.27 – Dispositivo inadequado de entrada de água flocculada no decantador, provocando quebra de flocos



FILTRAÇÃO

A filtração no tratamento de água envolve a passagem da água através de um meio granular estacionário, geralmente areia, embora outros materiais possam ser utilizados (pedregulho, antracito, material granular plástico, etc.). A remoção de impurezas nesse processo é complexa e pode envolver mecanismos físicos, químicos e biológicos, a depender do tipo de filtro.

Os filtros são classificados e referenciados de várias formas. Talvez a forma mais comum de classificação seja aquela baseada na taxa de filtração, ou seja, na vazão de água que é tratada por unidade de área em planta do filtro. A taxa de filtração é também denominada “velocidade de filtração” ou “velocidade de aproximação”, uma vez que se caracteriza em uma grandeza de velocidade. Nesse caso os filtros são classificados como filtros rápidos (taxa de filtração usualmente de 120 a 600 m/d) ou filtros lentos (taxa de filtração usualmente de 2 a 6 m/d).

É importante ressaltar que a filtração rápida e a filtração lenta não diferem apenas na taxa de filtração. Esses dois tipos de filtração diferenciam-se também no mecanismo de remoção de impurezas, nas necessidades de pré-tratamento ou no condicionamento da água bruta, nas características do material granular e nos métodos de limpeza e operação. Por essa razão, nesse texto, esses dois tipos de filtração são tratados separadamente.

Independentemente do tipo de filtro, em geral a filtração é o processo final de remoção de impurezas realizado em uma estação de tratamento de água e, portanto, principal responsável por garantir a produção de água com qualidade compatível com o padrão de potabilidade.

De acordo com a AWWA (1991), os sistemas de tratamento que envolvem filtração, quando projetados e operados adequadamente, levando em consideração a qualidade da água bruta, são capazes de promover remoções de cistos de *Giardia* de, no mínimo, 99% (2-log) e de, pelo menos, 90% (1-log) de remoção de vírus, sem a etapa de desinfecção. Em função do papel importante da filtração na remoção de organismos patogênicos e na garantia da qualidade microbiológica da água para consumo humano, a Portaria MS nº 518/2004, no seu artigo 23, determina que “toda água para consumo humano suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização deve incluir tratamento por filtração”.

Filtração rápida

Como pôde ser visto na figura 2.16, para utilização da filtração rápida no tratamento de água faz-se necessário, minimamente, o condicionamento químico da água, com a adição de coagulante. A necessidade de outras etapas de condicionamento ou pré-tratamento depende da qualidade da água bruta.

A necessidade da etapa de coagulação nos tratamentos com filtração rápida está relacionada com os mecanismos de remoção de impurezas que atuam, ou devem atuar, nesse tipo de filtro. Em função da taxa ou da velocidade de filtração, os meca-

nismos físico-químicos são predominantes na filtração rápida. Assim, considera-se que a filtração rápida é o resultado da ação de três mecanismos distintos e complementares: transporte, aderência e desprendimento.

Em primeiro lugar, pela ação dos “mecanismos de transporte”, as partículas devem-se aproximar das superfícies dos grãos do meio filtrante e, posteriormente, pela ação dos “mecanismos de aderência”, devem permanecer aderidas a esses grãos para resistir às forças de cisalhamento resultantes das características do escoamento ao longo do meio filtrante (IVES, 1970). Quando as forças de cisalhamento superam as forças responsáveis pela aderência, tem-se o desprendimento das partículas.

Segundo O’Mélia (1985) e outros autores (IVES, 1970; DI BERNARDO, 1993), os mecanismos de transporte são influenciados, principalmente, por forças físicas como a advecção e a gravidade. Dentre os mecanismos de transporte comumente considerados para explicar a aproximação das partículas aos grãos do meio filtrante, citamos: impacto inercial, interceptação, sedimentação, difusão e ação hidrodinâmica. Cleasby (1990) ressalta que o mecanismo dominante depende das características físicas e químicas da suspensão e do meio, da taxa de filtração e das propriedades químicas da água, contudo, para Ives (1970), os mecanismos de sedimentação, interceptação e difusão têm sido considerados os mais importantes.

Como mencionado, quando próximas à superfície dos grãos do meio filtrante, as partículas são capturadas e aderidas a estes por meio dos mecanismos de aderência. A aderência é atribuída a duas categorias de fenômenos: interação entre as forças elétricas e as de Van der Waals; e interação superficial de origem química, que é fortemente influenciada pela coagulação (O’MÉLIA, 1985; DI BERNARDO, 1993). A eficiência da aderência entre partículas transportadas e grãos depende, principalmente, das propriedades das superfícies de ambos. As partículas podem tanto aderir diretamente às superfícies dos grãos como às partículas previamente retidas. Assim, quando o processo de desestabilização de impurezas (coagulação) não é eficiente, a aderência fica comprometida e a remoção de impurezas nos filtros não é satisfatória.

A filtração rápida pode ser entendida como uma quantidade de subcamadas que, progressiva e seqüencialmente, vão exaurindo sua capacidade de retenção de partículas. Na filtração descendente, por exemplo, a água com maior quantidade de impurezas encontra, primeiramente, as subcamadas de menor porosidade. À medida que as partículas são retidas nos vazios intergranulares, causam o estreitamento dos canais do meio filtrante e o conseqüente aumento da velocidade intersticial. Esse aumento da velocidade intersticial, responsável pelas forças de cisalhamento, faz com que parte das partículas retidas seja arrastada para subcamadas inferiores, ocorrendo a filtração com ação de profundidade (IVES, 1970; DI BERNARDO, 1993).

A filtração com ação de profundidade é desejável na filtração rápida, porém o controle da qualidade do efluente dos filtros é importante para evitar o sur-

gimento de quantidades indesejadas de impurezas na água filtrada, fenômeno denominado “traspasse”.

Considerando os mecanismos de transporte e de aderência das partículas e a forma como a filtração ocorre, pode-se dizer que a eficiência da filtração está relacionada às propriedades físicas e químicas da suspensão a ser filtrada, às características do meio filtrante e às condições hidráulicas.

Após certo período de funcionamento, faz-se necessária a limpeza do filtro. Na filtração rápida, o momento da limpeza do filtro, ou seja, da interrupção de uma carreira de filtração (período de funcionamento dos filtros entre lavagens), é geralmente determinado pela condição que ocorrer primeiro dentre as duas seguintes: traspasse de impurezas no efluente ou dissipação total da carga hidráulica disponível para operação do filtro.

A limpeza realiza-se por meio de lavagem com água no sentido ascensional, utilizando taxa ou velocidade da água de lavagem que promova a fluidificação parcial do meio filtrante e o conseqüente desprendimento das impurezas da superfície do grão filtrante. Essa lavagem deve ser realizada com água tratada.

A lavagem efetiva do meio filtrante é essencial para o sucesso de longo prazo da filtração. O objetivo imediato da lavagem do filtro é a recuperação da capacidade de acumulação de impurezas no meio granular. Porém, a lavagem deve garantir que, no médio e longo prazos, o filtro se apresente com grau de limpeza aceitável e que problemas como bolas de lodo e “rachaduras” no meio filtrante sejam evitados.

A lavagem com água no sentido ascendente pode ser complementada pelas chamadas lavagens auxiliares, como a insuflação de ar precedendo a lavagem com água no sentido ascensional, ou pela lavagem superficial ou subsuperficial, realizada, ou não, de forma concomitante com a lavagem com água no sentido ascensional. Além de melhorar a limpeza do meio filtrante, as lavagens auxiliares podem levar à diminuição do volume de água gasto na lavagem, minimizando as perdas de água e facilitando o tratamento desse resíduo gerado no filtro.

Os filtros rápidos podem ser de escoamento ascendente ou descendente. Os filtros de escoamento ascendente são utilizados nas seqüências de tratamento por filtração direta ascendente e na primeira etapa da dupla filtração. No caso da dupla filtração, eles podem ser de areia grossa ou de pedregulho.

Os filtros rápidos descendentes são adotados no tratamento convencional (ciclo completo), na filtração direta ou na segunda etapa da dupla filtração. Esses filtros podem ter meio granular composto por mais de um material filtrante, dispostos em camadas. A ordem de colocação das camadas é determinada pela densidade dos materiais filtrantes, de forma que o material mais denso é colocado na camada mais inferior e o menos denso na mais superior. A granulometria das camadas decresce na direção do escoamento, favorecendo o melhor aproveitamento da capacidade de acumulação de sólidos do meio filtrante, com menor desenvolvimento da perda de carga. A versão mais conhecida desse tipo de filtro é o de dupla camada de antracito, no topo, com granulometria mais grossa, e areia, no fundo, com granulometria mais fina.

Di Bernardo et al. (2003) destacam algumas diferenças básicas entre os filtros ascendentes e descendentes quando empregados na filtração direta, entre elas o fato de o meio filtrante empregado na filtração direta ascendente ser geralmente constituído de areia com grãos maiores que os do caso da filtração descendente e com isso apresentar um maior consumo de água para lavagem. Além disso, a coleta de água de lavagem nos filtros ascendentes é geralmente efetuada nas mesmas calhas de coleta de água filtrada, fato que em muitos países limita o uso dessa técnica, em face do risco de contaminação da água filtrada com água de lavagem como resultado de erro em uma manobra operacional durante a lavagem.

Por sua vez, em meios filtrantes estratificados de um único material filtrante, o afluente com maior quantidade de impurezas encontra, inicialmente, as subcamadas com menores vazios entre os grãos na filtração descendente e, em contraposição, na filtração ascendente o afluente encontra inicialmente os maiores vazios intergranulares. Com isso o desenvolvimento da perda de carga resulta menor, o aproveitamento da profundidade do filtro pode ser maior e essa unidade geralmente apresenta carreiras de filtração mais longas.

Durante a operação dos filtros, mudanças bruscas na taxa de filtração resultam em deterioração da qualidade da água filtrada, isso porque o equilíbrio entre as forças de aderência e as forças de cisalhamento podem favorecer o desprendimento de material retido ou ainda não permitir que estes sejam retidos nos vazios intragranulares. Para evitar tais problemas, os filtros devem ser cuidadosamente operados. São reconhecidas quatro condições de operação de filtros rápidos: (i) carga hidráulica disponível constante e resistência total do filtro variável; (ii) carga hidráulica disponível constante e resistência total do filtro constante; (iii) carga hidráulica disponível variável e resistência total do filtro constante; e (iv) carga hidráulica disponível variável e resistência total do filtro variável. Segundo Cleasby (1990), é impossível fazer generalizações sobre a aplicabilidade das diferentes formas de operação de filtros. Cada uma tem sua aplicabilidade e deve ser utilizada quando as condições forem apropriadas.

Essas formas de operação são descritas com detalhes em vários livros-textos e não são aqui discutidas. Porém, cabe mencionar que as opções (ii) e (iii) necessitam de instalação de dispositivos de controle de vazão na tubulação de saída dos filtros ou dispositivos de controle de vazão e de nível. Os filtros operados com carga hidráulica disponível variável e resistência total do filtro variável dispensam tais dispositivos e podem ser de taxa constante ou variável (declinante), em função das características de entrada e saída dos filtros. Nos filtros de taxa constante, a vazão afluente deve ser igualmente distribuída entre os filtros de uma bateria, e essa distribuição é feita por meio de vertedores com descarga livre. Por sua vez, nos filtros de taxa declinante, a alimentação dos filtros é afogada, de modo que os filtros de uma mesma bateria se comportam como vasos comunicantes. O quadro 2.4 apresenta algumas situações ou práticas indesejáveis na operação de filtros rápidos.

Quadro 2.4 – Exemplos de situações ou práticas indesejáveis na filtração rápida

ITEM	SITUAÇÃO OU PRÁTICA INDESEJÁVEIS	CONSEQÜÊNCIA	SOLUÇÃO/PREVENÇÃO DO PROBLEMA
01	Falhas de projeto ou construtivas das unidades de filtração. Ex.: velocidade de filtração ou granulometria do leito filtrante inadequadas à qualidade da água e à técnica de tratamento empregada.	Comprometimento da filtração, da qualidade microbiológica da água filtrada, comprometimento da desinfecção.	Determinação criteriosa dos parâmetros de projeto e execução cuidadosa das unidades de filtração. Levantamento das dimensões exatas das unidades executadas e em operação; levantamento dos parâmetros reais de operação; comparação com os parâmetros de projeto e realização dos ajustes necessários.
02	Controle inadequado da operação – permitir a exposição do leito filtrante sem a necessária submersão ou por tempo mais longo que o recomendado.	Comprometimento da filtração, da qualidade microbiológica da água filtrada, comprometimento da desinfecção. Falhas mais freqüentes: • formação de bolhas de ar e de lodo no interior da camada filtrante; • formação de caminhos preferenciais da água.	Manter o leito filtrante sempre afogado (isso pode ser facilmente conseguido com um vertedor de altura adequada no canal ou no reservatório de água filtrada ou em câmaras individuais). Impedir o total esvaziamento do reservatório de água de lavagem.
03	Controle inadequado das carreiras de filtração.	Comprometimento da filtração, da qualidade microbiológica da água filtrada, comprometimento da desinfecção. Falha mais freqüente: • riscos de picos de turbidez e traspasse de cistos e oocistos de protozoários.	Controle rigoroso das carreiras de filtração por meio do controle da perda de carga durante a filtração e da qualidade da água filtrada em cada unidade de filtração. Manutenção da turbidez da água filtrada inferior a 1,0 uT; idealmente menor do que 0,5 uT.
04	Falhas de projeto, construtivas ou de operação para a lavagem dos filtros. Exs.: deficiência na distribuição da água de lavagem; volume de água, tempo de lavagem e velocidade ascensional insuficientes; velocidades ascensionais excessivas; lavagem superficial deficiente do leito filtrante; pressão excessiva durante a lavagem.	Redução da duração das carreiras de filtração e comprometimento do processo de filtração, da qualidade microbiológica da água filtrada, comprometimento da desinfecção. Falhas mais freqüentes: • deterioração do leito filtrante – formação de bolas de lodo, de rachaduras e colmatagem; • expansão excessiva, desperdício de água, perda de material filtrante e redução da espessura do leito; • formação de bolhas de ar no interior da camada filtrante; • formação de caminhos preferenciais da água; • ruptura dos sistemas de drenagem.	Determinação criteriosa dos parâmetros de projeto e execução cuidadosa dos dispositivos de lavagem. Levantamento dos parâmetros ótimos e reais de operação e realização dos ajustes necessários. Realização de ensaios de expansão do leito e perda de material durante a lavagem. Otimização do tempo de lavagem por meio do controle da turbidez da água de lavagem. Adoção de dispositivos que impeçam a formação de vórtices na entrada e na saída da tubulação de água de lavagem. Adoção de sistemas de lavagem auxiliares.

Continua...

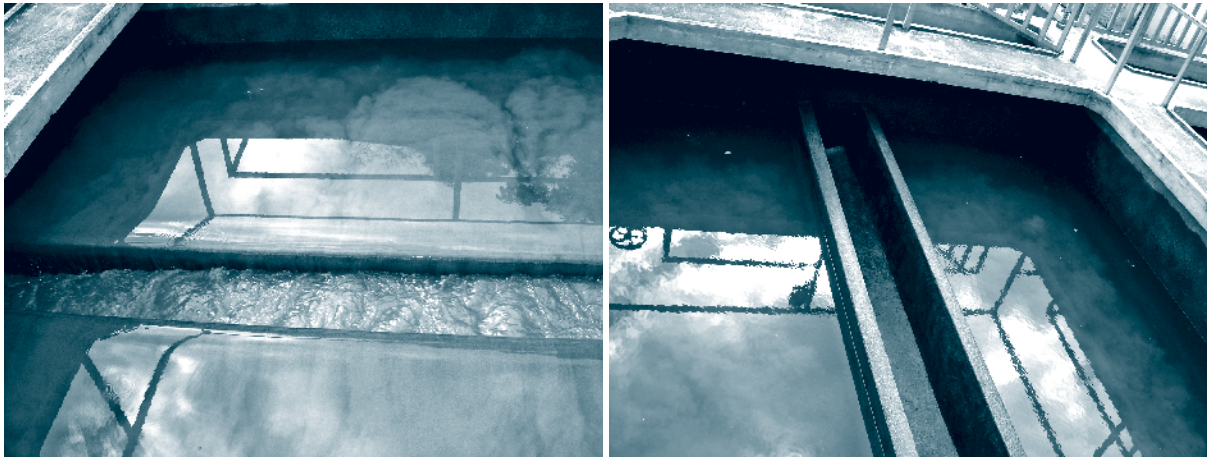
Continuação

ITEM	SITUAÇÃO OU PRÁTICA INDESEJÁVEIS	CONSEQUÊNCIA	SOLUÇÃO/PREVENÇÃO DO PROBLEMA
05	Falhas de projeto e construtivas ou deterioração dos dispositivos de controle de água filtrada e de lavagem.	Riscos de interconexões e contaminação da água filtrada.	Execução cuidadosa dos dispositivos de controle e verificação sistemática de estanqueidade.
06	Controle inadequado da operação pós-lavagem	Risco de deterioração temporária da água filtrada.	Controle rigoroso da qualidade da água filtrada e, se necessário, descarte temporário.
07	Recirculação de água de lavagem sem controle da qualidade microbiológica dessa água.	Risco de comprometimento da qualidade da água tratada.	Melhoria do sistema de recuperação de água de lavagem com produção de água de melhor qualidade. Controle microbiológico da água de lavagem, inclusive de protozoários. Recirculação para a chegada de água bruta com controle da razão de recirculação por meio de tanques de equalização. Evitar a operação quando a contaminação microbiológica for significativa e de risco, mesmo considerando o fator de diluição.
08	Construção de filtros ascendentes sem cobertura.	Risco de comprometimento da qualidade da água tratada.	Previsão de cobertura para a unidade.

Figura 2.28 – Floculador de bandejas ao centro de um decantador circular de fluxo radial, dois filtros rápidos em paralelo, de difícil acesso para operação e manutenção, ETA de pequeno porte, antiga, com operação e manutenção precárias



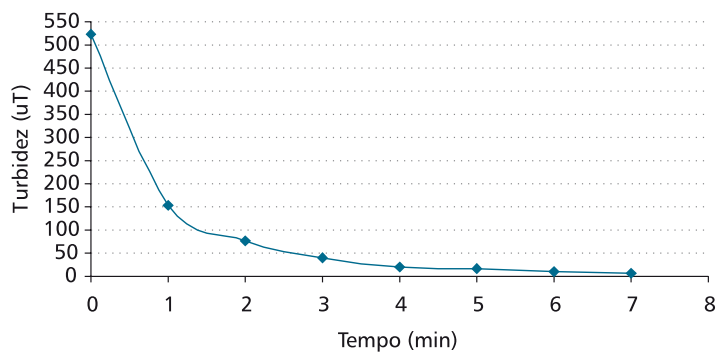
Figura 2.29 – Operação adequada de lavagem de filtro, com visualização de dispositivo de lavagem superficial



Exemplo de Boas Práticas – Otimização do tempo de lavagem de filtros por meio do controle da turbidez da água de lavagem

Turbidez da água de lavagem

AMOSTRA	TEMPO DE COLETA (min)	TURBIDEZ (UT)
1	0	523,0
2	1	153,0
3	2	77,8
4	3	40,5
5	4	21,2
6	5	17,5
7	6	11,6
8	7	6,4



Comentários: o tempo ótimo de lavagem corresponderia à estabilização da turbidez da água de lavagem em valores reduzidos e/ou além dos quais o ganho já não seria justificável em termos de custo x benefício. No caso apresentado, o último evento de coleta corresponde ao término da operação por esgotamento do reservatório de água de lavagem; apesar de permanecer dúvida se a continuidade da lavagem resultaria em redução adicional da turbidez da água de lavagem, com base nos resultados pode-se inferir que 6 a 7 minutos são suficientes para uma boa operação de lavagem do filtro.

Filtração lenta

A filtração lenta é um processo de tratamento de água que não requer o uso de coagulantes nem de equipamentos sofisticados para seu controle, tampouco de mão-de-obra especializada para sua operação. A inexistência, na filtração lenta, das etapas de mistura rápida, floculação e decantação (etapas constituintes do sistema convencional) permite, de modo geral, a produção de água com custos operacionais muito baixos.

Os filtros lentos trabalham com taxas de filtração baixas e usam granulometria fina. Os usos de baixas taxas de filtração levam a um maior tempo de detenção da água sobre o meio filtrante e no seu interior, permitindo o desenvolvimento, na interface água–meio filtrante, de uma camada composta por organismos biológicos e detritos, a chamada *schmutzdecke*, assim como de um “biofilme” na superfície dos grãos filtrantes nos primeiros centímetros do meio filtrante.

Nessa condição, a purificação da água no filtro lento é resultado da combinação da atividade biológica com a retenção físico-química das partículas. Assim, tanto os mecanismos de transporte e aderência como os biológicos são importantes para o bom desempenho do processo. Entretanto, a ação mais importante que ocorre na filtração lenta é, sem dúvida, a atividade biológica.

Na *schmutzdecke*, também conhecida como superfície de coesão, a matéria orgânica biodegradável é oxidada bioquimicamente, assim como as algas mortas e algumas bactérias contidas originalmente na água. Uma fração considerável de partículas inertes (turbidez mineral) é retida nessa camada pela ação de coar e pela adsorção. No meio filtrante, abaixo da superfície de coesão, os grãos de areia, durante o processo de amadurecimento do filtro, são gradativamente revestidos com uma película (biofilme) com composição similar à da *schmutzdecke*, entretanto com menor concentração de algas e partículas e maior conteúdo de micro-organismos (bactérias, bacteriófagos, rotíferos, protozoários, etc.). Nessa região, que pode se estender até os primeiros 30 a 50 cm de profundidade, a matéria orgânica é degradada e assimilada pelo material celular que, por sua vez, é assi-

milado por outros microorganismos e convertido, finalmente, em gás carbônico, água, nitratos e fosfatos, ocorrendo assim a mineralização. A atividade biológica no filtro lento é complexa e, segundo Haarhoff e Cleasby (1991), envolve, além dos aspectos citados anteriormente, a predação, a “saprofagia” e a inativação ou morte de organismos.

As algas têm um papel de fundamental importância na atividade biológica do filtro lento, pois elas se reproduzem absorvendo gás carbônico, nitratos e fosfatos e liberando oxigênio. O oxigênio liberado é utilizado pelas bactérias na atividade bioquímica de assimilação e desassimilação da matéria orgânica. Para uma adequada oxidação da matéria orgânica, a concentração de oxigênio dissolvido deve ser superior a 3,0 mg/L.

Por sua vez, os protozoários exercem importante atividade predatória sobre bactérias, algas, larvas de insetos e outros microorganismos. Sua concentração e distribuição no interior do filtro são bastante desiguais, uma vez que dependem da disponibilidade e da natureza dos alimentos (HAARHOFF; CLEASBY, 1991).

Considerando que as partículas de impurezas presentes na água bruta geralmente são eletronegativas, a tendência natural seria que elas, ao se aproximarem dos grãos filtrantes por meio dos mecanismos de transporte, fossem repelidas. Isso porque os grãos de areia também apresentam cargas superficiais eletronegativas; entretanto, essa repulsão é pequena no filtro lento. A maioria dos trabalhos que discutem a questão dos mecanismos de aderência no filtro lento sugere a adsorção como o principal responsável pela adesão de partículas finas ao meio filtrante e associa a eficiência da adsorção ao grau de amadurecimento biológico do filtro. Haarhoff e Cleasby (1991) apresentam uma boa discussão sobre as principais hipóteses propostas para a explicação da aderência nos filtros lentos.

- A formação da *schmutzdecke* pode levar alguns dias ou até semanas. Esse intervalo de tempo é denominado “período de amadurecimento” de um filtro lento.
- A eficiência da filtração lenta depende essencialmente do amadurecimento biológico do filtro. Somente após esse amadurecimento, o filtro se encontra em condições adequadas de produzir água tratada de boa qualidade.
- A atividade biológica presente no filtro depende essencialmente da quantidade de nutrientes presentes na água bruta e da temperatura.

Uma das principais vantagens atribuídas ao filtro lento é sua excelente capacidade de remoção de organismos patogênicos. O quadro 2.5 mostra as porcentagens de remoção de alguns organismos patogênicos segundo diversos autores.

Quadro 2.5 – Remoção de microorganismos patogênicos e indicadores de contaminação pela filtração lenta

MICROORGANISMO	PERCENTAGEM DE REMOÇÃO	AUTOR
Coliformes totais	> 99%	Bellamy et al. (1985)
Vírus (<i>Polivírus 1</i>)	98,25 – 99,99%	Poynter e Slade (1977)
Cistos de <i>Giardia</i>	> 98%	Bellamy et al. (1985)
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	> 99,99%	Timms et al. (1995)
Cercárias de <i>Schistosomona</i>	100%	Galvis et al. (1997)

FONTE: Di Bernardo et al. (1999)

De acordo com os diferentes autores, o desempenho dos filtros lentos na remoção de microorganismos depende de fatores tais como: a taxa de filtração; a temperatura; a profundidade do meio filtrante; o tamanho dos grãos da areia; o coeficiente de desuniformidade; a maturidade do meio filtrante, entre outros.

Apesar de a filtração lenta ter uma excelente remoção microbiológica, é obrigatória a desinfecção do efluente do filtro, garantindo que haverá um residual de cloro na rede distribuidora.

Quanto à cor verdadeira, a remoção no filtro lento não é eficaz, uma vez que ela ocorre em razão da presença de partículas dissolvidas e coloidais, sendo, portanto, necessário um pré-tratamento químico (coagulação) para removê-las.

A remoção de algas no filtro lento depende das características desse organismos e de sua concentração. De acordo com o trabalho de Mouchet e Bennéye (1998), há uma remoção de algas da ordem de 99% no processo de filtração lenta. A colmatagem dos filtros, em consequência da grande concentração de algas na água afluente, pode ser evitada, ou minimizada, com a adoção de processos de pré-tratamento, como a pré-filtração em pedregulho.

A filtração lenta é usada no tratamento de água para consumo humano desde o século XIX. No Brasil, até a década de 1960 esse tipo de filtração tinha emprego privilegiado, porém passou a ser desprezado a partir dos anos 1970. Dois aspectos contribuíram para esse processo de substituição tecnológica: a deterioração da qualidade de vários mananciais e a forte influência norte-americana na prática de tratamento de água no Brasil. Com isso, mesmo em situações nas quais a filtração lenta se mostrava a tecnologia mais sustentável (manancial preservado, comunidades rurais ou de pequeno ou médio porte), essa alternativa era esquecida.

Cabe mencionar que, atualmente, em diversos países europeus, pelas suas vantagens na remoção de cistos de *Giardia* e de oocistos de *Cryptosporidium*, a filtração

lenta é a unidade final de uma sequência de tratamento, sendo precedida de unidades como a pré-oxidação, a coagulação, a floculação, a flotação ou a decantação, a filtração rápida e os filtros de carvão ativado granular.

O processo de filtração lenta convencional – no qual o filtro lento é a única unidade de clarificação da água bruta – é limitado a águas que tenham valores de turbidez, cor verdadeira e teor de sólidos suspensos relativamente baixos. Porém, como pode ser visualizado na figura 2.15 e na tabela 2.1, a filtração lenta precedida de sistemas simples de pré-tratamento pode tratar água de qualidade mais comprometida.

O objetivo do sistema de pré-tratamento é condicionar a água bruta para permitir o bom funcionamento do filtro lento. No sistema conhecido como “filtração em múltiplas etapas” (Fime), a primeira etapa, de pré-filtração dinâmica, é essencialmente voltada para a remoção de sólidos grosseiros, porém há também a remoção de organismos e de algum material fino. Na segunda etapa do pré-tratamento, a pré-filtração em pedregulhos de granulometria decrescente, ocorre a remoção de material mais fino, patogênicos e algas. Nessa etapa, os pré-filtros de pedregulho podem ser de fluxo vertical (ascendente ou descendente) ou horizontal. Estudos para o desenvolvimento dessas tecnologias têm sido de fundamental importância para a retomada do uso da filtração lenta.

Como já mencionado, a capacidade de remoção de impurezas no filtro lento depende do adequado amadurecimento do filtro, ou seja, do desenvolvimento da *schmutzdecke* e da maturidade biológica do meio filtrante. Por essa razão, no início da operação do filtro lento, a água filtrada produzida geralmente se apresenta com qualidade insatisfatória, tanto do ponto de vista físico-químico como do microbiológico.

Assim, durante o período de amadurecimento, a água produzida no filtro lento deve ser desviada para o sistema de drenagem da estação. Para acelerar o período de amadurecimento dos filtros lentos, recomenda-se que nos primeiros dias de funcionamento essa unidade seja operada com taxas inferiores à taxa de filtração de projeto, iniciando-se com 25% dessa taxa e aumentando gradativamente (50%, 75%) até atingir o valor de projeto. No caso do filtro lento precedido de pré-filtros de pedregulho, Di Bernardo e Valenzuela (1992) recomendam que, nos dois ou três primeiros dias de funcionamento, o filtro lento seja alimentado diretamente com água bruta ou com efluente do pré-filtro dinâmico, desviando-se a água do pré-filtro ascendente.

As tarefas diárias de operação de um filtro lento envolvem: o controle e o registro da vazão afluente; a medição e o registro da turbidez da água filtrada; a remoção do material flutuante; a medição e o registro da perda de carga. O controle da vazão afluente ao filtro lento é fundamental, pois tanto a eficiência do filtro, principalmente no que tange à remoção de microorganismos patogênicos, como o desenvolvimento da perda de carga dependem da taxa de aplicação adotada. Periodicamente faz-se necessária a limpeza das canaletas e das câmara de entrada.

Os filtros lentos podem ser operados com taxa constante e nível de água no seu interior constante ou variável, sendo a última opção mais fácil de executar. Nesse caso, quando o nível d'água no filtro atinge o limite estabelecido, com perda de carga hidráulica máxima, faz-se necessário realizar a raspagem da superfície do meio filtrante, bem como a limpeza das câmaras de entrada e saída de água e das paredes internas do filtro.

A raspagem do meio filtrante é uma operação delicada e pode ser realizada de forma manual ou mecanizada. A limpeza mecanizada é opção geralmente adotada em grandes instalações e em países desenvolvidos, enquanto a limpeza manual é comum nas pequenas instalações.

O procedimento de limpeza tem início com a interrupção da alimentação de água para a unidade filtrante e a drenagem da lâmina d'água acumulada sobre a areia. Não é recomendada a drenagem total da água do filtro. Recomenda-se que a drenagem seja interrompida quando a lâmina de água do filtro se encontre cerca de oito centímetros abaixo da superfície do meio filtrante.

A raspagem manual consiste na remoção de um a dois centímetros do topo da areia, com o auxílio de uma pá. Para evitar o contato direto das botas e dos baldes com a areia, recomenda-se o uso de pranchas de madeira como passarelas para os operadores. Findo o procedimento de raspagem, o operador, com o auxílio de um “rodo de madeira”, deve nivelar a superfície do meio filtrante.

Ao repor o filtro em operação é necessário, inicialmente, alimentá-lo com água filtrada no sentido ascensional, a fim de evitar a permanência de ar nos interstícios do meio filtrante. Esse procedimento pode ser realizado por meio de um arranjo apropriado da tubulação da câmara de saída dos filtros lentos e deve ser feito com velocidade ascensional baixa, inferior à taxa de filtração do filtro lento. Somente após o nível da água se encontrar acima do meio filtrante, a alimentação da água afluyente ao filtro lento deve ser iniciada.

A areia retirada do filtro lento no procedimento de raspagem deve ser rigorosamente lavada, seca e estocada em local ventilado, para a futura reposição no filtro. Recomenda-se que essa reposição seja realizada quando, após diversas raspagens, a espessura da camada de areia diminuir para cerca de cinquenta a sessenta centímetros.

Nesse arranjo, a areia remanescente no filtro, que está colonizada com microorganismos, ficará na sua superfície, promovendo um amadurecimento mais rápido do filtro quando este é reposto em operação. De acordo com a literatura, a drenagem total do meio filtrante, o revolvimento e a reposição da areia limpa afetam negativamente a eficiência do filtro lento. O quadro 2.6 resume algumas situações e práticas inadequadas ou indesejadas na operação de sistemas de filtração lenta.

Quadro 2.6 – Exemplos de situações ou práticas indesejáveis na filtração lenta

ITEM	SITUAÇÃO OU PRÁTICA INDESEJÁVEIS	CONSEQÜÊNCIA	SOLUÇÃO / PREVENÇÃO DO PROBLEMA
01	Não aguardar o tempo de amadurecimento da unidade filtrante (desenvolvimento da camada e da maturidade biológicas do meio filtrante), após sua limpeza.	Produção de água filtrada com qualidade insatisfatória.	Após a limpeza de cada unidade filtrante, a água nela produzida deve ser desviada para o sistema de drenagem da instalação. Decorridos alguns dias, ocorre a gradual melhora da qualidade da água filtrada, mas o momento a partir do qual a água poderá ser aproveitada dependerá da turbidez e da densidade de coliformes na água filtrada, recomendando-se os limites, respectivamente, de 2 uT e de 100 coliformes totais/100mL para a eficiente desinfecção da água.
02	Inexistência de no mínimo duas unidades filtrantes, para que uma possa ser retirada de operação, durante sua limpeza e o amadurecimento referido no item anterior.	Produção de água filtrada com qualidade insatisfatória no período de alguns dias que se seguem à limpeza da única unidade filtrante existente.	Construir pelo menos mais uma unidade filtrante.
03	Limpeza inadequada das unidades filtrantes e das respectivas câmaras de entrada e saída.	Aumento do teor de matéria orgânica na água filtrada, com desenvolvimento de odores ofensivos e subprodutos tóxicos da cloração da água.	Além da adequada raspagem e limpeza da camada mais superficial de cada unidade filtrante, suas paredes e câmaras de entrada e saída de água devem ser rigorosamente limpas, para evitar a formação de lodo ou limo e também o desenvolvimento de algas.
04	Limpeza e estocagem inadequadas da areia retirada dos filtros.	Deterioração da qualidade da água por matéria orgânica, quando do retorno da areia à unidade filtrante.	A areia retirada por raspagem do filtro lento deve ser cuidadosamente lavada, seca e estocada em local ventilado, para posterior retorno ao filtro. A lavagem deve ser feita em tanque ou câmara de lavagem, dotada de água corrente.
05	Não afogamento da unidade filtrante durante seu funcionamento.	Prejuízo à qualidade da água filtrada, pela dificuldade na formação da camada biológica e pelo desenvolvimento de bolhas de ar na primeira camada filtrante.	Implantar vertedor ou válvula de parada (registro) na saída de água filtrada, a fim de manter sempre uma lâmina líquida sobre a superfície do leito filtrante com espessura mínima de 4 cm.

Continua...

Continuação

ITEM	SITUAÇÃO OU PRÁTICA INDESEJÁVEIS	CONSEQUÊNCIA	SOLUÇÃO / PREVENÇÃO DO PROBLEMA
06	Água bruta com qualidade incompatível com a tecnologia de filtração lenta – sobrecarga de sólidos.	Carreira de filtração curta em relação ao período de amadurecimento com baixa produção efetiva de água.	Em caso de a sobrecarga de sólidos ser eventual e de curto prazo, uma redução na taxa de filtração pode minimizar o impacto da sobrecarga nos filtros. O uso de mantas sintéticas sobre a areia também pode auxiliar. Em caso de o manancial apresentar sinais de degradação continuada da qualidade da água bruta, implantar sistemas de pré-tratamento, como, por exemplo, os pré-filtros de pedregulho.
07	Operação dos filtros com taxas de filtração superiores à taxa de projeto.	Produção de água filtrada com qualidade insatisfatória, particularmente do ponto de vista microbiológico. Aumento da taxa de crescimento da perda de carga com diminuição da duração da carreira de filtração e produção efetiva de água.	Observância no controle da vazão de alimentação dos filtros lentos. Instalação de dispositivos de controle, se necessário.

DESINFECÇÃO

Após a clarificação da água, procede-se à desinfecção, ou seja, à destruição ou à inativação de organismos patogênicos pela aplicação de um agente desinfetante. Os mais empregados são: oxidantes químicos, como cloro, dióxido de cloro e ozônio, e radiação ultravioleta.

Quadro 2.7 – Características dos principais desinfetantes utilizados no tratamento da água para consumo humano

DESINFETANTE	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Cloro	Elevada eficiência na inativação de bactérias e vírus. Efeito residual relativamente estável. Baixo custo. Manuseio relativamente simples. Grande disponibilidade no mercado.	Limitada eficiência na inativação de cistos de protozoários e ovos de helmintos. Na presença de matéria orgânica pode formar subprodutos tóxicos, principalmente trihalometanos (THM). Em doses elevadas, pode produzir forte odor e sabor. Alguns subprodutos como clorofenóis provocam também odor e sabor.
Dióxido de cloro	Desinfetante mais potente, inclusive na inativação de cistos de protozoários CT inferiores aos do cloro. Não forma trihalometanos (THM). Eficiência estável em amplas faixas de pH.	Na presença de matéria orgânica pode formar outros subprodutos tóxicos (clorito). Residuais desinfetantes menos estáveis. Em doses elevadas, pode produzir forte odor e sabor. Operação mais delicada e complexa.

Continua...

Continuação

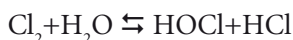
DESINFETANTE	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Ozônio	Desinfetante mais potente, inclusive na inativação de cistos de protozoários. Menor risco de formação de subprodutos tóxicos. Não provoca odor e sabor. CT inferiores aos do cloro.	Pode formar outros subprodutos tóxicos (bromatos e bromofórmio). Não apresenta poder residual. Custos elevados. Técnicas de aplicação mais sofisticadas.
Radiação ultravioleta	Elevada eficiência na destruição dos mais diversos microorganismos em tempo de contato reduzido. Não forma subprodutos. Não provoca odor e sabor.	Não apresenta poder residual. Redução significativa da eficiência com o aumento da cor ou da turbidez da água. Custos elevados. Controle menos preciso das doses aplicadas.

FONTE: Adaptado de Reiff & Witt (1995)

Embora o cloro apresente algumas limitações como desinfetante no tratamento de água para consumo humano, ele continua sendo o mais utilizado, em virtude de seus atributos positivos, principalmente seu poder residual, motivo pelo qual merece maior atenção daqui em diante.

Princípios da cloração

O cloro gasoso reage com a água, formando o ácido hipocloroso (HOCl) e o ácido clorídrico (HCl):



O ácido hipocloroso se dissocia facilmente na água em íons hidrogênio e hipoclorito:

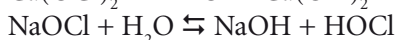


O pH da água determinará qual a forma do cloro predominante:

- pH < 5,0: cloro molecular (Cl₂).
- 5,0 < pH < 7,5: ácido hipocloroso (HOCl).
- pH > 7,5: íon hipoclorito (OCl⁻).

Portanto, para os valores de pH mais usuais de águas de abastecimento (pH > 5,0) prevalecerão as formas HOCl e OCl⁻, denominadas “cloro livre”.

Os sais de cloro (hipoclorito de cálcio e sódio) reagem com a água, formando:



Entretanto, como o cloro é um oxidante potente, quando adicionado à água irá reagir também com a matéria orgânica presente. Ao reagir com a amônia, forma monoclóroaminas, dicloroaminas e tricloroaminas:

- $\text{NH}_3 + \text{HOCl} \rightleftharpoons \text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$ (monoclóroamina)
- $\text{NH}_2\text{Cl} + \text{HOCl} \rightleftharpoons \text{NHCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (dicloroamina)
- $\text{NHCl}_2 + \text{HOCl} \rightleftharpoons \text{NCl}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (tricloroamina)

A forma predominante de cloro combinado é função do pH, da temperatura e das quantidades relativas de amônia e cloro disponíveis. No que se refere ao valor de pH, tem-se:

- pH > 9,0: monoclóroaminas
- pH < 5,0: dicloroaminas e tricloroaminas.
- $5,0 < \text{pH} < 9,0$: mono e dicloroaminas, com predominância das monoclóroaminas para pH mais elevado.

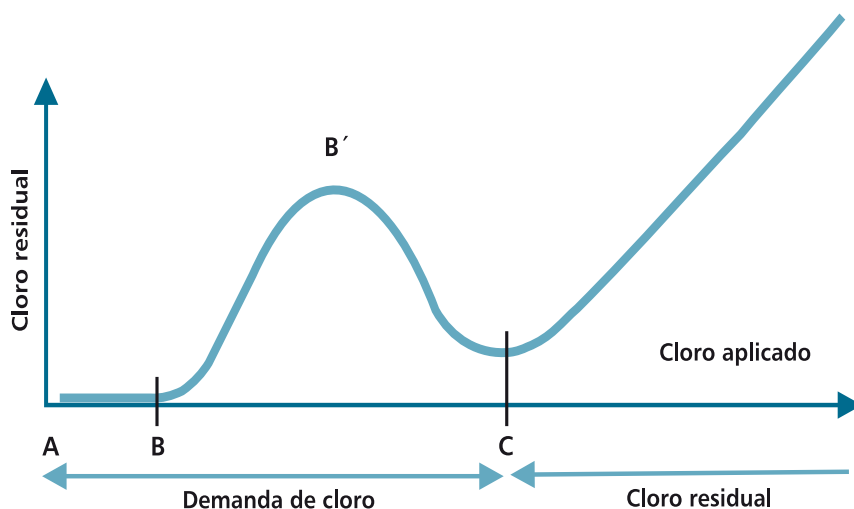
O ácido hipocloroso (HOCl) é um desinfetante muito mais potente que o íon hipoclorito (OCl^-), assim como as dicloroaminas quando comparadas às monoclóraminas. Portanto, o poder desinfetante do cloro decresce em pH elevado, razão pela qual a cloração deve ser efetuada antes da correção final de pH. Por sua vez, o poder desinfetante do cloro livre é muito maior que o do cloro combinado.

Ainda em função do seu poder oxidante, quando se aplica o cloro à água, parte dele é consumido em reações com substâncias orgânicas e inorgânicas em suspensão ou dissolvidas, o que representa a demanda de cloro da água. Completadas as reações, permanecem teores de cloro residual, que podem se apresentar nas formas de cloro residual livre ou cloro residual combinado.

Em dosagens mais elevadas de cloro, as próprias cloroaminas formadas são oxidadas, resultando em residuais de cloro apenas na forma de cloro livre.

Pelo exposto, conclui-se que a cloração deve ser preferencialmente realizada em águas com a menor turbidez e cores possíveis (caso contrário pode-se aumentar a demanda de cloro e os teores de cloro residual combinado). A figura 2.30 ilustra a questão.

Figura 2.30 – Evolução do teor de cloro residual em função da dosagem de cloro



FONTE: Opas (1999)

- AB: o cloro introduzido na água é inteiramente consumido na oxidação da matéria orgânica. Enquanto esses compostos não forem destruídos, não ocorrerá desinfecção e o cloro residual será nulo.
- BB': o cloro combina-se com compostos nitrogenados, produzindo cloro residual combinado.
- B'C: o cloro oxida as cloroaminas formadas na fase anterior, reduzindo os teores de cloro residual combinado.
- C em diante: completada a oxidação do cloro residual combinado, elevam-se os teores de cloro residual livre, mais eficaz como desinfetante (cloração ao *break point*).

Eficiência da desinfecção

A inativação dos microorganismos se dá pela ação de uma certa dose do desinfetante por um determinado tempo de contato. A eficiência da desinfecção é determinada pelo parâmetro CT (residual desinfetante x tempo de contato) necessário para alcançar uma dada remoção dos diversos microorganismos, usualmente medida em percentual (%) ou unidades logarítmicas (ex.: 99,9% ou 3 log).

$$K = C.T,$$

onde

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

C = concentração do desinfetante (mg/L);

T = tempo de contato para uma dada eficiência de inativação (min).

A cinética da desinfecção obedece a uma reação de primeira ordem, ou seja, a taxa de mortalidade dos organismos é proporcional à quantidade de organismos remanescentes em qualquer instante, expressa na Lei de Chick-Watson:

$$-dN/dt = k NC$$

onde:

-dN/dt = taxa de decaimento;

C = residual desinfetante;

k = constante de decaimento;

N = número de organismos remanescentes em um instante t.

Na tabela 2.3 são apresentadas informações genéricas sobre a eficiência da desinfecção. Tais informações são, de fato, genéricas na medida em que não são especificadas as condições de pH e temperatura da água, fatores estes determinantes na cinética da desinfecção. Para informações mais detalhadas deve-se recorrer à literatura especializada, por exemplo, a citada na tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Valores de CT para a inativação de organismos patogênicos (99,9%)

MICROORGANISMO	CLORO LIVRE	CLORAMINAS	DIÓXIDO DE CLORO	OZÔNIO
<i>E. coli</i>	< 1	> 50	< 1	< 1
Vírus	2-6	> 500	1 - 6	0,5-5
Cistos de <i>Giardia</i>	50-60	> 1.000	≈ 15	0,7-3
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	> 1.000	≈ 7.000	> 60	4-15

FONTE: Adaptado de Sobsey (1989), Reiff & Witt (1995), USEPA (1991,1998, 1999, 2001)

Em geral, em ordem crescente de resistência à desinfecção, apresentam-se as bactérias, os vírus, os protozoários e os helmintos. Observa-se que a inativação de vírus é algo factível; cistos de protozoários são bem mais resistentes e ovos de helmintos praticamente são imunes à ação da maioria dos desinfetantes. Porém, apresentam tamanhos e densidades tais que favorecem a remoção por sedimentação (induzida em processos físico-químicos) e, principalmente, por filtração (ver quadro 2.5). Da tabela 2.3, confirma-se ainda que as cloraminas (cloro combinado) são desinfetantes fracos.

Em geral, considera-se que, observado o tempo de contato, um teor de cloro residual livre de 0,2-0,5 mg/L é adequado e suficiente para a desinfecção bacteriana. Para a destruição de vírus, recomenda-se um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L após trinta minutos de tempo de contato em pH < 8,0 (REIFF & WITT, 1995; OMS, 1995). De modo geral, obtém-se desinfecção adequada de acordo com as recomendações da tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Recomendações para a eficácia da desinfecção

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

FONTE: Opas (1999)

Obs.: 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.

Estas recomendações estão incluídas na Portaria MS nº 518/2004. Naturalmente, como expresso na própria Portaria (artigo 13, parágrafo único): “Admite-se a utilização de outro agente desinfetante [que não o cloro livre] ou outra condição de operação do processo de desinfecção, desde que fique demonstrada pelo responsável pelo sistema de tratamento uma eficiência de inativação microbiológica equivalente”. Para tanto, pode-se consultar publicações como *Comentários sobre a Portaria MS nº 518/2004 – subsídios para implementação*, editadas pela Secretaria de Vigilância em Saúde (Ministério da Saúde) ou USEPA (1991).

Na prática, a dose de cloro a ser aplicada na ETA deve ser fixada de forma que garanta cloro residual livre em qualquer ponto da rede de distribuição cujo teor mínimo, de acordo com o padrão de potabilidade brasileiro, é de 0,2 mg/L. Isso significa dizer que a concentração de cloro a ser adicionada ao tanque de contato deve considerar não apenas a demanda de cloro inerente à qualidade da água filtrada, mas também o consumo no sistema de distribuição.

Quanto aos subprodutos da cloração, destacam-se os trihalometanos (THM). O valor máximo permitido pela Portaria MS nº 518/2004 é de 100 µg/L, porém

a OMS ressalta que o cumprimento desse valor nunca deve vir em prejuízo dos padrões microbiológicos (OMS, 1995). O quadro 2.8 e as figuras 2.31 e 2.32 mostram os exemplos de situações ou práticas desejáveis e indesejáveis na desinfecção.

Quadro 2.8 – Exemplos de situações ou práticas indesejáveis na desinfecção

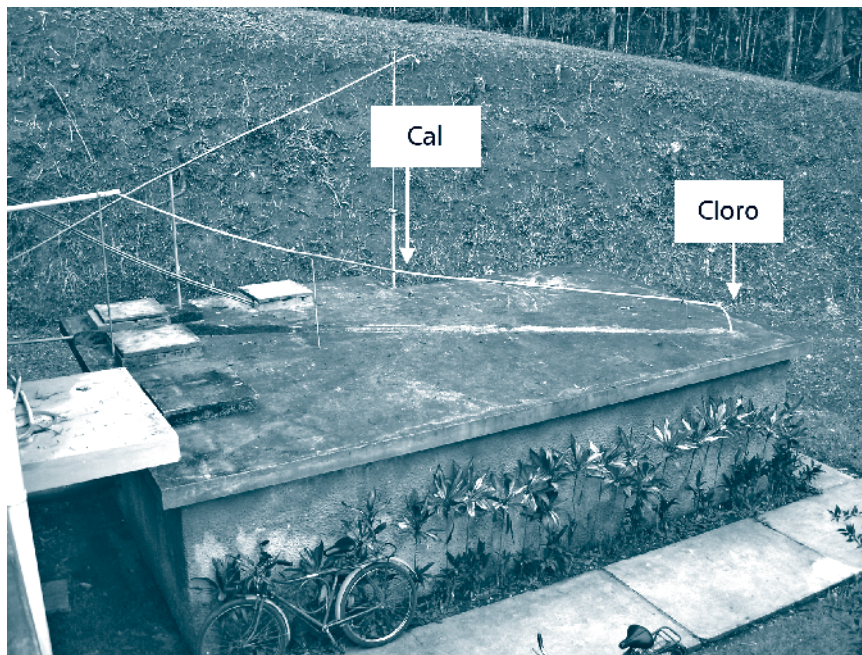
ITEM	SITUAÇÕES OU PRÁTICAS INDESEJÁVEIS	CONSEQUÊNCIA	SOLUÇÃO/ PREVENÇÃO DO PROBLEMA
01	Falhas de projeto ou construtivas no tanque de contato. Exs.: dosagem e/ou tempo de contato insuficientes; mistura inadequada no tanque de contato.	Comprometimento da eficiência da desinfecção. Falha mais freqüente: • favorecimento de zonas mortas ou curtos-circuitos.	Determinação criteriosa dos parâmetros de projeto (dose e tempo de contato) e execução cuidadosa na construção dos tanques de contato. Levantamento das dimensões exatas das unidades executadas e em operação; levantamento dos parâmetros reais de operação; comparação com os parâmetros ótimos e realização dos ajustes necessários. Exs.: construção de chicanas para a melhora da mistura e da distribuição de fluxo, aumento do volume do tanque de contato.
02	Falhas de processo – controle inadequado dos parâmetros de desinfecção.	Comprometimento da eficiência da desinfecção. Falhas mais freqüentes: • dosagem e manutenção de residuais insuficientes.	Determinação da demanda de desinfetante da água e, no caso do cloro, realização de cloração ao <i>break-point</i> . Monitoramento sistemático dos residuais na saída do tanque de contato e, no caso do cloro, garantia dos residuais recomendados de cloro livre. Monitoramento sistemático e controle do pH de desinfecção.
03	Falhas de equipamentos ou de operação. Aplicação do desinfetante em pontos inadequados. Equipamentos em estado precário de manutenção. Controle inadequado da dosagem.	Comprometimento da eficiência da desinfecção. Falha mais freqüente: • dosagem insuficiente.	Calibração e aferição sistemática dos equipamentos de dosagem. Aplicação do cloro e elevação final de pH, respectivamente, na entrada e na saída do tanque de contato.
04	Controle inadequado da formação de subprodutos secundários da desinfecção.	Formação de produtos secundários da desinfecção em concentrações que representam riscos à saúde.	Monitoramento e controle de precursores da formação de produtos secundários da desinfecção (ex.: carbono orgânico total – COT, cor verdadeira). Controle da dosagem de desinfetantes. Monitoramento sistemático da qualidade da água desinfetada.

NOTA: O tanque de contato deve ser objeto dos mesmos cuidados sanitários recomendados para os reservatórios (ver seção 2.5, a)

Figura 2.31 – Unidade bastante precária de desinfecção com hipoclorito de cálcio



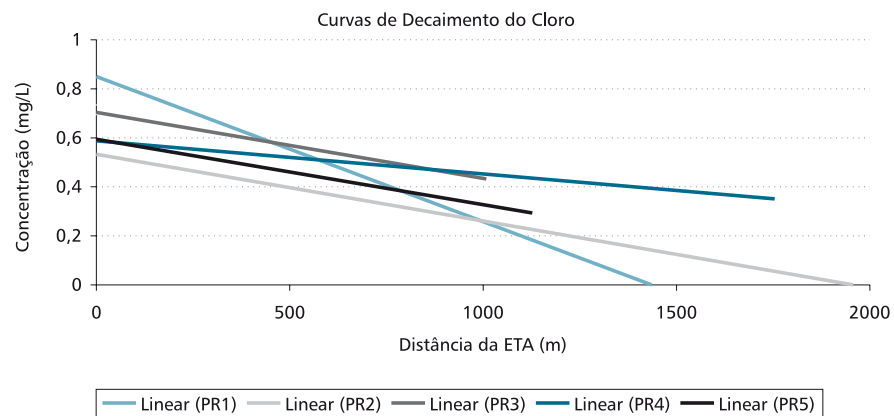
Figura 2.32 – Aplicação correta de produtos químicos no tanque de contato: "cloro" – gás na entrada e "cal" na saída



Exemplo de boas práticas – Determinação da dinâmica do cloro na rede de distribuição como orientação à dosagem na ETA (estudo de caso)

Com vistas à modelagem da dinâmica do cloro residual na rede de distribuição, foram selecionados cinco trechos, que se estendiam da ETA até cinco pontas de rede (PR) (ETA–PR1, ETA–PR2, ETA–PR3, ETA–PR4, ETA–PR5) e, ao longo desses trechos, vários pontos de coleta de amostras. Durante quatro meses, a água na rede de distribuição foi analisada para cloro residual, turbidez, cor e ferro.

As informações foram tratadas com base nos dados médios, separados em blocos de acordo com os teores de cloro residual na saída da ETA. Analisando diversas equações ajustadas às curvas de decaimento de cloro livre (informações não incluídas), pode-se admitir que equações lineares bem representem a dinâmica do cloro nos vários trechos da rede, conforme visualizado no gráfico a seguir.



Equações das curvas de decaimento de cloro na rede de distribuição

TRECHO	EQUAÇÃO
ETA–PR1	$y = -0,0006x + 0,8513$
ETA–PR2	$y = -0,0003x + 0,5326$
ETA–PR3	$y = -0,0003x + 0,5333$
ETA–PR4	$y = -0,0001x + 0,3592$
ETA–PR5	$y = -0,0003x + 0,594$

Observa-se que o cloro permanece mais estável nos trechos ETA–PR3, ETA–PR4 e ETA–PR5 e que a água atinge os pontos extremos

(1.000 a 1.800 m) com teores de cloro residual de acordo com as exigências ($\geq 0,2$ mg/L). Nos trechos ETA-PR1 e PR2, o decaimento do cloro é mais rápido e acentuado e, percorridos cerca de 1.000–1.300 m, já se atinge o limite mínimo de 0,2 mg/L, assim como, nas pontas de rede, cerca de 1.500–1.800 m da ETA, os residuais são praticamente nulos.

Difícil e improvável seria explicar o observado com base em apenas uma variável. Indiscutivelmente, um fator decisivo no decaimento do cloro é o comprimento de rede. Os trechos até as pontas de rede PR3 e PR5 são dos menos extensos, mas o percurso até PR4 não é menos longo que os trechos até o PR1 e PR2, e nos três primeiros o cloro mantém-se razoavelmente estável. Por sua vez, a boa qualidade da água decerto contribui para a garantia dos residuais de cloro nos pontos mais distantes dos trechos ETA-PR3 e PR4 e vice-versa, no caso dos trechos ETA-PR1 e PR2. Cabe observar que a localização dos pontos críticos (em termos de elevação de cor e turbidez – dados não incluídos) dos trechos ETA-PR1 e PR2 guarda certa correspondência com a exaustão dos residuais de cloro. Com base nas informações disponíveis, o mais razoável seria considerar um somatório de efeitos entre distância e qualidade da água, além de outros fatores não analisados, tais como vazões e pressões na rede. De toda maneira, torna-se nítida a necessidade de ajustes na dosagem de cloro na ETA de modo que se garanta o residual mínimo nos pontos críticos, e a modelagem realizada fornece o subsídio para tal.

TRATAMENTO COMPLEMENTAR

São dois os processos usualmente empregados para complementar o tratamento da água: (1) estabilização da água, para proteger as unidades do sistema contra os efeitos da corrosão interna e da deposição de substâncias químicas que formam incrustações no interior das tubulações e (2) fluoretação da água, visando à redução da cárie dentária, em atendimento inclusive à legislação federal.

Estabilização da água²

Quanto mais pura for a água, tanto mais corrosiva é aos materiais com que estiver em contato, sendo estes basicamente as tubulações e as paredes de tanques e reservatórios.

Os problemas causados pela corrosividade da água são de ordem sanitária, estética e econômica.

2 O termo *estabilização*, neste capítulo, diz respeito ao condicionamento final da água antes da distribuição e não deve ser confundido com o estado de *estabilização* das partículas, que a coagulação busca minimizar ou eliminar.

Os problemas sanitários são de dupla natureza: (i) incorporação à água (por dissolução) de metais indesejáveis constituintes das tubulações (inclusive materiais de juntas, como as soldas metálicas), a exemplo do chumbo, cádmio, cobre, que representam risco à saúde quando presentes em concentrações superiores às estabelecidas na Portaria MS nº 518/2004 e (ii) formação de incrustações na superfície interna dos tubos por esses metais dissolvidos, por exemplo, o ferro, as quais favorecem o desenvolvimento de biofilmes na rede de distribuição, os quais, por sua vez, podem abrigar bactérias patogênicas ou patógenos oportunistas.

Os inconvenientes estéticos dizem respeito à coloração e aos resíduos sólidos incorporados à água pelos produtos da corrosão, que dificultam a aceitação da água pelos consumidores.

Já o problema econômico está associado à redução da capacidade de escoamento e ao rompimento de tubulações; ao desenvolvimento de perfurações que causam vazamentos em tubos, conexões, peças especiais, aparelhos e equipamentos condutores de água; ao comprometimento de estruturas metálicas e de concreto retentoras de água, como tanques e reservatórios, pelo desgaste de suas paredes; e ao desenvolvimento de manchas em louças sanitárias e em roupas lavadas com água colorida por produtos de corrosão.

Para não ser corrosiva, a água deve possuir determinadas características, resumidas a seguir (LOEWENTHAL et al., 1986).

a) Para não agredir superfícies de concreto, de argamassa de cimento ou de cimento amianto:

- a água deve estar saturada de carbonato de cálcio, ou seja, seu pH deve ser igual ao pH de saturação de carbonato de cálcio;
- a concentração de sulfato na água deve ser inferior a 250 mg/L.

b) Para não corroer metais:

- a água deve estar ligeiramente supersaturada de carbonato de cálcio (CaCO_3);
- suas concentrações de cálcio e alcalinidade devem ser preferivelmente iguais ou superiores a 50mg/L de CaCO_3 (ou 35 mg/L de CaCO_3 para águas dotadas de baixos teores de alcalinidade e cálcio);
- seus teores de cloreto e sulfato não devem resultar em valor superior a 0,2 para a relação “(cloreto+sulfato)/alcalinidade”, calculada em equivalentes-gramas.

Das duas condições anteriores, a mais difícil de conseguir, quando se utiliza água de baixa alcalinidade e reduzida dureza, é a segunda, que visa à proteção de metais. Isso porque, com esse tipo de água, o tratamento usual, à base simplesmente da adição de um alcalinizante como a cal, costuma resultar em pH acima

do limite máximo de 9,5 estabelecido pela Portaria MS nº 518/2004. Quando isso ocorre, a linha de tratamento teria de ser acrescida de um novo processo, a adição de gás carbônico, que é o único produto químico capaz de reduzir o pH sem alterar a dureza de cálcio e a alcalinidade da água. É notável, contudo, que, mesmo não se conseguindo as condições ideais supracitadas para o controle da corrosão metálica, o simples condicionamento da água com cal para aproximar seu pH do valor do seu pH de saturação de carbonato de cálcio, além de praticamente eliminar a agressão a concreto e a outros produtos de cimento, é suficiente para reduzir significativamente a corrosão metálica (ver estudo de caso no final deste tópico).

Como o condicionamento da água pela adição de cal ou de outro alcalinizante costuma resultar em pH geralmente acima de 8 e considerando que a desinfecção pelo cloro demanda quantidades inferiores de cloro quando o pH apresenta valores menores, é importante que o referido condicionamento para o controle da corrosão seja feito após concluído o processo de desinfecção, ou seja, na saída do tanque de contato.

Para águas brutas muito coloridas ou poluídas, isto é, que contenham quantidades significativas de precursores de trihalometanos, e que sejam submetidas à cloração em seu tratamento, o controle da corrosão pela aplicação de cal ou de outro alcalinizante deve ser cuidadosamente avaliado, pois a literatura técnica indica que o pH mais elevado favorece a formação de trihalometanos em águas muito coloridas ou poluídas submetidas à cloração.

Ultimamente, no Brasil, tem-se disseminado a utilização de polifosfatos. Esse produto, preponderantemente um agente desincrustante, freqüentemente tem sido empregado de forma equivocada para o controle da corrosão. A American Water Works Association (1999) ressalta as seguintes observações sobre o emprego dos polifosfatos com essa finalidade: (i) os polifosfatos têm sido utilizados para o controle de tuberculização e para a restauração da eficiência hidráulica das tubulações metálicas; (ii) esses produtos podem fazer com que o tipo de corrosão seja preponderantemente uniforme, que resulta em menos vazamentos e reclamações por motivos estéticos; (iii) tem sido constatado que os polifosfatos atacam e amolecem significativamente os tubos de cimento amianto pela aceleração da dissolução do cálcio; (iv) é razoável esperar efeito similar em tubos de concreto e em tubos revestidos com argamassa de cimento (caso dos atuais tubos de ferro fundido).

Em suma, o tratamento da água com polifosfatos apresenta vantagens no que tange ao controle da corrosão de metais, mas não resolve a agressão da água a produtos de cimento (tubos e paredes de concreto; revestimentos de argamassa de cimento; tubos e caixas d'água de cimento amianto). Pelo contrário, pode agravar este último tipo de corrosão, sobretudo em águas ácidas e muito brandas, pela capacidade dos polifosfatos de complexar o cálcio. Vale dizer, o tratamento com polifosfatos é incompatível com a proteção de superfícies de cimento pelo processo de adição de alcalinizante para obter o pH de saturação de carbonato de cálcio. E deve ser lembrado que águas com pH ácido (menor ou igual a 7), insaturadas de carbonato de cálcio e dotadas de baixa alcalinidade e dureza de cálcio, são extrema-

mente agressivas a estruturas, tubulações e revestimentos feitos com concreto ou argamassa de cimento (ver estudo de caso no final deste tópico).

Com base nas considerações anteriores, pode-se concluir que tão ou mais importante que o condicionamento da água, ainda que para apenas minimizar sua corrosividade, é a utilização de materiais resistentes à corrosão ou à agressão da água, incluindo a execução de estruturas com concreto impermeável e com constituintes menos sujeitos ao ataque de águas agressivas.

Além do controle da corrosividade da água, o tratamento complementar voltado à estabilização da água tem ainda por finalidade evitar a deposição exagerada de partículas ou substâncias químicas que formam incrustações no interior das tubulações, a exemplo do próprio carbonato de cálcio que, quando em excesso, deixa de ser benéfico e passa a ser prejudicial às tubulações. Para águas excessivamente duras, o processo de tratamento a adotar é o abrandamento da água (descrito adiante neste capítulo). Para águas não excessivamente brandas, o importante é que, após a adição de alcalinizante, resulte em água que seja, no máximo, ligeiramente supersaturada de carbonato de cálcio, com potencial de precipitação inferior a 5mg/L de CaCO_3 (LOEWENTHAL et al., 1986), o que pode ser determinado laboratorialmente pelo teste de mármore ou por cálculo em computador com *software* específico.

Análise da saturação de carbonato de cálcio da água (teste de mármore)

É uma análise laboratorial muito simples, que consiste basicamente de análises de dureza de cálcio, abrangendo as etapas descritas abaixo.

- 1 Dividir a amostra da água em duas partes.
- 2 Realizar a análise de dureza de cálcio da primeira parte (AMOSTRA 1), após sua vigorosa agitação.
- 3 Colocar a segunda parte em frasco de DBO de 300 ml (com tampa esmerilhada), adicionando-lhe 0,1 a 0,2 g de carbonato de cálcio (CaCO_3) finamente dividido (quantidade que é mais do que suficiente para tornar a amostra supersaturada de CaCO_3). Essa alíquota de água deve encher o frasco de DBO completamente. Tampar o frasco com a tampa esmerilhada e misturar por rápidas inversões o seu conteúdo. Repetir por diversas vezes essa forma de mistura durante as próximas duas horas. Deixar a garrafa em repouso durante à noite, à temperatura mais próxima possível do fluxo de água original.
- 4 No dia seguinte ($\pm 24\text{h}$ após a operação anterior), filtrar a água a que se adicionou CaCO_3 (o que fará com que essa porção de água fique supersaturada de CaCO_3) e realizar a análise de dureza de cálcio da porção filtrada (AMOSTRA 2).

- 5 A precipitação de CaCO_3 terá ocorrido se a AMOSTRA 2 apresentar concentração de CaCO_3 menor que a da AMOSTRA 1. Quando isso ocorrer, a água em estudo (AMOSTRA 1) estará supersaturada de CaCO_3 , sendo seu potencial de precipitação de CaCO_3 igual à diferença entre as concentrações de cálcio das AMOSTRAS 1 e 2.
 - 6 Se a concentração de cálcio da AMOSTRA 2 for maior que a da AMOSTRA 1, a água em estudo estará insaturada de CaCO_3 , e a diferença entre os valores dessas concentrações medirá seu potencial de dissolução de CaCO_3 (equivalente a um potencial de precipitação de CaCO_3 negativo de igual valor absoluto), correspondendo à quantidade de carbonato de cálcio que se deve adicionar à água para que ela fique saturada de CaCO_3 .
- Se as concentrações de CaCO_3 das AMOSTRAS 1 e 2 forem iguais, a água em estudo estará saturada de CaCO_3 .

Estudo de caso

A água tratada de importante cidade do Sudeste do Brasil apresentava as seguintes características:

pH = 6,8; alcalinidade = 9,0 mg/L CaCO_3 ; dureza de cálcio = 15,0 mg/L CaCO_3 ; condutividade elétrica = 3,8 mS/m; temperatura = 20°C; Índice de Langelier = -2,9; potencial de precipitação de CaCO_3 = -9,5 mg/L CaCO_3 (água fortemente insaturada de carbonato de cálcio).

Essa água mostrou-se fortemente corrosiva a estruturas de concreto (a superfície das paredes de reservatórios, mesmo revestidas com impermeabilizante à base de borracha, estavam desintegrando-se rapidamente) e a tubos de ferro galvanizado (cuja vida útil não excedia a 12 anos). Sua taxa de corrosão de 61 dias em tubos de aço carbono era de 80 mg/dm².dia contra o máximo recomendado de 20 mg/dm².dia.

Para não ser corrosiva a materiais de cimento, a água teria de ser condicionada para atingir seu pH de saturação de carbonato de cálcio, igual a 9,3. Isso exigiria a adição de 3,95 mg/L Ca(OH)_2 de cal. A água passaria a ter alcalinidade de 14,3 mg/L CaCO_3 e dureza de cálcio igual a 20,3 mg/L CaCO_3 .

Para não ser corrosiva a metais, a água deveria ser ligeiramente supersaturada de CaCO_3 (ter potencial de precipitação $\approx$ 4 mg/L CaCO_3) e possuir alcalinidade e dureza iguais a, no mínimo, 35 mg/L CaCO_3 . Isto exigiria a adição de 19,24 mg/L CaCO_3 de cal, o que resultaria em pH = 10,6; alcalinidade = 35,0 mg/L CaCO_3 e dureza de cálcio = 41,0 mg/L CaCO_3 . Como o valor do pH resultante é impraticável para águas de abastecimento doméstico, teriam de ser adicionados também 17,63 mg/L CO_2 de gás carbônico à água, para resultar em pH = 9,2, mantendo-se os valores da alcalinidade, da dureza de cálcio e da precipitação de carbonato de cálcio.

Diante da decisão da empresa de não onerar o custo do sistema com a aplicação de mais um produto químico (gás carbônico), a água foi condicionada para ter pH em torno de 8,8, o que exigiu a adição de dosagens de cal entre 2 e 4 mg/L Ca(OH)_2 , resultando nos seguintes valores médios: alcalinidade = 18,7 mg/L CaCO_3 ; dureza de cálcio = 23,5 mg/L CaCO_3 e potencial de precipitação = -0,66 mg/L CaCO_3 . Mesmo com esse condicionamento parcial, a taxa de corrosão da água a aço carbono em 61 dias reduziu-se a 51mg/dm².dia (redução de 36%). A agressão a concreto praticamente cessou.

Obs.: os cálculos teóricos foram feitos pelo *software* de Loewenthal et al. (1988) e confirmados por exames laboratoriais. Poderiam ter sido feitos também pelo teste de mármore. Os dados reais foram determinados por exames laboratoriais.

As medidas a serem adotadas para a estabilização da água podem ser assim sumarizadas:

- a) Realizar a correção do pH final da água de modo que ele fique o mais próximo possível do pH de saturação do carbonato de cálcio, cujo valor pode ser determinado por *softwares* específicos ou por ábacos e fórmulas aproximadas, a serem confirmados pelo teste de mármore. Essa providência é tanto mais importante quanto menores forem as concentrações de cálcio e de alcalinidade da água (situação que caracteriza grande capacidade de corrosão a metais e forte agressão a produtos de cimento).
- b) Desde que o pH se mantenha inferior ao limite estabelecido na Portaria MS nº 518/2004 do Ministério da Saúde ($\text{pH} \leq 9,5$) e que o potencial de precipitação da água não exceda a 0,4 mg/L CaCO_3 , a água deve ser tratada para ter alcalinidade e dureza de cálcio iguais a 50 mg/L CaCO_3 (ou 35 mg/L CaCO_3 para águas dotadas de baixos teores de cálcio e alcalinidade). O potencial de precipitação de carbonato de cálcio pode ser determinado também pelo teste de mármore.
- c) Águas contendo concentração significativa de precursores de trihalometanos (situação que geralmente ocorre com águas muito coloridas ou poluídas com compostos orgânicos) devem ter esses precursores removidos antes de serem submetidas ao ajuste de pH acima referido, visto que o pH mais elevado favorece a formação de trihalometanos.
- d) A concentração de sulfato na água deve ficar abaixo de 250 mg/L, e a soma das suas concentrações de sulfato e de cloreto, dividida pela alcalinidade, todas as concentrações medidas em equivalentes gramas, deve ser igual ou inferior a 0,2.

Fluoretação da água

O papel do flúor na prevenção de cáries dentárias é mundialmente reconhecido. Em uma concentração adequada, o flúor é seguro e eficaz; contudo, em excesso, o flúor provoca a opacidade do esmalte ou fluorose.

No Brasil, a Portaria BSB nº 635/1975, que dispõe sobre as normas e os padrões da fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento destinada ao consumo humano, recomenda os limites de concentração do íon fluoreto como uma função da média das temperaturas máximas.

Dessa forma, os teores de flúoreto “ótimos”³ para a prevenção da cárie dentária devem ser, na maior parte do território brasileiro, em torno de 0,7 mg de íon fluoreto por litro. A tabela 2.5 mostra a relação entre a temperatura e as dosagens recomendadas de flúor.

Tabela 2.5 – Limites recomendados para a concentração de íon fluoreto segundo a Portaria BSB nº 635/1975

MÉDIA ANUAL DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DIÁRIAS DO AR (°C)	LIMITES RECOMENDADOS PARA A CONCENTRAÇÃO DO ÍON FLUORETO (mg/L)		
	INFERIOR	ÓTIMO	SUPERIOR
10,0 a 12,1	0,9	1,2	1,7
12,2 a 14,6	0,8	1,1	1,5
14,7 a 17,7	0,8	1,0	1,3
17,8 a 21,4	0,7	0,9	1,2
21,5 a 26,3	0,7	0,8	1,0
26,4 a 32,5	0,6	0,7	0,8

Especificamente, para cada localidade, a concentração recomendada do íon fluoreto pode ser obtida pelas seguintes fórmulas:

$$C = 22,2/E$$

$$E = 10,3 + 0,725 T$$

onde:

C = concentração do íon fluoreto (F⁻) em mg/L;

T = valor médio das temperaturas máximas diárias observadas durante o período de um ano (recomendado cinco anos), em graus centígrados.

3 “Ótimo” é a concentração de flúor na água de abastecimento público que proporciona a máxima redução na prevalência de cárie, sem causar interferência prejudicial na formação do esmalte; ou seja, fluorose” (OLIVEIRA et al., 1997).

Para se estabelecer a dosagem do composto de flúor a ser adicionado a uma água destinada ao consumo humano, a fim de atingir a concentração ótima de fluoreto, deve-se determinar, entre outros parâmetros, o flúor natural nela existente. A ocorrência de flúor natural é mais comum em águas de manancial profundo, sendo raro encontrá-lo em águas de superfície ou de lençol freático. Se a ocorrência natural já superar concentrações acima das recomendáveis, torna-se necessária a remoção de flúor.

O sucesso da fluoretação na prevenção de cárie dentária depende das dosagens dentro dos limites recomendados e da continuidade da aplicação.

Diversos compostos de flúor podem ser utilizados no tratamento da água para consumo humano, merecendo destaque o *fluorsilicato de sódio* e o *ácido fluorsilícico*.

O *fluorsilicato de sódio* é um produto fornecido sob forma sólida (em pó) e apresenta solubilidade muito baixa (7,62 g/L). Assim, atenção deve ser dada ao preparo das soluções tanto no aspecto da homogeneidade da solução quanto nos cuidados com a exaustão e a segurança do trabalhador. Além disso, deve ser observada a dureza da água de preparo da solução. Em águas com dureza excedendo a 75 mg de CaCO_3/L , o íon fluoreto reagirá com o cálcio e o magnésio, resultando em um precipitado capaz de obstruir dosadores, com conseqüências negativas sobre a concentração do íon fluoreto na água de abastecimento.

Os produtos a seco são aplicados na água após sua dissolução em tanque, que recebe continuamente o sal de flúor e a água, ou são previamente dissolvidos na água e dosados por meio de bombas. Quando a concentração do produto for superior à saturação, a solução deve ser mantida em constante agitação.

O *ácido fluorsilícico* é bem mais fácil de manipulação e dosagem, entretanto é um ácido muito corrosivo, exigindo cuidados especiais na estocagem. Vale destacar que, se a água apresenta baixa alcalinidade (baixa capacidade tampão), a aplicação desse ácido, mesmo em baixas concentrações, pode levar à diminuição significativa do valor do pH da água.

A aplicação do flúor deve ser feita na fase final do processo de tratamento da água, pois os fluoretos podem ser removidos pelo tratamento com o sulfato de alumínio, a cal e o carvão ativado. No ponto de aplicação deve haver boa agitação para permitir a dispersão adequada do produto.

Cumprir esclarecer que o VMP estabelecido na Portaria MS nº 518/2004 para o íon fluoreto (1,5 mg/L) refere-se à concentração máxima a ser observada na água por ocorrência natural e/ou por adição de flúor. Do ponto de vista de proteção à saúde, concentrações superiores a 1,5 mg/L implicam riscos crescentes de fluorose dentária, e valores mais elevados podem provocar fluorose óssea. O VMP

de 1,5 mg/L é, geralmente, superior aos limites recomendados na legislação sobre fluoretação da água, com o propósito de prevenção de cáries (tabela 2.5).

Em síntese, o disposto na Portaria BSB nº 635/1975, que aprova as normas e os padrões sobre a fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento destinada ao consumo humano, e o VMP, estabelecido na Portaria MS nº 518/2004, não são excludentes ou contraditórios. Em resumo, quando da prática da fluoretação deve ser observado o disposto na Portaria BSB nº 635/1975 e, em qualquer situação, deve ser atendido o VMP estabelecido na Portaria MS nº 518/2004.

PROCESSOS ESPECIAIS DE TRATAMENTO

Na sequência, apresenta-se breve descrição dos principais processos especiais de tratamento de água e no quadro 2.9 indica-se a sua aplicabilidade para a remoção dos contaminantes específicos, em sua maioria regulados pela Portaria MS nº 518/2004.

Quadro 2.9 – Aplicabilidade de processos de tratamento de água para a remoção de contaminantes

TIPOS DE CONTAMINANTES	COAGULAÇÃO, SEDI-MENTAÇÃO E FILTRAÇÃO	AERAÇÃO	ABRANDAMENTO / PRECIPITAÇÃO QUÍMICA	OXIDAÇÃO QUÍMICA E DESINFECÇÃO	ADSORÇÃO			TRAT. COM MEMBRANA			TROCA IÔNICA	
					CARVÃO ATIVADO EM PÓ	CARVÃO ATIVADO GRANULAR	ALUMINA ATIVADA	OSMOSE INVERSA	ELETRODIÁLISE	NANOFILTRAÇÃO	ANIÔNICA	CATIÔNICA
Substâncias que representam risco à saúde												
Contaminantes inorgânicos:												
Antimônio								x	x			
Arsênio (+3)	xO		xO				x	x	x		x	
Arsênio (+5)	x		x				x	x	x		x	
Bário			x					x	x			x
Cádmio	x		x					x	x			x
Cianeto				x								
Chumbo ¹												
Cobre ¹												
Cromo (+3)	x		x					x	x			x
Cromo (+6)								x	x		x	
Fluoreto			x				x	x	x			
Mercúrio (inorgânico)			x					x	x			
Nitrato								x	x		x	
Nitrito								x	x		x	
Selênio (+4)							x	x	x		x	
Selênio (+6)							x	x	x		x	

Continua...

Continuação

TIPOS DE CONTAMINANTES	COAGULAÇÃO, SEDI-MENTAÇÃO E FILTRAÇÃO	AERAÇÃO	ABRANDAMENTO / PRECIPITAÇÃO QUÍMICA	OXIDAÇÃO QUÍMICA E DESINFECÇÃO	ADSORÇÃO			TRAT. COM MEMBRANA			TROCA IÔNICA	
					CARVÃO ATIVADO EM PÓ	CARVÃO ATIVADO GRANULAR	ALUMINA ATIVADA	OSMOSE INVERSA	ELETRODIÁLISE	NANOFILTRAÇÃO	ANIÔNICA	CATIÔNICA
Contaminantes orgânicos:												
Voláteis		x				x						
Sintéticos					x	x		x				
Herbicidas e pesticidas					x	x		x		x		
Carbono orgânico dissolvido	x				x	x		x		x		
Substâncias que prejudicam a aceitação da água (por problemas estéticos e organolépticos)												
Alumínio									x			x
Amônia		x		x								
Cloreto								x	x			
Cor	x			x	x	x		x		x		
Dureza			x									
Etilbenzeno		A				xA						
Ferro	xO		x									x
Manganês	xO		x									x
Monoclorobenzeno		A				xA						
Odor e gosto		A		x								
Sódio								x	x			
Sólidos dissolvidos totais								x	x			
Sulfato								x	x	x		
Sulfeto de hidrogênio		x		x								
Surfactantes ²												
Tolueno		A				xA						
Turbidez	x											
Zinco			x					x	x			x
Xileno		A				xA						
Substâncias radioativas												
Rádio			x					x	x			x
Urânio								x	x		x	

FONTES: AWWA (1999); De Zuane (1997); Haddad Filho e Regina (1993)

xO = em conjunto com oxidação;

A = processo auxiliar;

xA = em conjunto com aeração.

¹ Como chumbo e cobre geralmente são produtos da corrosão, sua remoção deve ser feita preferencialmente pelo tratamento da corrosividade da água.² O processo de remoção depende da natureza do surfactante (detergente): se iônico, a remoção pode ser por troca iônica ou por eletrodiálise; se aniônica, por adsorção ou por filtração em membrana.

Aeração

É um processo que pode ser utilizado no tratamento da água com as seguintes finalidades principais:

- absorção de ar pela água, objetivando promover a oxidação e a precipitação de contaminantes inorgânicos (ex.: ferro e manganês);
- remoção de compostos orgânicos voláteis e de gases dissolvidos causadores de gosto e odor, mediante sua liberação para a atmosfera.

A adoção de aeradores de superfície constituídos por cascata, tabuleiros ou repuxo foi procedimento comum no Brasil nas décadas de 1960/1970, com os pretensos objetivos de: (i) volatilizar gases, como o gás carbônico (CO_2); (ii) oxidar compostos de Fe e Mn; (iii) elevar os teores de oxigênio dissolvido na água. Atualmente, essas unidades encontram-se cada vez mais em desuso, tendo em vista suas limitações ou especificidades, ficando sua utilização restrita aos sistemas de remoção de compostos orgânicos voláteis como o benzeno, o tolueno e o xileno (estes últimos sistemas são geralmente constituídos de dispositivos de aeração e de adsorção em carvão ativado granular).

A aeração pode ser feita também por sistemas de aeração difusa, por dispositivos de aeração com *spray* e por colunas de aeração com enchimento (*packed column aeration* – PCA).

Os sistemas de ar difuso também têm sido adotados nesses países para a remoção de compostos causadores de odor e de compostos orgânicos voláteis.

Os sistemas com *spray* utilizam bocais especiais, destinados à aplicação atomizada dos gases de tratamento. Seu campo de aplicação é semelhante aos dos sistemas de aeração difusa. Os bocais são instalados em unidades com a configuração de torres ou semelhantes a fontes com jatos de água.

Os sistemas de colunas de aeração com enchimento consistem de uma torre com enchimento de material plástico, em que a água a ser tratada entra pela parte superior da torre e os gases de tratamento, pela sua parte inferior. Com o fluxo lento da água através do material de enchimento da torre, é favorecido o contato da água com os gases de tratamento e a subsequente liberação dos compostos voláteis a serem removidos. Dessa forma, têm sido usados para a remoção de amônia (NH_3), gás carbônico (CO_2), gás sulfídrico (H_2S) e compostos orgânicos voláteis.

Abrandamento

O abrandamento tem por finalidade a remoção de compostos responsáveis pela característica conhecida como *dureza da água*, caracterizada pela capacidade de reagir com o sabão, causando precipitados e impedindo a formação de espuma. As espécies químicas responsáveis por essa característica da água natural são íons metálicos polivalentes, principalmente o cálcio e o magnésio.

O abrandamento nada mais é do que um processo de precipitação química. A esse respeito é importante observar que a precipitação química não se aplica apenas para a redução da dureza da água, mas também para a remoção de muitos outros contaminantes metálicos, a exemplo dos metais pesados (quadro 2.9). Muitos metais encontram-se dissolvidos na água como íons positivos (cátions), e diversos deles reagem com a própria água para formar hidróxidos e carbonatos, compostos que apresentam baixa solubilidade. Assim sendo, se a água for tratada para tornar insolúveis tais compostos, os contaminantes metálicos a eles associados podem também ser removidos pelo fenômeno da precipitação.

Para o abrandamento da água, como processo de precipitação química voltado basicamente à remoção de excedentes de cálcio e de magnésio presentes na água, em geral são utilizadas duas técnicas principais:

- processo químico de cal e soda: consiste na aplicação de substâncias (cal e carbonato de sódio) que reagem com os compostos de cálcio e magnésio presentes na água, precipitando-os. As instalações para esse fim incluem câmara de agitação, decantador, tanque de recarbonatação e filtração rápida;
- processo iônico dos zeólitos ou permutitas: utiliza silicatos complexos de sódio e alumínio (conhecidos como zeólitos ou permutitas) para trocar o sódio de suas composições por outros íons como os de cálcio e magnésio presentes na água. Uma instalação desse tipo é formada por leitos de zeólitos, semelhantes a filtros rápidos, pelos quais a água passa, aí deixando seus excedentes de cálcio e magnésio.

Em instalações industriais, costumam-se adotar também unidades de tratamento de água baseadas no processo de troca iônica (ver tópico à frente), semelhantes a filtros formados por resinas trocadoras de cátions, especificamente as que trocam sódio por cálcio e magnésio (no caso de abrandamento da água).

Oxidação química

Os processos de oxidação química consistem basicamente na aplicação de um oxidante à água, visando à oxidação de: (1) espécies inorgânicas reduzidas como o íon ferroso (Fe^{2+}), o íon manganoso (Mn^{2+}) e o íon sulfeto (S^{2-}); (2) compostos orgânicos sintéticos perigosos como o tricloroetileno. Podem ser empregados também para destruir compostos causadores de gosto e odor e para eliminação da cor. Em alguns casos, podem ainda ser empregados para melhorar o desempenho e para reduzir a quantidade de coagulantes utilizados nos processos de clarificação da água.

Graças às propriedades biocidas da maioria dos oxidantes, o processo em questão pode ser ainda empregado para controlar o crescimento (florações) de organismos aquáticos, tais como certos tipos de algas e de fungos, e também para a pré-desinfecção de águas com maior grau de contaminação.

A pré-oxidação de águas com presença de cianobactérias é um assunto polêmico, pois, se por um lado se reconhecem os efeitos benéficos da pré-oxidação sobre a efetividade dos processos de clarificação da água, por outro, verifica-se o risco de liberação das cianotoxinas e, no caso do uso da pré-cloração, da formação de subprodutos potencialmente cancerígenos.

Para garantir que a cianotoxina liberada das células danificadas pela ação do agente oxidante seja posteriormente oxidada, faz-se necessário um controle rigoroso da dosagem de oxidante (levando em consideração a competição existente entre as cianotoxinas e outras substâncias orgânicas presentes nas águas eutrofizadas) e do tempo de contato. Esse controle operacional não é simples, sendo particularmente difícil durante a ocorrência de floração, quando a densidade de cianobactérias presentes na água bruta pode variar significativamente em curtos períodos de tempo. Assim, a utilização da pré-oxidação deve ser precedida de uma reflexão aprofundada sobre os prós e os contras.

Os oxidantes químicos mais usados no tratamento de águas de abastecimento são: cloro, dióxido de cloro, permanganato e ozônio.

Atenção especial deve ser dada ao controle dos subprodutos da oxidação, sobretudo em águas muito coloridas ou poluídas com matéria orgânica em maior quantidade, situações que podem ser ainda mais perigosas com a presença do íon brometo. Alguns desses subprodutos, quando presentes na água em dosagens acima de determinados níveis, podem causar efeitos adversos à saúde, inclusive câncer e má-formação fetal, a exemplo dos trihalometanos, originados quando da aplicação de cloro livre em água com as características mencionadas anteriormente.

Adsorção

A adsorção é o processo pelo qual certos tipos de compostos dissolvidos na água, sobretudo substâncias orgânicas, que nesse processo são denominados adsorvatos, transferem-se da solução aquosa para a superfície de um material adsorvente como o carvão ativado.

A maioria das substâncias orgânicas — que na água podem causar problemas de sabor, odor, cor, mutagenicidade ou toxicidade — é adsorvida em carvão ativado.

Utilizam-se como materiais adsorventes aqueles que possuem elevada relação área/volume e adequada distribuição de tamanhos dos vazios intergranulares, a exemplo do que ocorre com o carvão ativado.

O carvão ativado resulta da carbonização ou pirólise (queima em temperaturas inferiores a 700 °C com ausência de ar), seguida da ativação (oxidação), de materiais como madeira, lignita, carvão betuminoso, carvão sub-betuminoso ou osso. A carbonização e a ativação (oxidação) são necessárias para desenvolver a estrutura dos vazios internos dos grãos.

Os processos de adsorção com carvão ativado utilizados como tratamento especial em sistemas de abastecimento de água são de dois tipos:

- adsorção com carvão ativado em pó, em que este é aplicado como uma solução na água bruta ou na água decantada, ficando retido no decantador e no filtro juntamente com o contaminante orgânico a ele adsorvido;
- adsorção com carvão ativado granular, consistindo em se fazer passar a água por uma coluna ou leito de carvão ativado, com características granulares adequadas, durante um tempo suficiente para ocorrer a adsorção. Periodicamente, o leito de carvão deve passar por um processo de regeneração para propiciar o restabelecimento de sua capacidade adsorviva.

No Brasil, tem sido mais usual o processo de adsorção com carvão ativado em pó, por não exigir unidades adicionais na seqüência do tratamento de água.

Tratamento com membranas (ultrafiltração, microfiltração, nanofiltração, osmose inversa, eletrodialise)

É o processo que utiliza membranas semipermeáveis especialmente fabricadas para remover contaminantes dissolvidos numa solução como a água, ou seja, contaminantes dotados de dimensões extremamente reduzidas. Recebe as denominações “microfiltração”, “ultrafiltração”, “nanofiltração” ou “osmose inversa” quando o líquido a ser tratado atravessa a membrana pela aplicação de pressão hidrostática, ficando os contaminantes retidos na membrana. O que caracteriza as variantes do processo é o tamanho dos poros da membrana utilizada, a saber:

- **microfiltração**, que utiliza membranas com poros de 0,10–0,20 μm de tamanho, adequadas para a remoção das partículas coloidais, protozoários, bactérias, vírus e sólidos em suspensão de maiores dimensões;
- **ultrafiltração**, em que as membranas possuem poros com dimensões de 0,01 μm , adequados para a retenção de partículas coloidais, microorganismos e sólidos em suspensão de menores dimensões;
- **nanofiltração**, cujas membranas são dotadas de poros com dimensões da ordem de 0,001 μm , adequados para a remoção de contaminantes dissolvidos com dimensões na faixa superior de tamanho de moléculas e íons, a exemplo de diversos compostos orgânicos dissolvidos na água, naturais ou sintéticos, inclusive pesticidas e herbicidas, e também de alguns contaminantes inorgânicos presentes na água como íons de maiores dimensões;
- **osmose inversa ou hiperfiltração**, quando as membranas possuem poros com dimensões de 0,0001 μm , adequados para a remoção de sólidos com dimensões na faixa inferior de tamanho das moléculas e íons, que é o caso da maioria dos contaminantes orgânicos dissolvidos na água, naturais ou sintéticos, inclusive pesticidas e herbicidas, e também de alguns contaminantes inorgânicos presentes na água como íons de menores dimensões.

Finalmente, dá-se a denominação de **eletrodialise** ao processo em que se aplica uma corrente elétrica na membrana, criando campos elétricos positivos e negativos que atraem os contaminantes presentes no líquido sob a forma de íons, possibilitando assim sua retenção na membrana. Aplica-se à remoção de metais pesados (íons metálicos) e também de íons não metálicos, como nitrato, nitrito, cloreto e sulfato.

A microfiltração e a ultrafiltração apresentam grande potencial de aplicação na remoção de organismos patogênicos, particularmente no caso dos protozoários, os quais possuem elevada resistência à desinfecção (SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001).

No Brasil, o tratamento de águas com membranas é um processo ainda muito caro, razão pela qual tem-se limitado a instalações de pequena vazão, como a osmose inversa destinada à dessalinização de água para consumo humano em pequenas comunidades onde a água bruta é salobra; e à eletrodialise em hospitais dotados de unidades de hemodialise. O processo apresenta potencial de utilização futura visando à remoção de microorganismos patogênicos.

Troca iônica (aniônica ou catiônica)

Este processo consiste basicamente na utilização de um meio formado por resina trocadora de íons, usualmente constituída por plástico. Aplica-se para a remoção de contaminantes dissolvidos na água sob a forma de íons, a exemplo do arsênio, do bário, do cádmio, do nitrato, etc.

Quando a água a ser tratada é colocada em contato com a resina trocadora de íons, ocorre a substituição do íon dissolvido na água por outro da superfície eletricamente carregada da resina.

Existem resinas aniônicas ou catiônicas, dependendo da carga elétrica com que são produzidas. A escolha de uma ou de outra é função do tipo de íon (cátion ou ânion) que se queira remover da água a ser tratada.

Após saturar-se com os íons removidos, a resina é regenerada com uma solução adequada, para poder continuar funcionando.

OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL

O bom desempenho de uma estação de tratamento de água depende, inicialmente, de uma seleção adequada da técnica de tratamento e de um projeto criterioso, acompanhados da disponibilidade de recursos humanos e materiais que propiciem uma boa rotina de operação. Nesse sentido, assumem importância fundamental o permanente treinamento e a capacitação de operadores de ETAs. A boa operação passa ainda pelo conhecimento, o mais detalhado possível, dos parâmetros operacionais.

Por sua vez, o controle de qualidade da água deve ir além do mero monitoramento do “que entra” e do “que sai” da ETA; requer o controle operacional e a avaliação permanente dos processos unitários de tratamento, fazendo das partes um todo. Nesse sentido, o tradicional teste de jarros constitui importante ferramenta no controle de ETAs convencionais e de filtração direta e deve ser utilizado em todo

o seu potencial, qual seja, simular a operação dos processos unitários, empregando os parâmetros reais de funcionamento da ETA e suas possíveis variações.

A boa rotina de operação inicia-se com um controle rigoroso da coagulação. A dosagem correta do coagulante é fundamental para uma adequada floculação. Do contrário, uma decantação deficiente pode sobrecarregar os filtros, comprometendo a qualidade da água filtrada, requerendo lavagens mais frequentes e provocando aumento da demanda de cloro e da produção de cloro residual combinado, o que propicia a proteção dos microorganismos à ação do cloro. Além disso, uma filtração eficiente é a melhor garantia da remoção de protozoários.

A operação rotineira dos testes de jarro permite a identificação da faixa ótima de pH (necessidade de alcalinização ou acidificação da água bruta) e dosagem ótima de coagulante e auxiliares de floculação, quando for o caso. Assim, para o sucesso do teste de jarro no controle operacional, faz-se necessário conhecer as condições em que a instalação em escala real está sendo operada.

Teste de jarros

Procedimento padrão para a realização de teste de jarros para acompanhamento operacional

Etapas preparatórias

- Separar as vidrarias necessárias, procurando sempre utilizar os mesmos recipientes (bem como pipetas) para cada solução a ser empregada. Com isso objetiva-se a minimização de contaminação cruzada.
- Preparar as soluções pertinentes (coagulante, acidificante, alcalinizante, auxiliar de floculação) com concentrações compatíveis com as dosagens a serem aplicadas.
- Verificar se os jarros estão limpos e os equipamentos a serem utilizados estão funcionando adequadamente e, quando for o caso, se estão devidamente calibrados.

FONTE: Di Bernardo et al. (2003).

Teste de jarros

Passo 1: Colocar porções da água bruta, previamente aquecidas ou resfriadas até a temperatura desejada, em cada um dos seis jarros, enchendo-os simultaneamente a fim de assegurar a homogeneidade da água contida em cada um dos jarros, até a obtenção do volume final reco-

mendado pelo fabricante do equipamento, geralmente dois litros. A fixação da temperatura é importante, pois ensaios com uma mesma água e temperaturas diferentes podem conduzir a resultados desiguais, uma vez que a temperatura influi significativamente na viscosidade da água e na constante da velocidade de reação das espécies de alumínio ou de ferro utilizadas como coagulante. A temperatura crítica é a temperatura da água no mês mais frio.

Passo 2: Colocar os volumes correspondentes às dosagens dos produtos nos recipientes apropriados do teste de jarros (quando existirem) ou utilizando copos plásticos, pequenos béqueres ou tubos de ensaio.

Passo 3: Colocar os recipientes de descarte e coleta de amostra de água coagulada ou floculada nas respectivas posições apropriadas do equipamento.

Passo 4: Ligar o equipamento de agitação e acertar a rotação para 100 rpm.

Passo 5: Adicionar, ao mesmo tempo em todos os jarros, o volume correspondente à dosagem preestabelecida de alcalinizante ou acidificante (ou ainda pré-oxidante ou carvão ativado em pó quando for o caso) nos jarros.

Passo 6: Após o tempo necessário para a homogeneização, acertar a rotação do equipamento para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio de mistura rápida da ETA.

Passo 7: Adicionar aos jarros do aparelho, concomitantemente, o volume preestabelecido de coagulante contido nos recipientes de dosagem. Alguns equipamentos mais modernos já dispõem de recipientes específicos para o coagulante e auxiliar de floculação, bem como sistema de adição simultânea. Em equipamentos mais antigos utilizam-se recipientes auxiliares e a adição é manual.

Passo 8: Quando for o caso, aplicar a quantidade prevista de polímero contida nos recipientes apropriados (após a introdução do coagulante).

Passo 9: Transcorrido o tempo de mistura rápida (similar ao observado na ETA), reduzir a rotação do equipamento para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio de floculação praticado na ETA, se a seqüência de tratamento em estudo envolver tal etapa (ex: filtração direta descendente com pré-floculação, tratamento convencional). Caso contrário, desligar o sistema de agitação do aparelho e imediatamente continuar com o passo 12.

Passo 10: Transcorrido o tempo de floculação (similar ao verificado na ETA), desligar o sistema de agitação do aparelho e imediatamente dar seqüência ao procedimento. Se a ETA for do tipo convencional, proceder ao passo 11; caso a ETA seja do tipo filtração direta, proceder ao passo 12.

Passo 11: Coletar as amostras de água decantada após transcorrido o tempo T_s equivalente à velocidade de sedimentação da ETA. Como se recomenda que o ponto de coleta esteja situado a 7 cm de altura em relação à superfície do líquido (a maioria dos jarros já dispõem desse ponto de coleta; se não for o caso, faz-se uso de um sifão posicionado na altura

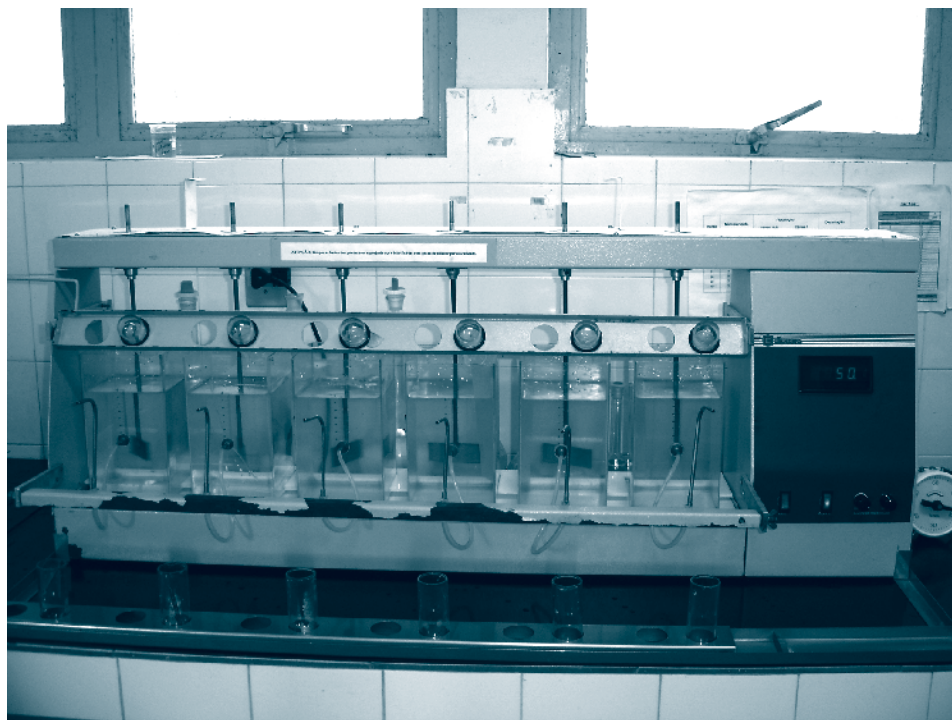
recomendada), $T_s \text{ (min)} = [H/V_s]$ onde $H = 7 \text{ cm}$ e V_s é a velocidade de sedimentação ou taxa de aplicação superficial do sedimentador expressa em $(\text{cm}.\text{min}^{-1})$. Antes do início de cada coleta, deve ser descartado um pequeno volume de água, para evitar a interferência da água remanescente na mangueira de coleta. Continuar no passo 13.

Passo 12: Coletar as amostras de água coagulada ou floculada diretamente para o sistema de filtração em papel (geralmente utiliza-se filtro Whatman® 40 ou equivalente) ou para o sistema de filtração em areia. Mais uma vez vale comentar que nos aparelhos mais modernos os jarros já são dotados de dispositivo para coleta de amostra que permite a drenagem direta da água do jarro para o sistema de filtração. Os aparelhos mais antigos às vezes não dispõem dessa facilidade. Nesse caso, recomenda-se a adaptação de sistema de sifonamento para viabilizar tal procedimento. Em qualquer caso, antes do início de cada coleta (2 s antes), deve ser descartado um pequeno volume de água, para que a amostra não sofra interferência da água remanescente na mangueira de coleta.

Passo 13: Ler os parâmetros de controle de qualidade das amostras decantadas ou filtradas.

FONTE: Di Bernardo et al. (2003)

Figura 2.33 – Aparelho de teste de jarros



AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

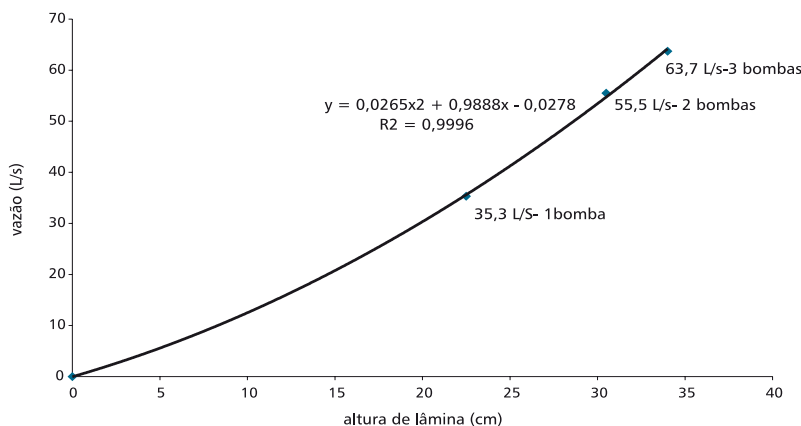
Na avaliação de desempenho de uma ETA, busca-se aferir, essencialmente, a adequação e a eficiência dos diversos processos unitários de tratamento. Devem ser analisados os fatores hidráulicos e operacionais que poderiam concorrer para um desempenho insuficiente, tais como possíveis falhas de projeto, discrepância entre parâmetros ótimos de projeto e de funcionamento real, a capacidade instalada de operação e controle (recursos humanos e materiais) e o efetivo controle operacional realizado. O primeiro passo para uma boa avaliação de desempenho de uma ETA é o levantamento dos parâmetros reais de cada processo de tratamento. Informações detalhadas sobre rotinas e metodologia de avaliação de desempenho de ETAs podem ser encontradas em Cepis (1992).

Levantamento e avaliação dos parâmetros reais de operação de uma ETA convencional ou em ciclo completo (para cada vazão de operação da ETA)

- **Calibração de vazões:** o conhecimento o mais preciso possível das vazões afluentes à ETA é fundamental, pois os diversos parâmetros de controle dos processos unitários dependem da vazão. Em situações mais precárias, por vezes nem sequer se dispõe de catálogos de bombas ou de dispositivos de medição automática de lâminas de água, portanto, de vazões, nas calhas Parshall. Mesmo quando se dispõe, nunca é demais proceder-se a uma calibração freqüente.

A figura 2.34 ilustra um exemplo de calibração de vazões em uma calha Parshall efetuada a partir da variação de vazões afluentes por meio de associação de bombas em paralelo (de acordo com as variações usuais de operação ao longo do ano), da medição das respectivas lâminas no Parshall e do ajuste dos resultados aos valores fornecidos pelo medidor automático.

Figura 2.34 – Exemplo de calibração de vazões em uma calha Parshall



Levantamento das características da mistura em calha Parshall

- Levantamento das dimensões e do perfil hidráulico.
- Determinação dos parâmetros hidráulicos (caracterização do ressalto, gradiente de velocidade e tempo de mistura).
- Comparação com as dimensões padronizadas e com os parâmetros recomendados para a mistura adequada (AZEVEDO NETTO et al., 1979; RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991; VIANNA, 1997).

Levantamento dos parâmetros reais de floculação

- Levantamento das dimensões e do perfil hidráulico do floculador, do volume útil total e de cada câmara e das dimensões das passagens entre câmaras.
- Determinação dos gradientes reais nas câmaras e nas passagens com base no levantamento das perdas de cargas.
- Determinação do tempo de floculação real ou tempo de retenção hidráulica, por meio de ensaios com traçadores (por exemplo, sal de cozinha). Informações sobre ensaios com traçadores podem ser encontradas em Cepis (1992).

Levantamento dos parâmetros reais e condições operacionais de sedimentação

- Levantamento das dimensões e do perfil hidráulico do decantador, do volume útil, nivelamento dos dispositivos de saída (coleta de água decantada).
- Levantamento das dimensões e da distribuição de fluxo nas estruturas de entrada; determinação de gradientes de velocidade nas estruturas de entrada (ex.: cortinas de distribuição).
- Determinação do tempo de retenção hidráulica real e da hidrodinâmica do fluxo, por meio de ensaios com traçadores (por exemplo, sal de cozinha).
- Determinação da taxa de aplicação superficial, de projeto e real, por exemplo, no caso de distribuição desuniforme de vazões em unidades paralelas.

Levantamento dos parâmetros reais e condições operacionais da filtração

- Levantamento das dimensões e do estado de conservação dos leitos filtrantes.
- Levantamento da distribuição de fluxo nas estruturas de entrada.
- Determinação da taxa de filtração, de projeto e real, por exemplo, no caso de distribuição desuniforme de vazões em unidades paralelas.
- Determinação das perdas de carga na filtração, por exemplo, por meio da instalação de manômetros.
- Implementação de ensaios de expansão dos leitos filtrantes.

- Determinação do tempo de lavagem ótimo, por meio do acompanhamento da turbidez da água de lavagem.

Avaliação de desempenho de ETAs: estudo de caso

São apresentados os resultados da avaliação de desempenho de duas ETAs no Estado de Minas Gerais. As duas estações empregam o tratamento convencional (ciclo completo): mistura rápida (calhas Parshall), floculação hidráulica, decantação, filtração rápida descendente e desinfecção por cloração, com as seguintes particularidades:

- ETA I: floculação com seis câmaras e orifícios retangulares de passagem dispostos, alternadamente, nos bordos inferiores esquerdo e superiores direito; conexão entre o floclador e o decantador através de tubulação de ferro fundido, diâmetro decantador circular com alimentação central e fluxo radial; dois filtros rápidos.
- ETA II: duas séries de flocladores: uma com oito câmaras conectadas através de curvas de 90° raio curto em ferro fundido e 60 cm de diâmetro, dispostas nas bordas inferiores das paredes em lados alternados; outra com sete câmaras conectadas com curvas de 50 cm de diâmetro alinhadas no fundo e ao centro das paredes; alimentação do decantador através de canal; dois decantadores retangulares em paralelo; quatro filtros rápidos.

A ETA I trata cerca de 50 L/s com períodos de operação médios diários de oito horas; a ETA II é operada por 24 horas, com vazões oscilando aproximadamente entre 140 e 200 L/s, respectivamente, durante os períodos noturno e diurno.

Por meio de ensaios de laboratórios (teste de jarros), com base nos valores típicos de turbidez da água bruta em épocas de estiagem e de chuvas, foram determinados os seguintes parâmetros ótimos: concentração do coagulante, pH e dosagem de coagulante, gradientes de velocidade e tempo de detenção hidráulica de floculação, velocidade de sedimentação.

Com base na análise dos projetos das ETAs, complementada por medições de campo, foram levantados e/ou determinados parâmetros teóricos e/ou reais de funcionamento, tais como: tempos teóricos de detenção hidráulica, gradientes de velocidade, taxas de aplicação superficial dos decantadores, etc.

Ensaios *in loco* permitiram a calibração de vazões e a determinação de distribuição de fluxo, a determinação dos tempos reais de detenção hidráulica (ensaios com traçadores), etc.

GRADIENTES DE VELOCIDADE (S⁻¹)

UNIDADE	ETA I	ETA II			
		QMIN (162 L/S)		QMAX (208 L/S)	
Calha Parshall	2054	4068		4164	
Calha Parshall/Floc.	1203	820		720	
Floculador		Floc.I (112,20 L/s)	Floc.II (49,80 L/s)	Floc.I (131,0 L/s)	Floc.II (77 L/s)
Câmara 1	28,7	31,49	12,62	26,46	24,82
Câmara 2	25,2	17,42	7,72	27,72	27,63
Câmara 3	26,2	13,52	9,30	24,31	27,55
Câmara 4	26,5	20,39	10,25	26,20	22,31
Câmara 5	29,2	20,30	10,57	20,55	22,35
Câmara 6	18,0	20,34	8,03	22,80	19,13
Câmara 7	-	14,87	11,38	19,06	26,06
Câmara 8	-	13,12	-	14,18	-
Floculador/dec.	15,5	-	-	-	-
Cortina distrib./dec.	27,0	-	-	-	-

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DOS FLOCULADORES

PARÂMETRO	ETA I		ETA II							
			QMIN (162 L/s)				QMAX. (208 L/s)			
			FLOC. I (112,2 L/s)		FLOC. II (49,8 L/s)		FLOC. I (131,0 L/s)		FLOC. II (77,0 L/s)	
			TEÓRICO	REAL	TEÓRICO	REAL	TEÓRICO	REAL	TEÓRICO	REAL
TDH (min)	32,6	28,0	31,9	37,0	59,0	51	27,4	25,0	33,0	39,8
Fluxo pistão (%)	64		52,7		60,2		50,9		57,6	
Fluxo mist. completa (%)	30		47,3		39,8		49,1		42,4	
Zonas mortas (%)	9		61,7		17,4		53,3		5,1	

Teórico: parâmetros determinados com base nas dimensões das unidades;

Real: parâmetros determinados a partir de ensaios com traçadores;

TDH: tempo de detenção hidráulica; G: gradiente de velocidade.

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DOS DECANTADORES

PARÂMETRO	ETA I		ETA II							
			QMIN. (138 L/s)				QMAX. (208 L/s)			
			DEC. I (91 L/s)		DEC. II (47 L/s)		DEC. I (97 L/s)		DEC. II (111 L/s)	
	TEÓRICO	REAL	TEÓRICO	REAL	TEÓRICO	REAL	TEÓRICO	REAL	TEÓRICO	REAL
TDH (h)	4,10	2,75	2,4	2,1	4,7	3,2	2,2	1,4	2,0	1,1
Tx-(m³/m².dia)	20	28	36,8	40,9	19,4	26,5	39,2	61,4	45,8	78,1
q (1/s.m)	0,98	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluxo pistão (%)	50		52,0		40,0		55,8		47,0	
Fluxo mist. completa (%)	50		48,0		60,0		44,2		53,0	
Zonas mortas (%)	51		38,0		20,0		10,4		5,0	

Qmin, max: valores próximos aos extremos na rotina de operação da ETA II;

TDH: tempo de detenção hidráulico;

Tx: taxa de aplicação superficial;

q: vazão de coleta nos vertedouros de saída.

Parâmetros reais

Observa-se que o floculador da ETA I apresenta um bom desempenho hidráulico: tempos de detenção teórico e real próximos, com algum curto-circuito, e predominância de fluxo em pistão. Na ETA II, pode-se dizer que em termos de tempo de detenção hidráulica as duas séries não apresentam maiores problemas; entretanto, o processo de floculação pode ver-se prejudicado pela ocorrência de espaços mortos, curtos-circuitos e elevadas porcentagens de fluxo em mistura completa, sendo esses fenômenos mais acentuados no floculador I.

Porém, os gradientes de velocidade na ETA II mostram-se nitidamente inadequados, como resultado conjunto da má distribuição de vazões e dimensões inapropriadas das passagens entre as câmaras. Em resumo, o processo de floculação na ETA II demanda otimização hidráulica.

Em relação aos decantadores, na ETA I observa-se uma elevada ocorrência tanto de curtos-circuitos quanto de zonas mortas, revelando uma péssima distribuição do fluxo radial, o que é reforçado pela discordância entre os valores real e teórico de vazão de coleta nos vertedouros. De certa forma, o mesmo se aplica à ETA II, somado a grandes oscilações de desempenho hidráulico, muito provavelmente em razão da má distribuição de vazões entre os decantadores.

Análise comparativa entre parâmetros ótimos e reais

Ensaio de laboratório utilizando águas com turbidez em torno de 60 uT indicaram os seguintes parâmetros ótimos para a ETA I: tempo de floculação de 20-25 minutos, gradientes de floculação entre 60-40 s⁻¹ e taxa de aplicação

superficial de $30 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$, para a obtenção de um efluente do decantador de 5 UT.

O tempo de detenção teórico do floculador é de 35 minutos e o real é de 25 minutos; portanto, a unidade apresenta alguma folga em termos de tempo de floculação. Os gradientes de velocidade das câmaras de floculação são inferiores aos ótimos de laboratório; entretanto, os gradientes nos orifícios de passagem são bastante elevados (dados não incluídos). O decantador encontra-se superdimensionado e, mesmo com a precária distribuição de fluxo (curto-circuito e zonas mortas), a taxa de aplicação real permanece próxima à ótima determinada.

Para a ETA II, foram realizados ensaios com faixas de turbidez de 10-100 uT e 100-300 uT. Em linhas gerais, os parâmetros ótimos foram determinados como: tempo de floculação entre 20-30 minutos, gradientes de floculação entre $40\text{-}20 \text{ s}^{-1}$ e taxa de aplicação superficial de $60 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$. Conclui-se, pois, que os tempos de floculação reais das duas séries de floculação, em geral, são suficientes, apesar dos problemas hidráulicos já mencionados. Entretanto, a determinação dos parâmetros ótimos revela claramente que os gradientes de floculação reais são bastante reduzidos. Nos decantadores, além das deficiências hidráulicas (má distribuição de fluxo e curto-circuito), para as vazões mais reduzidas as taxas reais de aplicação permanecem bem abaixo do valor ótimo determinado, porém, para as máximas vazões, as taxas reais superam o valor ótimo, fazendo com que os decantadores trabalhem em sobrecarga.

A importância do conhecimento dos parâmetros de funcionamento da ETA

O bom desempenho de uma Estação de Tratamento de Água passa pelo conhecimento, o mais detalhado possível, de seus parâmetros operacionais, e tanto mais isso é verdade quanto mais desfavoráveis forem as condições de operação (ex.: infra-estrutura precária e/ou alterações bruscas na qualidade da água bruta).

Este item é desenvolvido também com base em um estudo de caso (ETA I do exemplo anterior). Reporta-se um episódio de elevação brusca da turbidez da água bruta, bem acima das séries históricas, e o comprometimento da água tratada. O problema foi resolvido com a interrupção da operação da ETA, o descarte da água, o ajuste dos parâmetros operacionais para a situação específica, a recarga da estação e o acompanhamento detalhado dos processos unitários e da qualidade da água tratada.

O sucesso da referida operação, em grande parte, deveu-se ao pleno conhecimento dos parâmetros hidráulicos reais de controle dos processos unitários de tratamento.

ESTUDO DE CASO

A ETA em questão é composta pelas seguintes unidades: floculação com seis câmaras e orifícios retangulares de passagem, dispostos, alternadamente, nos bordos inferiores esquerdo e superiores direito, decantador circular com alimentação central e fluxo radial, dois filtros rápidos. A operação obedece, basicamente, a duas rotinas distintas: em períodos de chuva, com vazão afluyente de cerca de 60 L/s e tempo de operação médio de oito horas/dia; em períodos de estiagem, com redução gradual de vazões até cerca de 20L/s e aumento do tempo de operação até 24h/dia. A estação é operada com rígido controle operacional, porém com sérias deficiências de infra-estrutura, tais como recalque estrutural do decantador, gerando fluxos preferenciais e zonas mortas, deterioração dos leitos filtrantes, obsolescência das bombas dosadoras.

Em trabalhos anteriores foram determinados os parâmetros teóricos ótimos e reais de funcionamento da ETA, tais como: tempos teóricos de detenção hidráulica, gradientes de velocidade, taxa de aplicação superficial do decantador. Ensaios *in loco* permitiram a calibração de vazões, a medição de lâminas, a determinação de perdas de carga e, portanto, dos gradientes de velocidade no floculador, bem como dos tempos reais de detenção hidráulica do floculador e do decantador (ensaios com traçadores). Em resumo, o floculador apresenta folga de tempo de floculação; os gradientes de velocidade são inferiores ao adequados; o decantador apresenta grandes volumes de zona morta e ocorrência significativa de curtos-circuitos, porém encontra-se superdimensionado, havendo uma certa folga nos parâmetros da decantação (velocidade de sedimentação), principalmente em época de estiagem.

Os parâmetros reais de funcionamento da ETA orientam a realização diária do *Jar Test* e a operação da ETA:

PARÂMETROS REAIS DE FLOCULAÇÃO (ETA E JAR TEST)

VAZÃO (L/s)	GRADIENTE MÉDIO (S ⁻¹)	ROTAÇÃO (RPM)	TEMPO DE FLOCULAÇÃO
58	36,85	49	28 min 52s
52	33,84	46	32 min 03s
45	26,67	39	36 min 32s
42	23,73	36	38 min 58s
38	20,37	33	42 min 46s
31	14,23	26	52 min 00 s
28	13,00	25	57 min 27s
22	8,74	19	72 min 48 s
19	6,72	16	84 min 07 s

Geralmente, a turbidez da água bruta apresenta valores reduzidos, mesmo em períodos de chuvas (≈ 70 uT), e o tratamento, um bom desempenho. Entretanto, no início de janeiro de 2001, uma chuva torrencial provocou uma elevação brusca e inusitada da turbidez da água bruta (> 1.000 uT); descuidos na operação resultaram no comprometimento da qualidade da água tratada.

O acompanhamento do problema, em tempo real, incluiu a realização de sucessivos ensaios de *Jar Test*, a fim de orientar as alterações de operação da ETA simultaneamente ao monitoramento em escala real dos processos unitários de tratamento.

Uma primeira batelada de testes indicou que as mais diversas combinações de controle da coagulação (dose e concentração de sulfato, pH) não eram suficientes para a obtenção de uma turbidez da água decantada tal que propiciasse uma filtração adequada. Confirmada a superação da capacidade operacional da ETA, optou-se pela interrupção do tratamento e pelo descarte da água.

Em seguida, com a ETA fora de operação, procurou-se uma primeira aproximação para uma nova vazão de operação, e, com base no conhecimento das características hidráulicas do decantador (ocorrência de significativos curtos-circuitos e zonas mortas), sabia-se, a princípio, que seria necessário reduzir a taxa de aplicação superficial.

Por sua vez, os primeiros testes indicaram a necessidade de elevar, consideravelmente, a dosagem de sulfato, do usual de aproximadamente 12 mg/L para acima de 30mg/L. Uma nova batelada de *Jar Test* foi então conduzida em busca do melhor par de valores dose de sulfato x vazão, sendo esta última variável representada pelo tempo de coleta das amostras nos jarros a uma profundidade fixa (7 cm). Após os testes ilustrados na tabela a seguir (dentre vários), fixou-se a dosagem em 30 mg/L e uma vazão de 42 L/s, correspondente ao tempo de coleta de 6 minutos: velocidade de sedimentação de 1,17 cm/min, ou uma taxa de aplicação superficial de 16,9 m³/m².dia.

TURBIDEZ DA ÁGUA DECANTADA NOS ENSAIOS DE *JAR TEST* (UT)

TEMPO (min)	DOSE DE SULFATO (mg/L)					
	30	35	40	45	50	55
3,5	43,2	56,3	49,8	55,9	54,0	53,8
5	15,3	15,6	17,7	16,2	17,2	16,7
6	9,3	11,7	10,5	10,1	10,8	9,4
7	9,6	9,9	9,2	10,5	11,4	9,9
8	9,0	9,7	10,5	11,3	11,4	10,6
9	9,4	10,1	9,83	10,0	10,3	10,0

Água bruta – turbidez: 573 UT; pH: 6,8

TEMPO (min)	DOSE DE SULFATO (mg/L)					
	30	35	40	45	50	55
3,5	47,8	56,8	51,3	49,1	51,6	50,8
5	14,4	18,9	20,9	18,2	15,9	16,4
6	8,5	10,4	12,7	10,3	10,0	10,5
7	8,0	8,7	9,2	8,1	8,3	12,6

Água bruta – turbidez: 370 UT; pH: 6,6

Observe-se que se tornou necessário reduzir a taxa de aplicação de 30 m³/m².dia (Vs = 2,08 cm/min; tempo de coleta da amostra de 3,5 min) (taxa de aplicação óti-

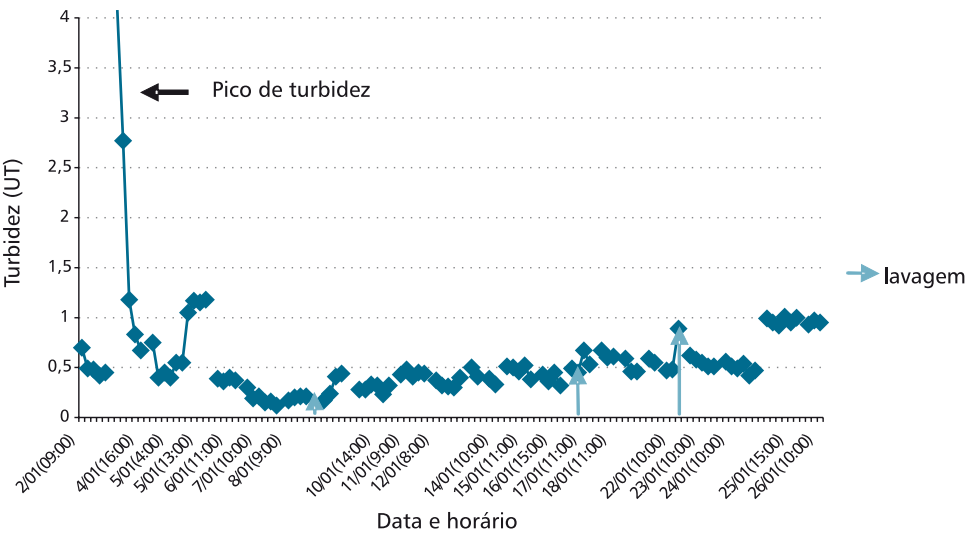
ma para 60 UT, típica de época de chuvas) para cerca de 17 m³/m².dia, ou seja, quase 50%, sendo esta a mesma ordem de grandeza de zonas mortas no decantador.

Na seqüência – e com base no conhecimento dos gradientes de velocidade e dos tempos de detenção hidráulica reais de floculação para as diversas vazões de possível operação da ETA –, os ensaios iniciais foram confirmados com o emprego de novas velocidades de rotação e tempos de agitação no *Jar Test* (correspondentes à vazão de 42 L/s e respectivos tempos de detenção e gradientes nas diversas câmaras do floculador), mas variando-se o pH e as doses de sulfato. A essa altura, a turbidez da água bruta já havia caído para cerca de 370 UT.

TURBIDEZ DA ÁGUA DECANTADA NOS ENSAIOS DE JAR TEST

DOSE DE SULFATO (mg/L)					
22	24	26	28	30	32
TURBIDEZ DA ÁGUA DECANTADA					
21,7	11,9	15,2	13,5	17,4	16,2
Água bruta - turbidez: 369 UT; pH: 6,69					
TURBIDEZ DA ÁGUA DECANTADA					
20,0	14,0	18,0	17,0	23,0	21,0
Água bruta – turbidez: 370 UT; pH: 6,62					

Definida a rotina de operação (Q = 42,0 L/s, dose sulfato = 24,0 mg/L, pH natural da água), foi dada nova partida na ETA, com controle freqüente dos efluentes dos processos unitários (floculador, decantador e filtros) e descarte da água até sua completa renovação e estabilização em valores de turbidez de acordo com o padrão de potabilidade (figura a seguir). De maneira análoga, acompanhou-se de perto a operação da ETA, por meio de sucessivos ensaios de parâmetros ótimos de operação, até o retorno à normalidade, ou seja, aos valores mais usuais de turbidez da água bruta.



CONDIÇÕES GERAIS

As recomendações a seguir aplicam-se de modo geral a estações de tratamento em qualquer situação:

Quadro 2.10 – Recomendações

ITEM	SITUAÇÃO OU PRÁTICA INDESEJÁVEL	CONSEQUÊNCIA	SOLUÇÃO DO PROBLEMA
01	Localização da ETA em ponto de difícil acesso ainda que em determinadas épocas do ano.	Pode dificultar o fornecimento de produtos químicos fundamentais para o tratamento da água.	Dotar a ETA de estrada de acesso transitável em qualquer época do ano.
02	Unidades da ETA sujeitas a invasão por água de enchurrada.	Contaminação da água que estiver sendo tratada por água de pior qualidade.	As bordas das unidades e dos pisos dos recintos onde são feitos armazenamentos ou localizam-se as unidades básicas para o funcionamento da ETA devem se situar a pelo menos 1,0 m acima do nível máximo de enchente. Os dispositivos de descarga da ETA devem ser dispostos de modo que as descargas possam se dar sob qualquer cota de enchente.
03	Acesso de pessoas estranhas às instalações da ETA.	Prejuízo da qualidade da água tratada por danos a equipamentos ou a processos indispensáveis ao adequado funcionamento da ETA.	A área da ETA deve ser fechada para impedir o acesso de pessoas estranhas.
04	Má aparência das instalações da ETA por deficiência de limpeza ou de conservação.	Prejuízo à aceitação da água pelo consumidor.	As unidades da ETA devem dispor de pisos e paredes adequadamente revestidos ou pintados e serem mantidas permanentemente limpas. Os operadores devem ter acesso a equipamentos e a dispositivos de segurança para seu trabalho. A área da ETA deve ser arborizada e gramada.
05	Unidades e reservatório de água tratada com cotas de fundo abaixo do nível máximo do lençol freático.	Possibilidade de contaminação da água tratada pela água do lençol freático que seja de pior qualidade.	Existência de dispositivos que permitam inspeções periódicas a essas unidades, visando à identificação de defeitos causadores de infiltração pelas paredes ou pelo fundo.

2.5 DISTRIBUIÇÃO

Os reservatórios e a rede de distribuição são unidades estratégicas para a garantia da adequada qualidade da água. De nada adiantam os cuidados tomados nas unidades anteriores – captação, adução e tratamento – se atenção especial não for dispensada aos reservatórios e à rede de distribuição para que eles não constituam pontos de contaminação e de perda de água. Além disso, as instalações prediais têm

importância estratégica na manutenção da qualidade da água e proteção à saúde da população consumidora. Por isso, recomendam-se os seguintes cuidados:

A) EM RELAÇÃO AOS RESERVATÓRIOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

- Garantir que os reservatórios de distribuição sejam dotados de tubulações e válvulas adequadas para seu controle, a fim de evitar perdas de água (válvulas de bóia) e para possibilitar a extravasão de água em situações de emergência e o seu esvaziamento para limpeza e obras de manutenção (válvulas de parada).
- Dotar os reservatórios de dispositivos de ventilação adequadamente concebidos e mantidos para evitar a entrada de insetos e roedores e ainda ações de vândalos que possam comprometer a qualidade da água. A área total de ventilação deve ser igual ou superior às seções das tubulações de entrada ou de saída do reservatório (lembrar que os reservatórios de distribuição não são dimensionados para suportar esforços causados pela subpressão decorrente de ventilação insuficiente).
- Lavar e desinfetar periodicamente as câmaras de reservação de água, principalmente após os serviços de construção ou de reparos.
- Manter as áreas onde se situam os reservatórios de distribuição adequadamente cercadas, limpas e com aparência agradável, sempre que possível ajardinadas, cuidando-se também para evitar as erosões, sobretudo em áreas de corte e de aterro.
- No caso de reservatórios enterrados ou semi-enterrados, deve-se garantir o adequado afastamento de possíveis fontes de poluição de água.
- Dotar os reservatórios de dispositivos que impeçam a invasão de pessoas e a ação de vândalos que possam colocar em risco, sobretudo, a qualidade da água.

Figura 2.35 – Proteção sanitária para tampa de entrada em reservatórios e tanques

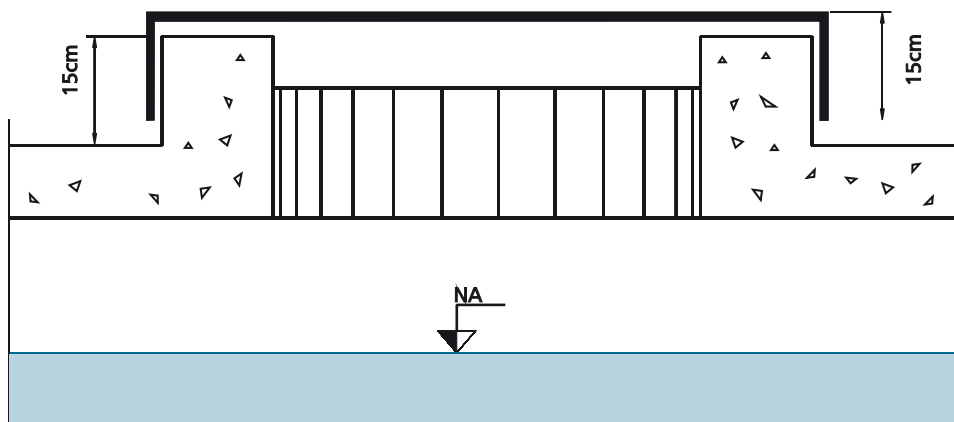
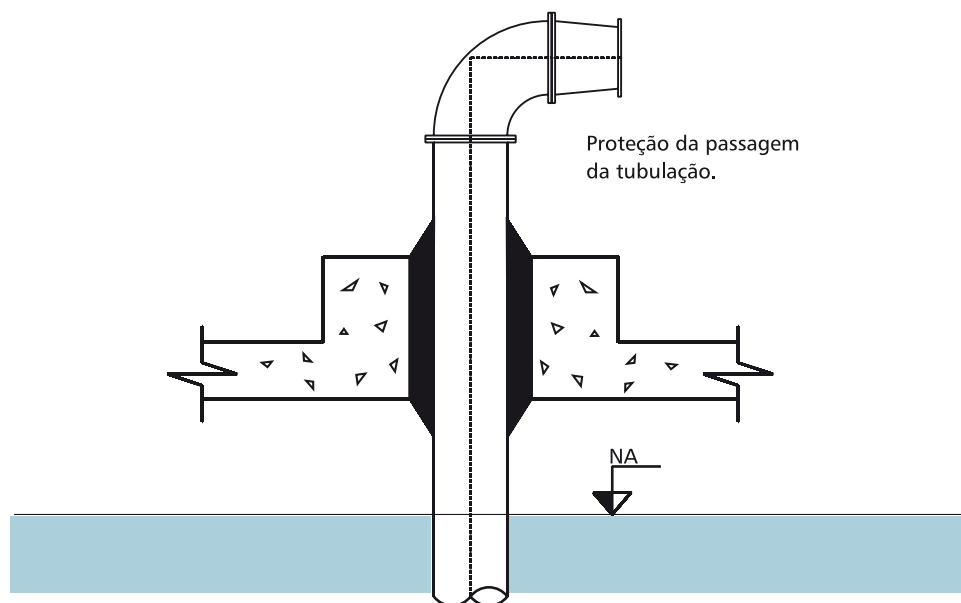


Figura 2.36 – Proteção sanitária para passagem de tubulação em lajes ou paredes de reservatórios e tanques



B) EM RELAÇÃO À REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

- Garantir, no interior das tubulações, pressões dentro dos limites recomendados pela ABNT, ou seja, preferencialmente entre 10 e 50 mca (pressões elevadas favorecem perdas de água, enquanto pressões baixas dificultam o abastecimento domiciliar e facilitam a contaminação da água no interior das tubulações).
- Evitar, ao máximo possível, situações em que as tubulações fiquem vazias ou despressurizadas, para não permitir a entrada de águas poluídas ou contaminadas.
- Dotar a rede de distribuição de registros de descarga adequadamente localizados para permitir as operações de limpeza que se façam necessárias, inclusive para combater a ocorrência de “água colorida” ou a formação de biofilme que favoreça o desenvolvimento de microorganismos patogênicos oportunistas no interior das tubulações.
- Limitar, ao mínimo incontornável, os trechos de rede de distribuição que não estejam interligados a outras tubulações, ou seja, que favoreçam a ocorrência de baixas velocidades, situação condenável por possibilitar o acúmulo de resíduos, com a conseqüente formação de “água colorida” e de biofilmes, bem como o consumo do residual de cloro livre.
- Substituir as tubulações muito antigas que sejam responsáveis pela freqüente formação de “água colorida” ou pelo comprometimento da qualidade bacteriológica da água distribuída.

- Evitar a imersão das tubulações em águas de qualidade inferior.
- Assentar as tubulações em valas situadas, sempre que possível, a mais de 3,0 m das canalizações de esgoto (nos cruzamentos a tubulação de esgoto deve estar sempre em posição inferior, com distância de pelo menos 0,5 m em relação à tubulação de água, que deve ser dotada de junta de borracha estanque). Quando não for possível guardar essas distâncias, obras especiais deverão ser executadas, tais como o envolvimento da tubulação de esgoto com concreto ou a adoção de tubos de esgoto com junta de borracha estanque.
- Garantir que as tubulações estejam protegidas contra poluição ou contaminação durante serviços de reparos, substituições, remanejamentos ou prolongamentos.
- Desinfetar as tubulações após serviços de construção ou de reparos.

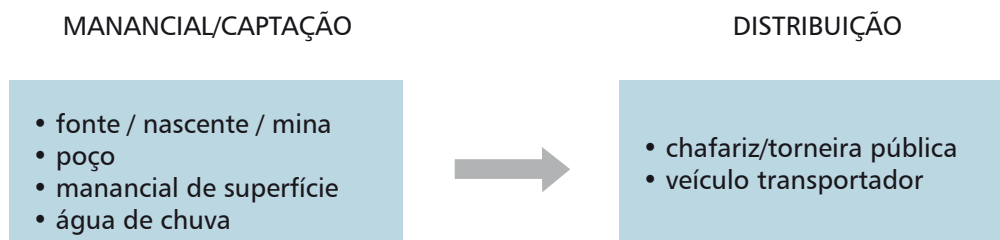
C) EM RELAÇÃO ÀS INSTALAÇÕES PREDIAIS

Para que a água colocada à disposição da população não venha a ser contaminada nos domicílios, devem ser realizadas campanhas de divulgação e de conscientização da população para a adoção de práticas que garantam a qualidade da água potável nas instalações domiciliares, sobretudo no que concerne à proteção e à limpeza de reservatórios ou de outros dispositivos utilizados para o armazenamento e o tratamento de água nas residências.

Como medida importante para o uso racional e para a justa cobrança da água utilizada, as ligações prediais devem ser sempre dotadas de medidores de vazão (hidrômetros).

2.6 SOLUÇÕES ALTERNATIVAS COLETIVAS DESPROVIDAS DE DISTRIBUIÇÃO POR REDE

Conforme conceituado na introdução deste capítulo, as soluções alternativas desprovidas de distribuição apresentam vários arranjos possíveis. Esquematicamente, podem-se observar as seguintes combinações:



MANANCIAL/CAPTAÇÃO

As recomendações quanto às boas práticas nos diversos tipos de mananciais e respectivas modalidades de captação apresentadas nas seções 2.1 e 2.2 são em seu todo aplicáveis aos mananciais e às captações empregados para a distribuição desprovida de rede.

CHAFARIZES, TORNEIRAS PÚBLICAS E VEÍCULOS TRANSPORTADORES

Nas soluções alternativas coletivas desprovidas de rede de distribuição de água, é possível encontrar vários tipos de arranjos. O que se vê normalmente são captações, seguidas ou não por algum tipo de tratamento, e posteriormente o armazenamento em um reservatório dotado de torneira pública ou a distribuição direta por chafariz. Do chafariz ou torneira pública, a população abastece a sua residência, seja por intermédio de baldes ou por qualquer outro recipiente. Outra possibilidade, igualmente corriqueira, é a situação em que, ao invés da utilização do chafariz/torneira pública, a água é transportada até os moradores por intermédio de veículos transportadores, muitas vezes os populares “caminhões-pipa”. Verificam-se ainda situações em que coexistem os chafarizes/torneiras públicas e os caminhões-pipa.

São apresentadas a seguir algumas práticas recomendadas, a serem observadas no armazenamento e na distribuição da água nas condições expostas anteriormente.

Para reservatórios com torneiras públicas

- 1) evitar o aparecimento de fendas que propiciem vazamentos e eventuais contaminações externas;
- 2) dotar o reservatório com dispositivos de extravasão, limpeza e ventilação adequados, que evitem a entrada de pássaros, insetos, poeira e outros animais e substâncias indesejáveis;
- 3) cuidar para que o reservatório contenha tampa de inspeção devidamente selada, para evitar a penetração de água de drenagem da cobertura ou a entrada de objetos indesejáveis;
- 4) efetuar a limpeza sistemática do reservatório, e em períodos adequados, principalmente após serviços de reparos ou construções;
- 5) manter controle de qualidade da água adequado e de acordo com a legislação vigente;
- 6) evitar condições propícias ao criadouro de vetores que procriem na água, a exemplo de mosquitos transmissores de dengue, especialmente nos locais imediatamente abaixo da torneira;
- 7) requerer à autoridade de saúde pública autorização para o fornecimento de água, apresentando laudo sobre a análise da qualidade da água a ser fornecida;

- 8) garantir que as torneiras tenham suas saídas em nível pouco acima do fundo para evitar que eventual impureza acumulada no fundo do reservatório venha a ser transposta ao coletor de água;
- 9) manter cadastro apropriado das instalações;
- 10) realizar a desinfecção da água, mantendo residual adequado.

Para chafarizes

- 1) manter controle de qualidade da água adequado e de acordo com a legislação vigente;
- 2) garantir que a fonte supridora do chafariz seja segura;
- 3) evitar condições propícias ao criadouro de vetores que procriem na água, a exemplo de mosquitos transmissores de dengue, especialmente nos locais imediatamente abaixo da torneira;
- 4) requerer à autoridade de saúde pública autorização para o fornecimento de água, apresentando laudo sobre a análise da qualidade da água a ser fornecida;
- 5) manter cadastro apropriado das instalações;
- 6) realizar a desinfecção da água, mantendo o residual adequado.

Para veículos transportadores

- 1) cuidar para que o veículo transportador tenha uso exclusivo para o transporte de água para consumo humano;
- 2) manter a carroceria em ótimo estado de conservação, evitando ferrugem e perda da estanqueidade;
- 3) manter os dispositivos de introdução e retirada de água (equipamentos de sucção, torneiras, mangueiras, válvulas, etc.) em perfeito estado de conservação;
- 4) garantir que a fonte supridora de água dos veículos seja segura;
- 5) cuidar para que a água transportada tenha, de acordo com a legislação vigente, o controle de qualidade assegurado e que o laudo desse controle de qualidade seja transportado pelo condutor do veículo;
- 6) cuidar para que o abastecimento da população não seja comprometido pelo mau manuseio do dispositivo de retirada da água e para que este esteja devidamente limpo e isento de contaminação;
- 7) efetuar a limpeza sistemática, e em períodos adequados, do veículo, principalmente após serviços de reparos;
- 8) cuidar para que o veículo contenha, de forma visível, em sua carroceria, a inscrição: “ÁGUA POTÁVEL”;
- 9) operar cuidadosamente a descarga de água, de modo que não haja arraste da mangueira no chão que possa danificá-la, comprometendo a qualidade da água.

- 10) requerer à autoridade de saúde pública autorização para o fornecimento de água, apresentando laudo sobre a análise da qualidade da água a ser fornecida;
- 11) realizar a desinfecção da água, mantendo o residual adequado.

2.7 PRODUTOS E INSUMOS

PRODUTOS E MATERIAIS EMPREGADOS E CUIDADOS CORRESPONDENTES

Os produtos químicos utilizados no tratamento da água para consumo humano, bem como os diversos materiais que entram em contato com a água, devem apresentar qualidade compatível com o uso a que se destinam. Ou seja, os produtos químicos não podem representar risco à saúde humana nas dosagens em que são usualmente empregados, assim como os materiais em contato com a água não podem liberar substâncias tóxicas em quantidade nociva.

A escolha adequada de produtos e insumos cabe ao responsável pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água e deve estar pautada nos seguintes quesitos:

- características da água *in natura* (físico-químicas e biológicas), as quais determinarão o tipo de tratamento necessário à potabilização;
- escala de produção (por exemplo, um determinado insumo pode ser economicamente inviável para grandes vazões de água a ser tratada);
- logística;
- segurança no transporte, manuseio, armazenamento e aplicação.

A preocupação com a qualidade dos produtos químicos utilizados no tratamento da água ou dos materiais que tenham contato com a água para consumo humano pode ser identificada no quadro abaixo, transcrito da Norma anexa à Portaria MS nº 518/2004:

Art. 9º Ao responsável pela operação de sistema de abastecimento de água incumbe:

II. Manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, por meio de:

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;

Com relação aos insumos empregados no tratamento de água para consumo humano, estes podem ser agrupados da seguinte forma:

FUNÇÃO	PRODUTOS MAIS UTILIZADOS
Coagulantes e auxiliares de coagulação ou de floculação e floculantes	• sulfato de alumínio; • cloreto férrico; • sulfato férrico; • sulfato ferroso; • cloreto de polialumínio (PAC); • extratos vegetais (tanino); • polímeros sintéticos (por exemplo, acrilamidas); • polieletrólitos naturais (amidos).
Desinfetantes/ oxidantes	• cloro-gás; • hipoclorito de sódio; • hipoclorito de cálcio; • dióxido de cloro; • ozônio; • permanganato de potássio.
Alcalinizantes	• óxido de cálcio (cal virgem); • hidróxido de cálcio (cal hidratada); • hidróxido de sódio (soda cáustica); • carbonato de sódio (soda barrilha).
Fluoretantes	• ácido fluorsilícico; • fluorsilicato de sódio.
Adsorventes	• carvão ativado.
Controladores dos efeitos da corrosão	• ortopolifosfatos.
Redutores de dureza (abrandamento)	• sais de cálcio e magnésio.
Algicidas/biocidas	• sulfato de cobre; • sais de amônia quaternária.

Com relação aos materiais de construção que entram em contato com a água para consumo humano, é importante observar a necessária ausência ou a baixa reatividade destes à água potável, de modo que não se alterem os limites de substâncias que podem trazer riscos à saúde, elevando-as além dos Valores Máximos Permitidos (VMPs) pela legislação vigente.

Dentre os principais representantes desse grupo, presentes nas unidades de tratamento (floculadores, decantadores, filtros) e de distribuição (reservatórios, adutoras, válvulas e conexões), destacam-se estruturalmente os materiais ferrosos, o concreto e os plásticos (PEAD, PVC, PP), além dos produtos empregados na interface entre a água e os primeiros (pinturas, impermeabilizações, etc.).

Normas técnicas nacionais (ABNT) e internacionais (AWWA, ANSI, ASTM, etc.) permitem validar o uso de diversos produtos e insumos relacionados à água para consumo humano. Além disso, muitos fabricantes possuem certificações para

seus produtos (tubulações, válvulas e conexões para água potável, por exemplo), as quais atestam a qualidade dos materiais empregados e o não-comprometimento das características da água em contato com eles.

PESQUISA

É desejável que os responsáveis pela operação de sistema e/ou solução alternativa se preocupem com a qualidade dos produtos químicos que utilizam no tratamento de água para consumo humano, exercendo esse controle pelo emprego de normas técnicas da ABNT e de normas reconhecidas internacionalmente. Se possível, recomenda-se que eles acompanhem a elaboração de normas de especificação e de controle da qualidade dos produtos químicos junto à ABNT.

A pré-qualificação de fabricantes e de fornecedores de produtos químicos, as auditorias nas fábricas para avaliação dos processos produtivos e do controle de qualidade, o controle da toxicidade dos insumos são, entre outras, importantes ações para a garantia da qualidade dos produtos e dos insumos utilizados nos serviços.

Outrossim, a pesquisa de novas tecnologias de tratamento e de novos insumos e o aperfeiçoamento constante dos quadros técnicos e operacionais dos prestadores de serviço, aliados aos investimentos nas unidades de tratamento e de distribuição de água e em ações de preservação dos mananciais, podem resultar em fornecimento de água para consumo humano de melhor qualidade.

Procedimentos recomendáveis para o bom uso de produtos e insumos:

- Estudos de tratabilidade: para identificar a melhor opção de tratamento para cada situação, no que se refere ao tipo e à dosagem de produtos químicos, à tecnologia de tratamento e às condições operacionais.
- Desenvolvimento profissional: para a qualificação técnica e operacional.
- Investimentos operacionais: para assegurar adequados procedimentos para tratamento e distribuição.
- Preservação dos mananciais: para minimizar riscos.

AQUISIÇÃO

A aquisição de produtos e insumos adequados começa no conhecimento do mercado produtor: quantas e quais empresas fabricam cada produto, quais são as tecnologias empregadas na sua fabricação (por exemplo, determinada

rota tecnológica pode resultar na presença de certos contaminantes no produto), onde estão localizadas as fábricas (logística de custo e de tempo de fornecimento), etc.

Estabelecido qual o produto a ser comprado, a correta especificação técnica do material passa a ser a chave da boa aquisição. Quando o produto possui norma técnica, esta deverá nortear os elementos que constituem o objeto de compra. Genericamente, sugere-se especificar o material conforme segue:

- Nome do material.
- Quantidade a ser fornecida.
- Local para entrega.
- Especificações detalhadas do material:
 - nome do fabricante;
 - tecnologia empregada na preparação do material e a origem dos insumos;
 - características do material (aspecto, cor, etc.);
 - valores máximos e mínimos permitidos para substâncias ativas e inertes.
- Atestados de fornecimento do material.
- Responsabilidade pelo transporte e pelo descarregamento do material pela contratada.
- Definição de laboratório credenciado para controle de qualidade do material.
- Solicitação de laudo do material por lote de fornecimento (garantia).

É importante que constem do contrato de fornecimento de produtos e insumos cláusulas que assegurem que a qualidade do material ofertado e de seus constituintes não compromete as características da água.

Lembre-se de que uma boa especificação técnica reduz a possibilidade de o produto ou insumo representar risco à saúde.

RECEBIMENTO

Tendo sido contratado o fornecimento de determinado material, sugere-se adotar os seguintes procedimentos, aos cuidados do responsável pelo seu recebimento:

- Ter conhecimento do contrato de fornecimento do material.
- Verificar os seguintes dados da nota fiscal:
 - data;
 - nome do material;
 - local de entrega;
 - quantidade.
- Verificar se o laudo corresponde ao material e ao lote especificado na nota fiscal.
- Comparar os dados constantes do laudo técnico com os valores previstos no contrato de fornecimento do material.
- Exigir do fornecedor a ficha técnica e de segurança do produto, bem como outros itens contratuais (amostras, por exemplo).
- Verificar a integridade do material que está sendo entregue (existência de lacres, embalagens fechadas, etc.).
- Efetuar a contagem física (no caso de embalagens) ou proceder à pesagem do material (fornecimento a granel), conferindo com os dados constantes da nota fiscal.
- Efetuar a amostragem do material (se necessário), conforme norma ou procedimento operacional padronizado. Se possível, encaminhar a amostra para o laboratório credenciado e aguardar o resultado das análises para liberação do procedimento de descarga do material.
- Liberar a descarga do material no local de entrega previamente preparado para seu recebimento, conforme procedimento de armazenamento (atentar para o uso correto dos equipamentos de proteção individual – EPIs).
- O responsável deverá anotar no canhoto de recebimento e no corpo da nota fiscal eventuais observações sobre o material recebido.
- Acompanhar o descarregamento do material no local de entrega.
- Liberar o canhoto da nota fiscal para o transportador apenas após se certificar de que o recebimento foi concluído.
- Observar os procedimentos de segurança em todas as etapas do trajeto, desde o fabricante até o destinatário.

CONTROLE DE QUALIDADE

Ao encaminhar amostra de material para análise em laboratórios próprios ou de terceiros, sugere-se adotar os seguintes procedimentos:

- A amostra deve ser representativa do material recebido, em quantidade suficiente para possibilitar todos os ensaios analíticos em triplicata, estar lacrada e conter os seguintes dados de identificação:
 - nome do material (por exemplo, cal virgem);
 - identificação da amostra (por exemplo, saída do caminhão-silo);
 - data da amostragem;
 - número da nota fiscal;
 - local de recebimento do material;
 - nome do responsável pela amostragem.
- As análises devem seguir as normas técnicas aplicáveis ao produto ou aos parâmetros ensaiados.
- Os reagentes e as vidrarias empregados nas marchas analíticas devem ser padronizados previamente.
- Os instrumentos analíticos devem ser aferidos e calibrados.
- Os processos de certificação intra e interlaboratorial são desejáveis, para ratificação dos resultados de análise obtidos.

Uma vez que o material tenha sido ensaiado e o resultado tenha atendido aos critérios definidos no procedimento de compra (especificações técnicas), o laboratório deve encaminhar o laudo de análise para a área operacional, certificando a qualidade do material recebido. Esse laudo deverá ser anexado à documentação existente, compondo o histórico de fornecimento do produto.

Na hipótese de algum parâmetro exceder os limites previstos no procedimento de compra, sugere-se confirmar a não-conformidade por meio de nova amostragem e análise. Verificando-se novamente uma irregularidade, o fornecedor deverá ser acionado e sofrer as sanções contratuais.

O credenciamento do laboratório é o reconhecimento formal de que ele está operando com um sistema de qualidade documentado e de que é tecnicamente competente para realizar ensaios ou calibrações específicas, conforme o Inmetro.

ARMAZENAMENTO

Para que a qualidade de um determinado material não seja alterada, é importante que ele seja adequadamente estocado e consumido dentro do prazo de validade estabelecido pelo fabricante. A correta armazenagem depende das caracterís-

tivas do produto e da forma como este é entregue pelo fabricante. Recomendações sobre área de armazenamento constam da NBR-12216. De modo geral, as situações a seguir relacionadas procuram estabelecer os requisitos mínimos para um bom acondicionamento dos materiais.

1) Para armazenamento de materiais sólidos e líquidos que são entregues em embalagens individuais (sacos ou caixas):

- A área externa deverá permitir fácil acesso ao depósito, possuir pavimentação compatível com o trânsito de veículos de carga e incluir espaço suficiente para manobras dos caminhões (prever situação-limite de recebimento de carretas).
- Utilizar como depósito prédio em alvenaria com pé direito alto, boa iluminação natural e ventilação adequada.
- O piso e as paredes do depósito devem possuir revestimento compatível com o uso, tanto nos aspectos de resistência mecânica (trânsito pesado) quanto de resistência química aos produtos que serão armazenados.
- Os produtos fornecidos em sacarias devem ser acondicionados sobre estrados de madeira ou plástico, de modo a evitar o contato direto com o piso e permitir o uso de empilhadeira no manuseio do material dentro do depósito.
- Produtos líquidos devem ser acondicionados em espaços confinados (bacias de contenção) ou que possuam sistema de expurgo para tanques de emergência.
- Internamente, deve-se distribuir a área útil do depósito de modo que se permita o correto acondicionamento dos materiais nos volumes máximos de cada um, respeitando os limites de empilhamento e as distâncias entre as pilhas. Sugere-se delimitar fisicamente os limites dos diferentes produtos pelo emprego de linhas pintadas no piso ou de cordões de isolamento.
- Consumir os lotes por ordem de chegada, respeitando os prazos de validade de cada produto.
- Respeitar as capacidades máximas de armazenamento por local, dentro dos critérios de higiene e segurança.
- Respeitar os critérios de compatibilidade entre produtos químicos armazenados na mesma área.
- Manter o ambiente limpo e organizado.
- Sinalizar as áreas dos diferentes produtos.
- Identificar as pilhas dos diferentes produtos químicos por meio de placas que contenham, entre outros dizeres, o nome, a classe do material e os procedimentos de segurança.

2) Para armazenamento de materiais sólidos e líquidos que são entregues a granel:

- A área externa deve permitir fácil acesso aos tanques ou silos, possuir pavimentação compatível com o trânsito de veículos de carga e incluir espaço suficiente para manobras dos caminhões (prever situação-limite de recebimento de carretas).
- É desejável a cobertura de tanques e silos com revestimentos que prolonguem a vida útil dos reservatórios.
- Os tanques e silos devem possuir elevada resistência estrutural.
- As superfícies internas dos tanques e silos devem possuir revestimento compatível com o uso (resistência química aos produtos que serão armazenados). Sugere-se, no caso dos revestimentos em resina, o uso de barreira química de cor diferente da camada estrutural, o que permitirá acompanhar a fadiga dos reservatórios e permitir sua recuperação preventivamente.
- Produtos líquidos devem ser acondicionados em espaços confinados (bacias de contenção) ou que possuam sistema de expurgo para tanques de emergência.
- No caso de áreas de armazenamento de diferentes produtos químicos, sugere-se que cada produto tenha ao menos dois tanques e que estes sejam construídos no interior de uma bacia de contenção com volume útil equivalente à sua capacidade de armazenamento.
- É fundamental que as bacias de contenção ou os tanques de emergência sejam estruturalmente resistentes e apresentem a mesma resistência química aos produtos dos tanques de armazenamento.
- Construtivamente, é solução preferencial posicionar a base de tanques estacionários elevada em relação à bacia de contenção, evitando passagens de tubulações nas paredes das bacias e permitindo a manobra dos registros de fundo dos tanques fora da área de inundação.
- Se possível, evitar a mistura de diferentes cargas em um mesmo tanque, enquanto se aguarda a liberação do novo lote.
- Consumir os lotes por ordem de chegada, respeitando os prazos de validade de cada produto.
- Respeitar as capacidades máximas de armazenamento por local, dentro dos critérios de higiene e segurança.
- Respeitar os critérios de compatibilidade entre produtos químicos armazenados na mesma área.
- Manter o ambiente limpo e organizado.
- Sinalizar as áreas dos diferentes produtos.

- Identificar os tanques e os silos dos diferentes produtos químicos por meio de placas que contenham, entre outros dizeres, o nome, a classe do material e os procedimentos de segurança.

BOAS PRÁTICAS NO USO

O emprego dos produtos e insumos no tratamento e na distribuição da água para consumo humano deve basear-se em critérios técnicos e operacionais que objetivem o pleno atendimento do padrão de potabilidade vigente.

A qualificação dos profissionais responsáveis pela operação de sistema e/ou solução alternativa é de vital importância nesse contexto, seja mediante o conhecimento e a padronização das rotinas do dia-a-dia, seja pelo aperfeiçoamento das técnicas operacionais e dos controles de qualidade.

Lembre-se que o transporte, o armazenamento, o manuseio e a aplicação dos produtos químicos devem ser realizados de acordo com as recomendações do fabricante e com as normas de segurança pertinentes a cada produto. Esse cuidado reduz a chance de ocorrerem acidentes, alguns deles de muita gravidade, como já registrados em diversas estações de tratamento.

Além disso, deve-se manter um estoque dos produtos químicos, para que em hipótese alguma falem produtos indispensáveis ao tratamento da água, nem aqueles utilizados no laboratório para monitorar a qualidade da água produzida. Em algumas ETAs, nota-se a falta de equipamentos que permitem indicar a quantidade de cloro restante nos cilindros utilizados na oxidação ou na desinfecção da água. Essa situação não deve ser permitida, pois ela leva ao fornecimento de água sem desinfecção até que se perceba a falta de cloro e se providencie a colocação em operação de outro cilindro.

2.8 SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA RELACIONADAS A ANOMALIAS NO ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Em relação ao abastecimento de água, as situações de emergência podem ocorrer de duas formas: as de caráter natural e as de caráter operacional. Deve ser salientado que, quase sempre, as chamadas situações de emergência de caráter natural têm um determinante humano, em geral responsável pela desordenada exploração do ambiente. As situações de emergência podem comprometer a qualidade e/ou a quantidade da água distribuída à população.

Exemplos de situações de emergência de caráter natural

- enchentes;
- secas;
- tempestades;
- eutrofização das águas de lagos e reservatórios e ocorrência de algas que coloquem em risco a qualidade da água.

Exemplos de situações de emergência de caráter operacional

- rompimentos de adutoras;
- corte e/ou restrição no fornecimento de energia elétrica;
- paralisação do processo de desinfecção de água;
- acidentes com produtos químicos junto ao manancial superficial;
- falta de água por períodos prolongados em setores de abastecimento;
- paralisação parcial ou total do fornecimento de água por períodos prolongados.

Como exemplo de acidente com cargas e produtos perigosos, citam-se os acidentes ocorridos nos municípios de Uberaba e Cataguases, ambos em Minas Gerais. No acidente de Uberaba, na madrugada do dia 10/06/2003, um trem descarrilhado lançou substâncias químicas em um afluente do Rio Uberaba, utilizado como manancial de abastecimento de água do município. As substâncias químicas envolvidas no acidente eram metanol (381 t), isobutanol (94 t), octanol (245 t) e cloreto de potássio (147 t).

Em Cataguases, o acidente foi consequência do rompimento de uma barragem da Indústria Cataguases de Papel Ltda, que liberou mais de 1,4 milhão de metros cúbicos de resíduos industriais nos Rios Pomba e Paraíba do Sul e no Ribeirão do Cágado. Dentre as substâncias químicas que foram liberadas, destaca-se a soda cáustica.

Os serviços de abastecimento de água devem sempre adotar medidas de prevenção e, na hipótese de ocorrência de acidentes, contar com planos de emergência dirigidos à rápida tomada de providências. Esse plano deve considerar, como parte operacional, a comunicação imediata ao público e à autoridade de saúde pública, para que com esta, em comum acordo, se possam definir o plano de contingência a ser aplicado, como mesmo está previsto na Portaria MS nº 518/2004:

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.

SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA RELACIONADAS À QUANTIDADE E À QUALIDADE DA ÁGUA

SITUAÇÃO EMERGENCIAL ENCONTRADA	MEDIDAS RECOMENDADAS
Redução parcial da vazão de água produzida por período prolongado (enchentes, secas, tempestades, comprometimento da qualidade da água bruta).	• Racionar a distribuição da água com a devida comunicação à autoridade de saúde pública e à população. • Tomar providências para o pronto restabelecimento da produção. • Buscar outro manancial para utilização emergencial. • Garantir o abastecimento pleno às instituições de saúde e a outras igualmente importantes a serem indicadas pelo setor saúde, por exemplo, por meio de caminhões-pipa.
Redução total da vazão de água produzida por período prolongado (enchentes, secas, tempestades, comprometimento da qualidade da água bruta, rompimento de adutoras, acidentes com produtos químicos junto ao manancial, paralisação de processos de tratamento).	• Comunicar à autoridade de saúde pública e à população a interrupção do fornecimento e o prazo previsto para a normalização. • Buscar outro manancial para utilização emergencial e implantar novo sistema de produção de água. • Buscar outra fonte de abastecimento de água por caminhão-pipa para o suprimento à população e às instituições de saúde.
Redução parcial da vazão de água produzida por período curto (comprometimento temporário da qualidade da água bruta, corte e/ou restrição no fornecimento de energia elétrica, paralisação temporária de processos de tratamento).	• Racionar a distribuição da água com a devida comunicação à autoridade de saúde pública, divulgando o racionamento à população. • Tomar providências para o restabelecimento da produção. • Garantir o abastecimento pleno às instituições de saúde e a outras igualmente importantes indicadas pelo setor saúde, por exemplo, por meio de caminhões-pipa.
Redução total da vazão de água produzida por período curto (comprometimento temporário da qualidade da água bruta, corte e/ou restrição no fornecimento de energia elétrica, paralisação temporária de processos de tratamento).	• Comunicar à autoridade de saúde pública e à população a interrupção do fornecimento, informando o prazo previsto para a normalização. • Buscar outra fonte de abastecimento de água por caminhão-pipa para o suprimento à população e às instituições de saúde.

Continua...

Continuação

SITUAÇÃO EMERGENCIAL ENCONTRADA	MEDIDAS RECOMENDADAS
Interrupção de curta duração no sistema de distribuição de água.	• Racionar a distribuição da água com a devida comunicação à autoridade de saúde pública e à população. • Tomar providências para a recolocação da rede de distribuição em operação. • Garantir o abastecimento pleno às instituições de saúde e a outras igualmente importantes a serem indicadas pelo setor saúde, por exemplo, por meio de caminhões-pipa.
Interrupção de longa duração no sistema de distribuição de água.	• Racionar a distribuição da água com a devida comunicação à autoridade de saúde pública e à população. • Tomar providências para a recolocação da rede de distribuição em operação. • Garantir o abastecimento pleno às instituições de saúde e a outras igualmente importantes a serem indicadas pelo setor saúde, por exemplo, por meio de caminhões-pipa.
Contaminação da água distribuída por microorganismo ou substância que represente risco à saúde humana.	• Interromper o abastecimento de água. • Comunicar o fato à autoridade de saúde pública. • Comunicar o fato à população exposta, orientando-a sobre a eventual necessidade de esvaziar e lavar os reservatórios domiciliares, não se devendo hesitar em orientar a população para desinfetar ou ferver a água a ser utilizada para ingestão. • Investigar a origem da contaminação, a iniciar pela verificação da qualidade da água efluente da estação de tratamento. • Investigar possíveis falhas no tratamento. • Realizar inspeções sanitárias na bacia do manancial, incluindo, quando cabível, monitoramento rigoroso da qualidade da água. • Em caso de suspeita de contaminação no sistema de distribuição, investigar a fonte da contaminação, por exemplo por meio de geofonamento (detecção auditiva de vazamento por instrumento específico) da rede de distribuição e ligações prediais ou por rastreamento da qualidade da água. • Investigar possíveis conexões cruzadas das redes e das ligações de água com redes e ramais de esgotos. • Sanar o problema identificado. • Efetuar a limpeza e a desinfecção da rede afetada. • Proceder a novas coletas e análises da qualidade da água. • Liberar a água para o consumo humano caso seja garantida a segurança da sua qualidade. • Verificar a origem do problema e tomar medidas preventivas para evitar o surgimento de situações futuras semelhantes.
Deterioração da qualidade da água em relação a parâmetros relacionados à aceitação para consumo humano (cor, turbidez, pH, dureza, ferro, manganês e outros).	• Comunicar o fato à autoridade de saúde pública. • Comunicar o fato ao público. • Identificar a fonte da poluição, conforme item anterior. • Verificar a possibilidade de ocorrência de possíveis incrustações e/ou biofilmes na rede de distribuição. • Verificar a existência de água estagnada (ponta de rede) e, nesse caso, programar a interligação das pontas de redes para propiciar a circulação da água. • Proceder a descargas da rede de distribuição. • Sanar o problema identificado. • Proceder a novas coletas e análises de qualidade da água. • Verificar a origem do problema e tomar medidas preventivas para evitar o surgimento de situações futuras semelhantes.

SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA RELACIONADAS A EPIDEMIAS/SURTOS

Os responsáveis por sistemas ou soluções alternativas de abastecimento podem, em determinados momentos, ter de enfrentar, juntamente com as autoridades de saúde pública competentes, situações de emergência em que a ocorrência de agravos na saúde da população está relacionada com a água de consumo humano.

É há muito tempo estabelecida a relação entre qualidade da água e saúde, daí a necessidade de a água de consumo passar por processos de tratamento que a adequem aos requisitos de potabilidade estabelecidos na legislação. Em determinadas situações, a água distribuída fora dos padrões de potabilidade pode desencadear na população abastecida casos de doenças e/ou agravos relacionados com a água de consumo.

Agravos relacionados com a água podem ser de natureza infecciosa ou não, ou seja, estarão relacionados a, basicamente, dois tipos de ocorrências: a presença de microorganismos patogênicos (vírus, bactérias ou protozoários) ou a de substâncias/produtos químicos na água.

A ocorrência de microorganismos patogênicos ou substâncias/produtos químicos na água de consumo pode estar relacionada a um sistema de abastecimento em que não exista tratamento ou este é inadequado; a uma situação em que, em razão de uma falha no processo de tratamento, a qualidade da água distribuída não atende aos requisitos de potabilidade; a uma situação em que, em função de uma alteração abrupta da qualidade da água bruta, pode ocorrer falha no processo de tratamento usual (por exemplo, chuvas intensas com elevação da turbidez da água bruta) ou ainda quando da ocorrência de acidentes com cargas ou produtos perigosos.

As doenças infecciosas relacionadas com a água de consumo são, sem dúvida, importantes agravos que podem acometer a população. São relevantes na medida em que apresentam caráter agudo, podem acometer grande número de indivíduos ao mesmo tempo, apresentam significativa abrangência espacial e, em alguns casos, levam ao óbito.

Considerando as doenças infecciosas que têm na água de consumo importante veículo de transmissão, a ocorrência aumentada de casos de doença diarreica aguda na população deve sempre suscitar a suspeita de que a água consumida pode estar relacionada com o fato.

Entretanto, alguns agentes infecciosos que podem ser veiculados pela água não necessariamente apresentam como sintoma ou sinal clínico doença diarreica aguda. Essa consideração também é válida para as substâncias ou os produtos químicos que uma vez presentes na água de consumo podem vir a causar problemas na população consumidora. Nesse sentido, é importante a atenção para a identificação, o mais precocemente possível, da ocorrência de eventos inusitados em número aumentado.

Os agravos de natureza infecciosa transmitidos pela água de consumo podem acometer a população de forma endêmica ou epidêmica. A forma endêmica caracteriza-se por ocorrer com um padrão conhecido, ou seja, espera-se um determinado número de casos de doença na população, sendo esse padrão repetido ao longo do tempo. A forma epidêmica, podendo se caracterizar como epidemias ou surtos, apresenta, genericamente, um número de casos acima do esperado. Segundo o *Guia de vigilância epidemiológica* (BRASIL, 2002), epidemias e surtos podem ser definidos conforme a descrição a seguir:

- **epidemias:** elevação do número de casos de uma doença ou agravo, em determinado lugar e período de tempo, caracterizando de forma clara um excesso em relação à frequência esperada;
- **surtos:** tipo de epidemia em que os casos se restringem a uma área geográfica pequena e bem delimitada ou a uma população institucionalizada (creches, quartéis, escolas, entre outros).

A identificação de epidemias/surtos o mais precocemente possível está relacionada, entre outros fatores, a um serviço de vigilância epidemiológica bem estruturado e operacionalmente funcional. A ocorrência de situações de epidemia/surto suscita o desenvolvimento de atividades de investigação epidemiológica, o que representa uma ferramenta da vigilância utilizada para o esclarecimento de questões relativas a um determinado evento em saúde.

De forma geral, no âmbito dos serviços de saúde, as investigações epidemiológicas são realizadas quando da ocorrência de casos novos de uma doença ou agravo à saúde, transmissíveis ou não, ou quando da ocorrência de agravos inusitados. Segundo o citado *Guia de vigilância epidemiológica*, investigações epidemiológicas são definidas como “um trabalho de campo, realizado a partir de casos notificados (clinicamente declarados ou suspeitos) e seus contatos, que têm como principais objetivos: identificar a fonte e o modo de transmissão; grupos expostos a maior risco; fatores determinantes; confirmar o diagnóstico e determinar as principais características epidemiológicas”.

Quando a investigação é iniciada durante a ocorrência de epidemias/surtos, seus objetivos principais consistem na prevenção da ocorrência de casos novos do agravo e na redução da duração da epidemia/surto.

Entretanto, na maioria das vezes, as ações de investigação de epidemias/surtos são implementadas após estes terem terminado. Apesar disso, a investigação é importante, pois é a ocasião para o levantamento de informações que podem, em uma situação futura, auxiliar na identificação de novas epidemias/surtos, contribuindo assim para seu controle ou mesmo para sua prevenção.

A identificação da ocorrência de epidemia/surto de doença relacionado com a água é uma atribuição dos serviços de vigilância, podendo ser resultante tanto de um monitoramento sistemático e eficiente dos agravos ocorridos na população como da notificação feita pela própria população ou ainda de notícias veiculadas nos meios de comunicação.

Há que se destacar, entretanto, a relevância do envolvimento dos responsáveis por sistemas ou soluções alternativas de abastecimento nas atividades de investigação de epidemias/surtos, com a finalidade de, o mais rápido e eficientemente possível, identificar a origem do problema e corrigi-lo.

A epidemia ou o surto deve ser descrito da forma mais completa possível, a fim de caracterizar a situação estudada, com a adequada definição da população acometida e da abrangência espacial e temporal dos casos.

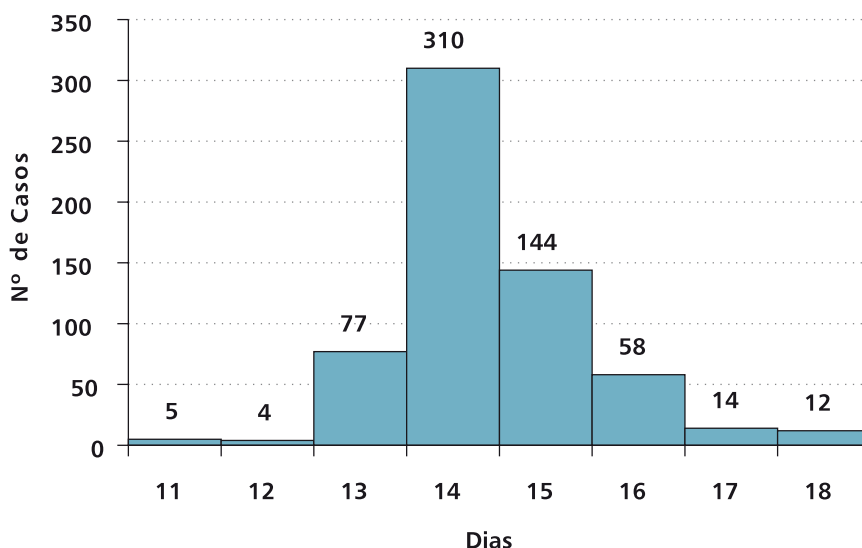
Estudo de caso: Surto de gastroenterite aguda por astrovírus no Município de Itatiaia-RJ

Em 13/08/2002, a Secretaria de Saúde do Município de Itatiaia (SMS-Itatiaia) notificou um aumento do número de pessoas com gastroenterite aguda. Em seis dias, foram notificados, por meio da monitorização das doenças diarréicas agudas (MDDA), 615 casos de diarreia. Os principais sintomas apresentados pelos pacientes foram: vômito, diarreia aquosa, dor abdominal e febre. Não houve registro de óbitos.

Quadro – Casos de gastroenterite aguda por astrovírus segundo faixa etária, no Município de Itatiaia-RJ, de 13 a 18/08/2002

FAIXA ETÁRIA (ANOS)	NÚMERO DE CASOS	PROPORÇÃO (%)
< 1	7	3,1
1-4	73	8,7
5-9	91	13,7
> 10	428	71,2
Ignorada	16	3,5

Gráfico – Distribuição temporal dos casos de doença gastroenterite aguda por astrovírus, Município de Itatiaia-RJ, de 11 a 18/08/2002



FONTE: Relatório final da investigação epidemiológica (SVS/MS)

Os agravos relacionados com a água de consumo, quando é este o veículo de transmissão de agentes infecciosos, normalmente apresentam como mecanismo de transmissão a forma fecal-oral. Nesses casos, epidemias/surtos têm como importante característica comum a ocorrência de casos concentrada em um período de tempo, normalmente curto. A concentração temporal de casos é um dos indicativos das epidemias/surtos denominados “por fonte comum”, os quais têm na água de consumo um dos veículos freqüentemente associados.

No exemplo, o surto apresentou concentração temporal de casos em poucos dias.

Outra característica relevante das epidemias/surtos por fonte comum é a concentração espacial dos casos. Entretanto, para a adequada confirmação da associação da água de consumo com a ocorrência de casos de doença na população consumidora é necessária a identificação, quando se está diante de doença infecciosa, do agente envolvido, em amostras clínicas de pacientes e na água de consumo.

O isolamento de agentes patogênicos em amostras de água não é tarefa simples. As técnicas disponíveis, de forma geral, apresentam limitações em termos de especificidade e sensibilidade, custo, tempo de execução e pessoal treinado. Adicionalmente, como os microorganismos patogênicos normalmente podem-se apresentar de forma intermitente, um resultado negativo não descarta o envolvimento da água de consumo na origem da epidemia ou surto.

As técnicas usuais para a avaliação da qualidade bacteriológica da água não devem ser descartadas nessas situações, pois, conforme já explicitado, o

mecanismo de transmissão é principalmente do tipo fecal-oral, a presença/ausência de indicadores de contaminação fecal pode ser indicativa da presença/ausência de patógenos que apresentam essa forma de transmissão, permitindo, assim, a inferência da associação da água de consumo com a epidemia ou o surto.

Outra questão significativa, quando da investigação epidemiológica de epidemias/surtos relacionados com a água de consumo, é a descrição detalhada de todas as formas de abastecimento de água existentes no local de ocorrência do agravo. Essa atividade possibilita o levantamento de informações importantes para a caracterização do problema, a orientação de ações para a verificação do envolvimento da água de consumo e a definição da estratégia de controle e prevenção de situações futuras.

A seguir, apresenta-se a complementação da descrição do surto, com a abordagem dos aspectos anteriormente discutidos.

Estudo de caso: Surto de gastroenterite aguda por astrovírus no Município de Itatiaia-RJ (continuação)

O Município de Itatiaia possuía sistemas de captação de água responsáveis pelo abastecimento de 16 bairros. A distribuição dos casos de diarreia segundo o sistema de abastecimento revelou uma maior concentração de casos nos bairros abastecidos pelo sistema de captação de Campo Belo (ver quadro a seguir). Segundo informações dos gestores municipais, o abastecimento desse sistema havia sido interrompido para limpeza e manutenção aproximadamente três dias antes da ocorrência dos casos de gastroenterite.

Quadro – Incidência estimada dos casos de gastroenterite aguda por astrovírus segundo o sistema de captação de água, Município de Itatiaia-RJ, de 13 a 18/08/2002

SISTEMA DE CAPTAÇÃO	NÚMERO DE BAIRROS ABASTECIDOS	TOTAL DE CASOS	INCIDÊNCIA ACUMULADA (P/ 1.000 HAB.)
Campo Belo	12	447	28,2
Cazunga	1	16	26,7
Cazunga, Vila Esperança e Morro Cruzeiro	1	20	17,1
Penedo	1	10	1,7
Parque	1	2	8,0

Algumas das características do sistema de captação de Campo Belo são descritas: manancial de água bruta superficial (Rio Campo Belo); ausência de monitoramento do manancial; existência de residências localizadas a montante do ponto de captação (possível contaminação por esgotos domésticos); adutora por gravidade; desinfecção com cloro-gás; ausência de monitoramento de CRL na rede de distribuição; descontinuidade no fornecimento de água durante a limpeza da adutora e em época de chuvas torrenciais em função do aumento da turbidez da água bruta.

Um estudo laboratorial realizado envolvendo 29 pacientes com diarreia apresentou resultado positivo para astrovírus em 16 (55%) das amostras de fezes analisadas. Também foram realizadas pesquisas para protozoários, bactérias, rotavírus e adenovírus, sendo todas negativas.

Foram coletadas 15 amostras de água do sistema de captação de Campo Belo (uma amostra de água bruta e 14 da rede de distribuição) para pesquisa dos seguintes parâmetros: pH, turbidez, CRL e coliformes. Resultados laboratoriais: 42,9% das amostras provenientes da rede de distribuição foram positivas para coliformes totais e *E. coli*, e 35,7% apresentaram ausência de CRL.

Quadro – Resultados laboratoriais das análises realizadas em algumas amostras de água para consumo humano, sistema de captação Campo Belo, Município de Itatiaia-RJ, 08/2002

PONTOS DE COLETA	PH	TURBIDEZ (UT)	CRL (mg/L)	BACTERIOLÓGICO (PRESENÇA/AUSÊNCIA)
Água bruta	7,23	2,53	-	Presença de coliformes totais e <i>E. coli</i>
Residência após cloração	6,96	2,21	0,7	Ausência
Estrada do Parque Nacional de Itatiaia	-	-	0,3	Ausência
Interior do reservatório da Vila Pinheiro	-	-	0,0	Presença de coliformes totais e <i>E. coli</i>
Rede de distribuição Vila Odete	-	-	0,4	Presença de coliformes totais e <i>E. coli</i>
Rede de distribuição Vila Itatiaia	-	-	0,5	Ausência

Durante a ocorrência do surto, a população foi orientada para que fervesse ou clorasse a água domiciliar com hipoclorito de sódio a 2,5%. Como medidas corretivas e preventivas, a recomendação, em relação ao sistema de abastecimento, foi a necessidade da adequação do tratamen-

to da água de consumo do município em face do exigido na Portaria MS nº 1.469/2000. Considerando o sistema de captação Campo Belo, como recomendações prioritárias citam-se: filtração da água bruta (manancial superficial); adequação dos parâmetros de desinfecção; e monitoramento do sistema (água bruta, pós-desinfecção e rede de distribuição).

2.9 CUIDADOS NA FASE DE IMPLANTAÇÃO

A fase de construção de uma instalação para abastecimento de água, ainda que baseada em um projeto cuidadoso, por si só pode introduzir riscos à saúde humana. Frequentemente, empresas construtoras apresentam insuficiente compreensão da importância da obra para a saúde pública após sua finalização e, por isso, costumam negligenciar os cuidados que devem ser tomados nessa fase. Esses cuidados incluem, em primeiro lugar, a construção em obediência estrita aos projetos, a menos que impropriedades sejam identificadas neles. Em segundo lugar, significa assegurar a integridade sanitária e hidráulica das unidades do sistema, em especial daquelas que armazenam ou transportam água tratada. Nos itens seguintes, procura-se pontuar alguns alertas a serem observados na fase de implantação, sendo atribuição do responsável pelo sistema ou solução alternativa zelar para o cumprimento das boas práticas também nessa etapa.

CAPTAÇÃO

- Todas as unidades operacionais devem ser construídas acima do nível máximo de inundação e deve ser assegurado o acesso a elas em qualquer época do ano.
- As partes da captação sujeitas à influência de materiais de grande porte carreados pela inundação devem ser protegidas e ancoradas com a máxima segurança possível.
- Margens de cursos de água alteradas para a implantação de captação superficial devem ser adequadamente protegidas contra erosão

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

- A estação deve ser cuidadosamente localizada e executada, de modo que nenhum tubo, tanque ou outra estrutura, contendo ou conduzindo água no processo de tratamento, possa ser afetado por vazamento

de qualquer canalização de água bruta ou de fase anterior na linha de tratamento, esgoto, dreno ou outra fonte de contaminação.

- Se localizada em um vale, o local deve ser convenientemente drenado, para que nenhuma água subterrânea ou de superfície possa ter acesso aos poços, tanques, filtros e outras unidades.
- Todo dispositivo de medição de vazão deve ser perfeitamente calibrado para que meça exatamente a faixa de vazão necessária.
- Deve haver cuidado especial na impermeabilização de lajes e paredes que separem diferentes fases da estação de tratamento (floculadores–decantadores, decantadores–filtros, etc.).
- Dispositivos de remoção de lodo de floculadores e decantadores devem ser cuidadosamente testados e seu lançamento executado de forma que se minimizem impactos ambientais, cuidando para que seja a jusante de tomadas de água e em pontos a salvo da influência de correntes contrárias.
- Para leitos filtrantes, deve haver extremo cuidado em respeitar a altura da camada e as características granulométricas do meio, de acordo com o especificado, e sua instalação deve observar a distribuição granulométrica segundo a profundidade definida em projeto.
- Condutos de água de lavagem ou de descarga dos filtros não devem ser diretamente ligados a nenhum conduto de drenagem e devem ser protegidos por uma descontinuidade que admita ar e assegure a impossibilidade de refluxo em qualquer condição.
- Sempre que se tratar de instalações e de cômodos para manuseio de produtos químicos tóxicos, como o cloro, deve ser assegurada ventilação adequada.
- Juntas dos tubos que comunicam cilindros de cloro com cloradores devem ser absolutamente estanques e instaladas com inclinação ascendente a partir dos cilindros.

TANQUES DE CONTATO E RESERVATÓRIOS

- Acessos e inspeções devem ser convenientemente fechados, a fim de impedir a entrada de pessoas estranhas à operação do sistema.
- Ventilações devem ser executadas com área de passagem de ar estritamente de acordo com o projeto e capazes de impedir a entrada de água de chuva, poeira, insetos e outros portadores de contaminação, bem como devem ser instaladas cuidando-se para que suas aberturas não sejam obstruídas posteriormente (ninhos de aves, insetos, etc.).
- As estruturas de parede, fundo e cobertura devem ser impermeáveis a vazamentos tanto internos quanto externos, e, caso algum produto

de impermeabilização seja empregado, este deve ser cuidadosamente avaliado quanto a riscos de introdução de substâncias tóxicas à água.

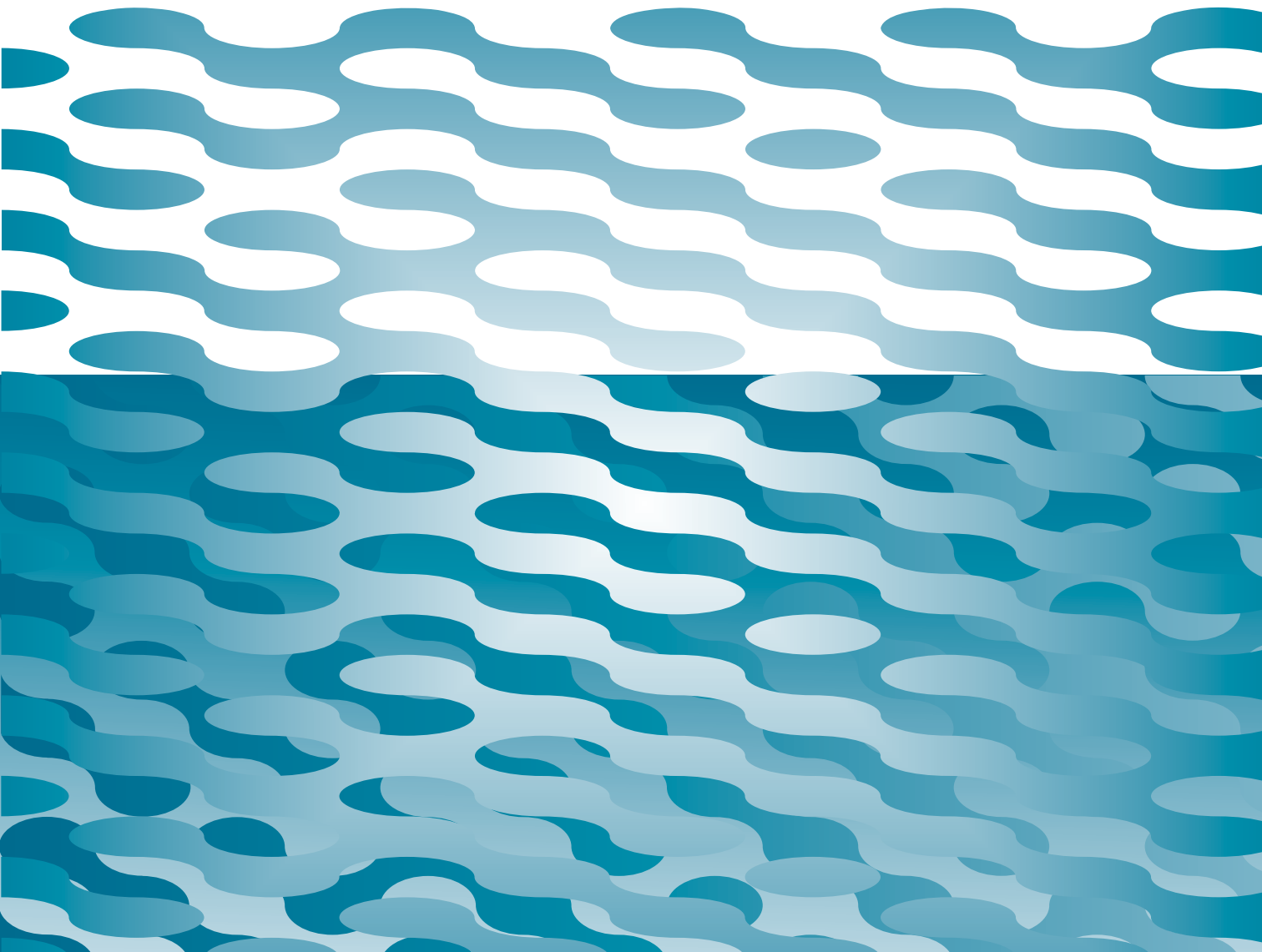
- Caso tanques ou partes deles se localizem abaixo do nível do terreno, as águas de superfície devem ser adequadamente desviadas e afastadas das estruturas.
- Caso não seja possível evitar que o fundo do tanque fique abaixo do nível original do lençol freático, este deve ser eficientemente rebaixado, ficando o lançamento da drenagem subterrânea afastado das estruturas.
- A superfície do solo em torno do reservatório deve ser em declive, para drenar ou desviar dele as águas de superfície; e deve ser inclinado de tal modo que não se formem empoçamentos de água superficial na vizinhança do reservatório.
- O extravasor deve descarregar livremente, de modo que, quando estiver em funcionamento, a operação deve se aperceber do fato.
- Caso haja possibilidade de que canalizações de drenagem fiquem submergidas em qualquer época por água de superfície ou de inundação, estas devem ser munidas de válvula de retenção, para evitar refluxo.

TUBULAÇÕES PARA TRANSPORTE DE ÁGUA TRATADA E REDE DE DISTRIBUIÇÃO

- As tubulações devem ser estanques e convenientemente afastadas de cursos de água e outros possíveis focos de contaminação, não devendo haver a possibilidade de inundação por água ou esgoto durante o processo de assentamento.
- O lançamento das tubulações de descarga deve ser cuidadosamente realizado, impedindo a contaminação da água no interior das tubulações por essa via; além disso, deve haver condições permanentes para que essa descarga seja realizada.
- Os tubos da rede devem ser assentados tão longe quanto possível e em nível superior ao de redes de esgotos; e onde essa condição não puder ser estritamente observada, cuidados especiais devem ser tomados com relação à durabilidade, à resistência à corrosão e à estanqueidade das juntas.
- Após a instalação, devem-se realizar ensaios de vazamento com adequada pressão hidrostática.
- Após instaladas e testadas, as tubulações devem ser conservadas cheias de uma forte solução de cloro durante pelo menos 24 horas, devendo ser esgotadas antes de postas em serviço.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA
PARA CONSUMO HUMANO

3



3.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

De início cabe destacar alguns aspectos fundamentais relacionados à qualidade da água:

- A qualidade de uma água é um atributo determinado por suas características, decorrentes das substâncias e dos microorganismos nela presentes.
- A qualidade da água é um conceito relativo aos usos de uma determinada fonte.
- A qualidade da água é variável (dinâmica) no tempo e no espaço.
- Há uma estreita interdependência entre qualidade da água bruta, tratamento da água e qualidade da água tratada.

O conceito de poluição deve ser entendido como perda de qualidade da água, ou seja, alterações em suas características que comprometam um ou mais usos do manancial. Por sua vez, contaminação é em geral entendida como um fenômeno de poluição que apresente riscos à saúde.

Em linhas gerais, água potável é aquela que pode ser consumida sem riscos à saúde e sem causar rejeição ao consumo. O padrão de potabilidade da água é composto por um conjunto de características (parâmetros) que lhe confere qualidade própria para o consumo humano.

De acordo com a definição da Portaria MS nº 518/2004:

“Água potável é a água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde.”

Porém, o tratamento da água, em si, não garante a manutenção da condição de potabilidade, uma vez que a qualidade da água pode-se deteriorar entre o tratamento, a distribuição, a reservação e o consumo. Portanto:

A obtenção e a manutenção da potabilidade da água dependem de uma visão sistêmica, abrangendo a dinâmica da água desde o manancial

até o consumo, sendo explicitada na Portaria MS nº 518/2004 por meio de exigências tais como (artigo 9º, inciso III): “Manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, 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.”

O padrão de potabilidade brasileiro é composto por: (i) padrão microbiológico; (ii) padrão de turbidez para a água pós-filtração ou pré-desinfecção; (iii) padrão para substâncias químicas que representam riscos à saúde (inorgânicas, orgânicas, agrotóxicos, desinfetantes e produtos secundários da desinfecção); (iv) padrão de radioatividade; (v) padrão de aceitação para consumo humano.

A potabilidade da água é aferida pelo atendimento, em simultâneo, aos valores máximos permitidos (VMP – concentrações-limite) estabelecidos para cada parâmetro.

Na visão da OMS, incorporada ao conteúdo da Portaria MS nº 518/2004, os riscos microbiológicos de transmissão de doenças (de curto prazo, inquestionáveis), são, em geral, de maior impacto que os riscos à saúde impostos pelas substâncias químicas (de longo prazo, por vezes não muito bem fundamentados do ponto de vista toxicológico e epidemiológico).

Guardada a importância relativa e específica dos riscos microbiológicos e daqueles associados às substâncias químicas, em termos gerais, a garantia da qualidade microbiológica da água deve receber prioridade.

O padrão de aceitação para consumo humano inclui VMP para diversas substâncias que podem provocar rejeição ao consumo em função do aspecto estético da água, do gosto ou do odor.

Em torno da classificação do padrão de potabilidade da Portaria MS nº 518/2004, apresentam-se a seguir alguns dos parâmetros de maior relevância para o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano, incluindo notas sobre as respectivas fontes de ocorrência na água para consumo humano e seu significado para a saúde humana.

PARÂMETROS DE QUALIDADE E SEU SIGNIFICADO

ORGANISMOS PATOGENICOS E INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO

Organismos patogênicos

Como bem destaca a Organização Mundial da Saúde (OMS):

As doenças infecciosas causadas por bactérias, vírus e protozoários, ou por helmintos, constituem o mais freqüente e disseminado risco à saúde associado com o consumo de água.

No quadro 3.1, apresenta-se uma relação de organismos patogênicos e respectivas características, organizada para facilitar a visualização da importância relativa de cada um na transmissão de doenças via abastecimento de água. Em linhas gerais, pode-se dizer que os seguintes fatores facilitam a transmissão:

- sobrevivência prolongada na água;
- possibilidade de reprodução na água, particularmente em sistemas de distribuição;
- resistência elevada à desinfecção;
- baixa dose infectante;
- existência de múltiplas fontes de infecção, como, por exemplo, reservatórios animais.

Alguns organismos causam sérios agravos à saúde, por vezes letais, a exemplo da febre tifóide, da cólera, da hepatite; outros são responsáveis por consequências mais amenas, como diarreias provocadas por rotavírus e *Cryptosporidium*, porém o quadro pode-se agravar se os acometidos forem grupos vulneráveis como idosos, crianças subnutridas ou indivíduos imunocomprometidos.

Em resumo, observa-se a seguinte ordem crescente de resistência à desinfecção: bactérias, vírus, cistos e oocistos de protozoários, ovos de helmintos. Em geral, pode-se dizer que, no tratamento da água, bactérias e vírus são inativados no processo de desinfecção, enquanto protozoários e helmintos são, preponderantemente, removidos por meio da filtração. Embora possível, a associação de doenças causadas por helmintos com o consumo de água é menos nítida, sendo o consumo de alimentos e o contato com solos contaminados os modos de transmissão mais freqüentes.

Atenção crescente tem sido dada ao problema da transmissão de protozoários, nomeadamente *Giardia* e *Cryptosporidium*. Giardíase e criptosporidiose são zoonoses cujas

principais fontes de contaminação são os esgotos sanitários e as atividades agropecuárias. Sua remoção por meio do processo de tratamento de água é mais difícil que a dos demais organismos patogênicos, e as técnicas de pesquisa em amostras de água ainda se encontram em fase de consolidação. A elevada contaminação de mananciais é, portanto, em si, um fator de risco potencial da presença de protozoários em efluentes de estações de tratamento sem o devido rigor de controle operacional. Assim sendo, do ponto de vista do controle e da vigilância da qualidade da água e da perspectiva da avaliação de riscos, a disciplina do uso do solo e a proteção dos mananciais assumem fundamental importância.

Quadro 3.1 – Organismos patogênicos veiculados pela água e de transmissão feco-oral e sua importância para o abastecimento de água

AGENTE PATOGENICO	IMPORTÂNCIA PARA A SAÚDE	PERSISTÊNCIA NA ÁGUA ^a	RESISTÊNCIA AO CLORO ^b	DOSE INFECTANTE RELATIVA ^c	RESERVATÓRIO ANIMAL IMPORTANTE
Bactérias:					
<i>Campylobacter jejuni</i>	Considerável	Moderada	Baixa	Moderada	Sim
<i>Escherichia coli</i> patogênica	Considerável	Moderada	Baixa	Alta	Sim
<i>Salmonella typhi</i>	Considerável	Moderada	Baixa	Alta	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> ^d	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, hepatite E	Considerável	?	?	Baixa	Não
Vírus de Norwalk	Considerável	?	?	Baixa	Não
Rotavírus	Considerável	?	?	Moderada	Não (?)
Protozoários:					
<i>Entamoeba histolytica</i>	Considerável	Moderada	Alta	Baixa	Não
<i>Giardia</i> sp	Considerável	Moderada	Alta	Baixa	Sim
<i>Cryptosporidium parvum</i> spp	Considerável	Prolongada	Alta	Baixa	Sim

FONTE: Adaptado da OMS (1995)

? Não conhecido ou não confirmado.

^a Período de detecção da fase infectante na água a 20 °C: reduzida – até 1 semana; moderada – de 1 semana a 1 mês; elevada – mais de 1 mês.

^b Quando a fase infectante encontra-se na água tratada em doses e tempos de contato tradicionais. Resistência moderada – o agente pode não ser completamente destruído; baixa resistência – o agente usualmente é destruído completamente.

^c Dose necessária para causar infecção em 50% dos voluntários adultos são; no caso de alguns vírus, pode bastar uma unidade infecciosa.

^d Patogênico oportunista.

O quadro 3.1 não é, entretanto, conclusivo na listagem dos patogênicos passíveis de transmissão via abastecimento de água para consumo humano, sendo cada vez mais frequentes as evidências de transmissão de doenças “emergentes”. A própria tabela revela as muitas incertezas que ainda cercam os riscos associados aos vírus. Outros protozoários têm sido identificados como agentes de surtos associados com o consumo de água (inclusive no Brasil), incluindo *Cyclospora*, *Isospora*, *Microsporidium* e *Toxoplasma*. Além da ingestão de água contaminada, alguns organismos, capazes de colonizar sistemas de distribuição, podem ser transmitidos via inalação de aerossóis, como, por exemplo, bactérias do gênero *Legionella* e os protozoários *Naegleria fowleri* e *Acanthamoeba* spp, agentes, respectivamente, da encefalite meningocócica amebiana e da meningite amebiana. Por sua vez, várias bactérias, usualmente de vida livre, porém reconhecidamente patogênicas oportunistas, também apresentam capacidade de colonizar sistemas de distribuição de água, constituindo risco à saúde de grupos populacionais vulneráveis (ex.: pacientes hospitalizados, indivíduos idosos, recém-nascidos ou imunocomprometidos): *Pseudomonas aeruginosa*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Aeromonas*.

Do exposto brevemente, percebe-se o quanto ainda há de ser elucidado em termos da epidemiologia das doenças transmissíveis via abastecimento e consumo de água. Além disso, por razões financeiras, limitações técnico-analíticas e necessidade de respostas ágeis, no controle microbiológico da qualidade da água usualmente se recorre ao emprego de organismos indicadores. Entretanto, reconhecidamente, não existem organismos que indiquem a presença/ausência da ampla variedade de patogênicos suscetíveis de ser removidos/inativados ou capazes de resistir/traspasar os diversos processos de tratamento da água. Adicionalmente, a qualidade microbiológica da água bruta, tratada e distribuída pode sofrer alterações bruscas e não detectadas em tempo real, até porque a amostragem para o monitoramento da qualidade da água se baseia em princípio estatístico/probabilístico, incorporando inevitavelmente uma margem de erro/incerteza.

Por tudo isso, merecem destaque as seguintes observações:

- O controle da qualidade da água baseado única e exclusivamente em análises laboratoriais de amostras da água, ainda que frequentes, não constitui garantia absoluta da potabilidade.
- Tão importantes quanto o controle laboratorial são:
 - A adoção de boas práticas em todas as partes constituintes e nas etapas do abastecimento de água;
 - A vigilância epidemiológica e a associação entre agravos à saúde e situações de vulnerabilidade no abastecimento de água.

- **Organismos indicadores de contaminação**

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

Um organismo indicador “ideal” deveria preencher os seguintes requisitos: (i) ser de origem exclusivamente fecal; (ii) apresentar maior resistência que os patogênicos aos efeitos adversos do meio ambiente e aos processos de tratamento; (iii) ser removido e/ou inativado por meio do tratamento da água pelos mesmos mecanismos e na mesma proporção que os patogênicos; (iv) apresentar-se em maior número que os patogênicos; (v) ser de fácil identificação; (vi) não se reproduzir no meio ambiente.

De fato, não há um único organismo que satisfaça simultaneamente a todas essas condições. Na ausência de um indicador ideal, deve-se trabalhar com o melhor indicador, ou seja, aquele que apresente a melhor associação dos riscos à saúde relacionados à contaminação da água.

O alcance e as limitações do emprego de indicadores e/ou a necessidade da identificação de organismos patogênicos dependem do rigor necessário ao estudo em questão (por exemplo, em investigações epidemiológicas).

Os indicadores de utilização tradicional e quase universal são as bactérias do grupo coliforme, classicamente definidas como a seguir:

- **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;
- **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;
- ***Escherichia coli*** – bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e o 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 hidrolisa a uréia e apresenta atividade das enzimas β -galactosidase e β -glicoroní-

dase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos.

EMPREGO DOS COLIFORMES NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA (*in natura*)

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 - 10^8 /g). Entretanto, 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. Assim, na avaliação da qualidade de águas naturais, incluindo a avaliação de fontes individuais de abastecimento, os coliformes totais têm valor sanitário limitado.

O grupo dos coliformes termotolerantes acaba também por incluir bactérias de origem não exclusivamente fecal, embora em proporção bem menor que o grupo dos coliformes totais, e, por isso, sua utilização na avaliação da qualidade de águas naturais, principalmente em países de clima tropical, também tem sido questionada. Não obstante, pelo fato de que a presença de coliformes termotolerantes, na maioria das vezes, guarda melhor relação com a presença de *E. coli*, aliado à simplicidade das técnicas laboratoriais de detecção, seu emprego ainda é aceitável. De todo modo, o termo coliformes fecais deve ser evitado, empregando-se, preferencialmente, coliformes termotolerantes.

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 a contaminação de origem animal silvestre, que pode conter agentes patogênicos ao ser humano.

O grau de contaminação das águas é usualmente aferido com base na densidade de organismos indicadores, no pressuposto de que há uma relação semiquantitativa entre esta e a presença de patogênicos.

EMPREGO DOS COLIFORMES NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA

Na avaliação da qualidade da água tratada, ou seja, da eficiência do tratamento na remoção ou na inativação de organismos patogênicos, o pressuposto do emprego de organismos indicadores é o de que a ausência dos indicadores expressa a ausência dos patogênicos. A presença dos indicadores pode indicar falha ou insuficiência no tratamento.

Rigorosamente, os coliformes só se prestam como indicadores da inativação de bactérias patogênicas por meio da desinfecção. Portanto, na aferição da qualidade

bacteriológica da água tratada, a ausência dos coliformes totais é um indicador adequado e suficiente da eficiência do tratamento, uma vez que estes apresentam uma taxa de decaimento (inativação) similar ou inferior à dos coliformes termotolerantes e da *E. coli*.

Vírus são mais resistentes que os coliformes aos processos de desinfecção e, portanto, na avaliação da qualidade virológica da água tratada, a ausência de coliformes não constitui um indicador suficiente da qualidade da água. Torna-se então necessário o emprego de indicadores complementares não-biológicos, no caso, a turbidez da água pré-desinfecção e os parâmetros de controle da desinfecção adequados à inativação de vírus: cloro residual livre mínimo de 0,5 mg/L, tempo de contato mínimo de 30 minutos e pH da água inferior a 8. Cabe entretanto registrar, que um fator de segurança é o fato de que a prática da dosagem de cloro como forma de manter o residual mínimo exigido na pontas de rede (0,2 mg/L) pode garantir o residual indicativo de uma eficiente inativação de vírus na saída do tanque de contato (> 0,5 mg/L).

Cistos e oocistos de protozoários são bem mais resistentes que bactérias aos efeitos dos agentes desinfetantes, não sendo inativados com as doses usualmente praticadas no tratamento da água. Por sua vez, cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* apresentam, respectivamente, diâmetros de aproximadamente 8-15 µm e 4-6 µm, sendo, portanto, potencial e significativamente removíveis por filtração. Assim, os coliformes pouco se prestam como indicadores da qualidade parasitológica da água tratada, devendo-se nesse caso recorrer a indicadores da eficiência da filtração, principalmente a turbidez. Adicionalmente, tem-se recorrido à contagem de partículas, mais especificamente à remoção de partículas em suspensão de dimensões aproximadas às de cistos e oocistos de protozoários.

EMPREGO DOS COLIFORMES NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA

Mesmo que o tratamento seja adequado, a água pode muito bem se deteriorar ao longo da distribuição. A identificação de *E. coli* no sistema de distribuição é um sinal inequívoco de recontaminação ou falhas no tratamento e, por medida de segurança, assim também deve ser interpretada a detecção de coliformes termotolerantes. Por isso, na avaliação da qualidade da água distribuída, requer-se a ausência sistemática de *E. coli* ou de coliformes termotolerantes.

Já o isolamento de coliformes totais, embora não guarde uma relação exclusiva com a 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 ou da matéria orgânica e promover o desenvolvimento de bactérias no sistema de distribuição, incluindo aquelas do grupo coliforme que não *E. coli* ou

termotolerantes. Portanto, a detecção eventual de coliformes totais no sistema de distribuição em um percentual das amostras analisadas (5%) não necessariamente é indicativa de contaminação.

Logo, o alcance e as limitações do emprego dos coliformes como indicadores da qualidade da água para consumo humano podem ser resumidos como a seguir.

- O indicador mais preciso de contaminação da água é, em qualquer situação, *E. coli*, e sua presença é interpretada como sinal inequívoco de contaminação.
- Ainda que com ressalvas, os coliformes termotolerantes podem ser utilizados com uma alternativa à determinação de *E. coli*.
- O termo coliformes fecais deve ser evitado, empregando-se, preferencialmente, coliformes termotolerantes.
- Coliformes totais não são indicadores adequados da qualidade da água *in natura*, guardando validade apenas como indicadores da qualidade da água tratada e distribuída.
- Em amostras de água *in natura*, por exemplo de poços e minas, a presença de coliformes totais, principalmente em baixas densidades, pode ser desprovida de qualquer significado sanitário.
- Em amostras de água tratada, a determinação de coliformes totais é suficiente, uma vez que apresentam taxa de inativação similar ou inferior à dos coliformes termotolerantes e de *E.coli*. A ausência de coliformes totais na água tratada é um indicador adequado da ausência de bactérias patogênicas, e a presença, sinal de falhas no tratamento ou de não-integridade do sistema de distribuição, incluindo reservatórios.
- Coliformes não são indicadores plenos da eficiência do tratamento de água e devem ser empregados com critérios e ressalvas. Vírus e protozoários são mais resistentes à desinfecção que coliformes; portanto, a simples ausência de coliformes não constitui garantia absoluta de potabilidade. A verificação da eficiência do tratamento depende de indicadores complementares, tais como a turbidez da água pós-filtração ou pré-desinfecção, e dos parâmetros de controle da desinfecção – dose, residual de desinfetante e tempo de contato.

Em linhas gerais, estes são os pressupostos implícitos no padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano (quadro 3.2).

Quadro 3.2 – Padrão microbiológico de potabilidade

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

FONTE: Portaria MS nº 518/2004

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.

OUTROS ORGANISMOS INDICADORES

Contagem de bactérias heterotróficas

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 apropriado, sob condições preestabelecidas de incubação: 35,0 ± 0,5 °C por 48 horas.

A contagem de bactérias heterotróficas (genericamente definidas como microorganismos que requerem carbono orgânico como fonte de nutrientes) fornece informações sobre a qualidade bacteriológica da água de uma forma ampla. O teste inclui a detecção, inespecífica, de bactérias ou esporos de bactérias de origem fecal, componentes da flora natural da água ou resultantes da formação de biofilmes no sistema de distribuição, sendo algumas patogênicas oportunistas. Portanto, presta-se ao papel de indicador auxiliar da qualidade da água, ao fornecer informações adicionais sobre: eventuais falhas na desinfecção, colonização e formação de biofilmes no sistema de distribuição, eventuais alterações na qualidade da água na reservação ou possível não-integridade do sistema de distribuição. Dentre os fatores que podem favorecer a formação de biofilmes, desta-

cam-se: temperatura elevada, estagnação de água em trechos de baixo consumo, como em pontas de rede, disponibilidade de nutrientes e baixas concentrações residuais de desinfetante. Adicionalmente, a contagem de bactérias heterotróficas serve como um controle de qualidade das análises de coliformes, já que elevadas densidades de bactérias podem inibir o crescimento dos coliformes em meios de cultura à base de lactose.

Na Portaria MS nº 518/2004 (artigo 11, parágrafo 6º), encontra-se a seguinte exigência:

“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”.

Enterococos

A classificação mais recente do grupo de bactérias por muito tempo denominado estreptococos fecais inclui dois subgrupos: um primeiro, dos enterococos (pertencentes ao gênero *Enterococcus*), que inclui as espécies mais estreitamente associadas aos dejetos humanos – muito embora várias espécies possam também ser encontradas em fezes de animais ou mesmo no meio ambiente como organismos de vida livre; e um segundo grupo, que retém a denominação genérica de estreptococos fecais (pertencentes ao gênero *Streptococcus*) e que inclui as espécies *Streptococcus bovis* e *Streptococcus equinus*, ambas associadas a dejetos animais (KNUDTSON; HARTMAN, 1992). Os enterococos são, em geral, mais resistentes que os coliformes e não se reproduzem na água. Portanto, guardam grande utilidade como indicadores auxiliares da eficiência do tratamento da água e, principalmente, da qualidade da água no sistema de distribuição – por exemplo, em amostras de coleta após a detecção de coliformes ou no monitoramento após reparos na rede.

Clostridium perfringens e outras bactérias formadoras de esporos

Algumas espécies de bactérias formadoras de esporos, como *Clostridium perfringens*, são normalmente encontradas em fezes humanas, enquanto outras são organismos de vida livre. Em geral, são bem mais resistentes que os coliformes às condições ambientais e aos processos de desinfecção e, por isso, não são bons indicadores no monitoramento de rotina em sistemas de distribuição,

sob o risco de superestimativa de deterioração da qualidade da água. Entretanto, tentativas mais recentes, ainda que incipientes, têm procurado avaliar sua utilidade como indicadores da eficiência do tratamento em termos de remoção de vírus e protozoários.

Cianobactérias e cianotoxinas

A eutrofização de lagos e reservatórios decorre do excesso de nutrientes no manancial, o que provoca um aumento da atividade fotossintética ou de produção primária de biomassa. O fenômeno da floração é caracterizado pela presença excessiva de algas, eventualmente acompanhadas de um grupo de bactérias fotossintéticas – as cianobactérias, também conhecidas como algas azuis. Algumas espécies de cianobactérias, com a lise das células, produzem toxinas (substâncias químicas orgânicas hepatotóxicas, neurotóxicas ou causadoras de irritações de pele) que representam riscos significativos à saúde humana, em especial de grupos vulneráveis, tais como pacientes renais crônicos. Dentre as cianotoxinas, destaca-se a microcistina, pela ocorrência mais freqüente da cianobactéria *Microcystis* em nossos mananciais, por evidências mais consistentes de riscos à saúde com base em estudos toxicológicos, bem como pela disponibilidade de técnicas padronizadas de determinação analítica.

Para informações mais detalhadas sobre cianobactérias e cianotoxinas, sua importância para a saúde humana e medidas de controle, pode-se consultar Azevedo e Brandão (2003).

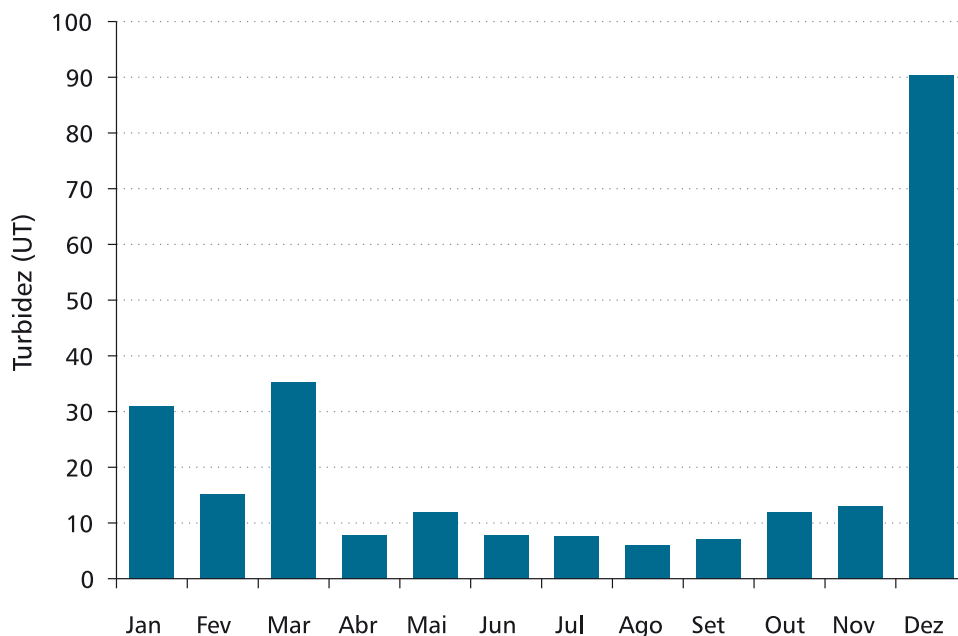
Turbidez

A turbidez é uma característica da água resultante da presença de partículas em estado coloidal, em suspensão, de matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, de plâncton e de outros organismos microscópicos. A turbidez expressa a interferência à passagem de luz através do líquido, portanto, simplificada, a transparência da água. Valores de turbidez em torno de 8 UT ou menos são imperceptíveis visualmente. Águas represadas usualmente apresentam turbidez mais reduzida, decorrente da sedimentação das partículas em suspensão.

A turbidez da água bruta tem grande importância na medida em que é um dos principais parâmetros para seleção de tecnologia de tratamento e controle operacional dos processos de tratamento.

Em geral, a turbidez da água bruta de mananciais superficiais apresenta variações sazonais significativas entre períodos de chuva e estiagem (Figura 3.1), o que exige atenção na operação da ETA.

Figura 3.1 – Turbidez da água de manancial superficial (médias mensais)



O exemplo ilustra um manancial cuja turbidez é relativamente reduzida, portanto de fácil tratabilidade. Entretanto, mesmo em casos como estes, a atenção cotidiana é indispensável: no manancial em questão, em janeiro de 2001, chuvas torrenciais provocaram uma elevação brusca da turbidez até 1.000 uT, valor este que inclusive acaba por não figurar em gráficos de médias mensais como o apresentado.

Na água filtrada, a turbidez assume uma função de indicador sanitário e não meramente estético. A remoção de turbidez por meio da filtração indica a remoção de partículas em suspensão, incluindo oocistos de protozoários. Os critérios reconhecidos internacionalmente como indicadores da remoção de protozoários são (USEPA, 2000, 2001):

- Remoção/inativação conjunta, por meio da filtração–desinfecção, de 99,9% (3 log) de cistos de *Giardia*: turbidez da água filtrada inferior a 0,5 UT para a filtração rápida e 1,0 UT para a filtração lenta (2,5 log de remoção), complementada por desinfecção adequada para inativação equivalente a 0,5 log e controlada pelo tempo de contato, pelo residual de cloro livre e pela temperatura.
- Remoção de 99% (2,0 log) de oocistos de *Cryptosporidium*: turbidez da água filtrada inferior a 0,3 UT para a filtração rápida e 1,0 UT para a filtração lenta.

A turbidez da água pré-desinfecção, precedida ou não de filtração, é também um parâmetro de controle da eficiência da desinfecção, no entendimento de que partículas em suspensão podem proteger os microorganismos da ação do desinfetante.

O padrão de turbidez da água pré-desinfecção ou pós-filtração é um componente do padrão microbiológico de potabilidade da água, pois valores baixos de turbidez indicam ao mesmo tempo eficiência da filtração na remoção de microorganismos e garantia de eficiência da desinfecção.

Tabela 3.1 – 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

¹ Valor máximo permitido.

² Unidade de turbidez.

Na Portaria MS nº 518/2004 (artigo 12, parágrafo 2º), encontra-se ainda a seguinte recomendação:

“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.”

CLORO RESIDUAL

Um dos mais importantes atributos de um desinfetante é sua capacidade de manter residuais minimamente estáveis após sua aplicação e reações na água, sendo esta uma das principais vantagens do cloro.

Na saída do tanque de contato, a medida do cloro residual cumpre o papel de indicador da eficiência da desinfecção, devendo ser observado um mínimo de 0,5 mg/L de cloro livre, pois, como visto, o cloro livre apresenta potencial desinfetante bem superior ao do cloro combinado.

No sistema de distribuição, a manutenção de residuais de cloro tem por objetivo a prevenção à pós-contaminação, sendo sua medida também um indicador da segurança da água distribuída. Apenas para reforçar a informação, no sistema de distribuição deve ser mantido um teor de cloro residual livre de 0,2 mg/L.

Portanto, em qualquer situação, o cloro residual é um parâmetro indicador de potabilidade microbiológica da água.

Em geral, considera-se que os problemas de odor e sabor na água são mais sentidos em concentrações acima de 1 mg/L e que nenhum efeito adverso à saúde é observado até teores de cloro livre de 5 mg/L (OMS, 1995).

SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS QUE REPRESENTAM RISCO À SAÚDE

A presença de substâncias químicas dissolvidas pode ser natural e decorrente do elevado poder solvente da água ou de natureza antropogênica (poluição). É, portanto, resultado das características específicas da bacia, incluindo aspectos geomorfológicos, da intensidade e da natureza de atividades industriais e agrícolas, além de características inerentes à própria substância, tais como solubilidade e persistência no solo e na água.

No estabelecimento do padrão de potabilidade para substâncias químicas (orgânicas e inorgânicas) que representam risco à saúde, são levados em consideração os efeitos crônicos resultantes de exposição prolongada, ou seja, da ingestão contínua de água com uma dada concentração de uma substância. O padrão para cada substância (VMP) é usualmente estabelecido a partir da aceitação de um nível de risco (ex.: 10^{-5} , o que significa que se considera aceitável um caso de dano à saúde em cada 100 mil pessoas dentre uma população consumidora ao longo de setenta anos) e de evidências toxicológicas ou epidemiológicas, que permitam estimar um Nível de Efeito Não Observado (Noael). Estima-se assim a dose abaixo das quais as pessoas poderiam estar expostas sem que ocorressem danos à saúde – a Ingestão Diária Tolerável (IDT) (OMS, 1995).

Dentre os critérios levados em consideração para estabelecer os parâmetros químicos e seus respectivos VMP na Portaria MS nº 518/2004, merecem destaque:

- análise das evidências epidemiológicas e toxicológicas dos riscos à saúde associados às diversas substâncias;
- potencial tóxico das substâncias químicas que podem estar presentes na água (naturalmente ou por contaminação), levando-se em consideração a classificação das respectivas substâncias pelo IARC (International Agency for Research on Cancer);
- possibilidade de obtenção de padrões analíticos e limitação de técnicas analíticas atualmente empregadas;
- emprego das substâncias no tratamento da água;
- intensidade de produção, comercialização e uso no país.

Em razão das especificidades que determinam a presença das substâncias na água, os planos de amostragem estabelecidos na Portaria MS nº 518/2004 apresentam a flexibilidade necessária:

- 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 (artigo 30).
- 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 (artigo 30, parágrafo único).
- 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 (artigo 31).

Para a maioria dos parâmetros, é dispensada a análise na rede de distribuição quando não forem detectados na saída do tratamento e/ou no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

Observe-se que nos planos de amostragem mínimos estabelecidos na Portaria MS nº 518/2004, dentre os diversos parâmetros químicos, a análise obrigatória no sistema de distribuição recai apenas sobre fluoretos, trihalometanos e cianotoxinas, por motivos de proteção à saúde; os dois primeiros, por serem incorporados à água, respectivamente, na fluoretação e como produto secundário da cloração; as cianotoxinas, pela gravidade do problema.

Em contrapartida exige-se, semestralmente, porém com a flexibilidade já mencionada, o monitoramento completo na saída do tratamento, ou seja, de todos os parâmetros que compõem o padrão de potabilidade.

Também com frequência semestral se exige o monitoramento do manancial de acordo com o estabelecido na Resolução Conama nº 357/2005. A tal respeito, o monitoramento de substâncias “extras” não deve ser entendido como demasiado, até porque a exigência é de amostragem semestral e o “espírito” é o de estabelecer a co-responsabilidade dos prestadores de serviço na atenção e nos cuidados do manancial. De mais a mais, sempre resta a possibilidade de rever planos de amos-

tragem. Adicionalmente, se a Resolução Conama “pecar por omissão”, espera-se do prestador de serviço a responsabilidade e a sensibilidade em incluí-los no programa de monitoramento, até porque esses parâmetros, de acordo com a Portaria MS nº 518/2004, têm de ser monitorados semestralmente na saída do tratamento. Quanto aos padrões propriamente ditos, se o padrão da Resolução Conama for mais rígido que o da Portaria, não se vislumbra impasse algum, pois, em todo caso, estar-se-ia atento aos objetivos estabelecidos nos artigos 9º e 19 da Portaria: avaliar preventivamente, ou de forma a orientar medidas corretivas, *indícios de risco à saúde e a compatibilidade entre as características da água bruta e o tipo de tratamento existente*. Se, eventualmente, o padrão da Resolução Conama for mais tolerante que o da Portaria, caberia a óbvia atenção para o significado de saúde do VMP estabelecido na Portaria e suas consequências sobre a qualidade da água tratada.

Por fim, não custa lembrar o quão pródiga e rápida é a indústria química no lançamento de novos produtos, particularmente a indústria de agrotóxicos, e que a maioria das substâncias não é removida de forma efetiva em processos convencionais de tratamento.

Em síntese:

O diagnóstico do uso e da ocupação do solo na bacia e o histórico da qualidade da água do manancial são, em si, importantes ferramentas de orientação de planos de amostragem de controle da qualidade da água.

Nos quadros 3.3 a 3.6 apresentam-se informações resumidas sobre as substâncias químicas que representam riscos à saúde, componentes do padrão de potabilidade brasileiro. As informações referentes ao grupo cancerígeno das substâncias químicas têm como fontes a Agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer (IARC) e a USEPA (United States Environmental Protection Agency). A IARC avalia a carcinogenicidade potencial das substâncias químicas com base em estudos a longo prazo realizados com animais e, por vezes, em informações sobre carcinogenicidade para os seres humanos procedentes de estudos epidemiológicos sobre exposição ocupacional. A partir dos dados disponíveis, as substâncias químicas são classificadas em cinco categorias, de acordo com o risco potencial (i) grupo 1: o agente é considerado carcinogênico para os seres humanos; (ii) grupo 2A: o agente é provavelmente carcinogênico para os seres humanos; (iii) grupo 2B: o agente é possivelmente carcinogênico para os seres humanos; (iv) grupo 3: o agente não é classificável com base na sua carcinogenicidade para os seres humanos; (v) grupo 4: o agente provavelmente não é carcinogênico. A USEPA classifica as substâncias de acordo com o seguinte critério: (i) grupo A: carcinogênico para os seres humanos, por ingestão e inalação; (ii) grupo B2: evidência de carcinogenicidade em animais, evidências insuficientes para classificação como carcinogênico via ingestão em seres humanos; grupo D: evidências insuficientes para a classificação como carcinogênico via ingestão para seres humanos.

Quadro 3.3 – Substâncias químicas inorgânicas que representam risco à saúde

SUBSTÂNCIAS	EFEITOS POTENCIAIS DECORRENTES DA INGESTÃO DE ÁGUA	GRUPO CANCERÍGENO ¹		PRINCIPAIS FONTES DE CONTAMINAÇÃO
		IARC	USEPA	
Antimônio	Aumento de colesterol e redução de glicose no sangue.	2B	D	Efluentes de refinaria de petróleo, vidraria, cerâmicas e indústrias de eletrônicos; substâncias de combate a incêndios.
Arsênico	Danos de pele; problemas no sistema circulatório; aumento de risco de câncer de pele e pulmão.	1	A	Efluentes de refinaria de petróleo e indústrias de semicondutores; preservantes de madeira; herbicidas; aditivos de alimentação animal; erosão de depósitos naturais.
Bário	Estimula os sistemas neuromuscular e cardio-vascular, contribuindo para a hipertensão.	-	D	Efluentes de mineração; efluentes de refinaria de metais; erosão de depósitos naturais.
Cádmio	Lesões no fígado e disfunções renais.	2B	D	Corrosão de tubulações galvanizadas; efluentes de refinaria de metais; indústria siderúrgica e de plásticos; descarte de pilhas e tintas.
Cianeto	Afeta o sistema nervoso, problemas de tireóide.	-	D	Efluentes de indústrias de aço, metais, plásticos e fertilizantes.
Chumbo	Retardo no desenvolvimento físico e mental de crianças; problemas de rins e elevação de pressão em adultos; interferência no metabolismo da vitamina D.	2B	B2	Corrosão de instalações hidráulicas prediais; erosão de depósitos naturais.
Cobre	Exposição de curto prazo: desarranjos gastrointestinais. Exposição de longo prazo: danos no fígado ou nos rins. Especial atenção para os portadores de Síndrome de Wilson.	-	D	Corrosão de instalações hidráulicas prediais; erosão de depósitos naturais; preservantes de madeira.
Cromo	Possibilidade, a longo prazo, de desenvolvimento de dermatites alérgicas. Cromo trivalente é essencial do ponto de vista nutricional, sendo não tóxico e pobremente absorvido no organismo; cromo hexavalente afeta os rins e o sistema respiratório.	Cromo (VI) – 1 Cromo (III) – 3	Cromo (VI) – D	Efluentes de indústrias de aço e celulose; erosão de depósitos naturais.
Fluoreto	Fluorose em crianças e osteoporose.	3	-	Erosão de depósitos naturais; introdução na água de abastecimento; efluentes de indústrias de fertilizantes e de alumínio.
Mercúrio inorgânico	Lesões no fígado; disfunções renais; afeta o sistema nervoso central.		D	Erosão de depósitos naturais; efluentes industriais; chorume de aterro sanitário; escoamento superficial de áreas agrícolas.

Continua...

Continuação

SUBSTÂNCIAS	EFEITOS POTENCIAIS DECORRENTES DA INGESTÃO DE ÁGUA	GRUPO CANCERÍGENO ¹		PRINCIPAIS FONTES DE CONTAMINAÇÃO
		IARC	USEPA	
Nitrato (como N)	Metemoglobinemia (síndrome dos bebês azuis).		D	Escoamento superficial de áreas agrícolas; erosão de depósitos naturais; esgotos sanitários.
Nitrito (como N)	Metemoglobinemia (síndrome dos bebês azuis).		D	Escoamento superficial de áreas agrícolas; erosão de depósitos naturais; esgotos sanitários.
Selênio	Queda de cabelos e unhas; problemas circulatórios; problemas no fígado; pode causar danos ao fígado e aos rins	2 A	D	Efluentes de refinaria de petróleo; erosão de depósitos naturais; resíduos de mineração.

FONTE: Adaptado de OMS (1995), USEPA (2000, 2001)

Quadro 3.4 – Substâncias químicas orgânicas que representam risco à saúde

SUBSTÂNCIAS	EFEITOS POTENCIAIS DECORRENTES DA INGESTÃO DE ÁGUA	GRUPO CANCERÍGENO ¹		PRINCIPAIS FONTES DE CONTAMINAÇÃO
		IARC	USEPA	
Acrilamida	Efeitos neurotóxicos; deterioração da função reprodutiva.	2B	B2	Adicionado em processos de tratamento de água e em águas residuárias (coagulante), na fabricação de papel e em corantes e adesivos.
Benzeno	Anemia; redução de plaquetas; aumento de risco de câncer (tumores e leucemia); afeta o sistema nervoso central e imunológico.	1	A	Solvente comercial utilizado na fabricação de detergentes, pesticidas, borracha sintética e corantes, assim como na indústria farmacêutica e na gasolina.
Cloreto de vinila	Exposição crônica causa lesões de pele, ossos, fígado e pulmão.	1	A	Tubulações de PVC, efluentes de indústrias de plásticos; é também usado em aerossóis.
1,2 Dicloroetano	Aumento de risco de câncer; causa irritações nos olhos e no nariz, além de problemas renais e hepáticos.	2B	B2	Efluentes de indústrias químicas (inseticidas, detergentes, etc.).
1-1 Dicloroetano	Depressor do sistema nervoso central, causador de problemas no fígado e rins.	3	D	Efluentes de indústrias químicas, contaminante ocasional da água, em geral acompanhado de outros hidrocarbonetos clorados.

Continua...

Continuação

SUBSTÂNCIAS	EFEITOS POTENCIAIS DECORRENTES DA INGESTÃO DE ÁGUA	GRUPO CANCERÍGENO ¹		PRINCIPAIS FONTES DE CONTAMINAÇÃO
		IARC	USEPA	
Diclorometano	Toxicidade aguda reduzida, problemas no fígado.	2B	B2	Efluentes de indústrias químicas e farmacêuticas, está presente em remove-dores de tintas, inseticidas, solventes, substâncias de extintores de incêndio.
Estireno	Toxicidade aguda baixa, irritação de mucosas, depressor do sistema nervoso central, possível hepatotoxicidade.	2B	C	Efluentes da indústria de borracha e plástico; chorume de aterros.
Tetracloroeto de carbono	Problemas no fígado, insuficiência renal, exposição crônica pode levar a problemas gastrointestinais e sintomas de fadiga (sistema nervoso)	2B	B2	Efluentes de indústrias químicas, fabricação de clo-rofluorometanos, extintores de incêndio, solventes e produtos de limpeza.
Tetracloroeteno	Problemas no fígado e nos rins.	2B	B2	Efluentes industriais e de equipamentos de lavagem a seco.
Triclorobenzenos	Toxicidade aguda moderada, com efeitos no fígado.	-	D	Efluentes da indústria têxtil, usado como solvente no tingimento de poliéster.
Tricloroeteno	Potenciais problemas de tumores pulmonares e hepáticos.	3	B2	Produtos de limpeza a seco e removedor para limpeza de metais.

FONTE: Adaptado de OMS (1995), USEPA (2000, 2001)

Quadro 3.5 – Agrotóxicos

SUBSTÂNCIA	EFEITOS POTENCIAIS DECORRENTES DA INGESTÃO DE ÁGUA	GRUPO CANCERÍGENO ¹		PRINCIPAIS FONTES DE CONTAMINAÇÃO
		IARC	USEPA	
Alaclor	Problemas nos olhos, fígado, rins, anemia.	3	B2	Herbicida (milho e feijão).
Aldrin e dieldrin	Efeitos no sistema nervoso central e fígado.	3	B2	Pesticidas de solo, proteção de madeira e combate a insetos de importância de saúde pública (dieldrin), uso gradativamente proibido.
Atrazina	Problemas cardiovasculares e no sistema reprodutivo.	2B	C	Herbicidas (milho e feijão), sendo relativamente estável no solo e na água.

Continua...

Continuação

SUBSTÂNCIA	EFEITOS POTENCIAIS DECORRENTES DA INGESTÃO DE ÁGUA	GRUPO CANCERÍGENO ¹		PRINCIPAIS FONTES DE CONTAMINAÇÃO
		IARC	USEPA	
Bentazona	Efeitos no sangue.	-	E	Herbicida de amplo espectro, persistência moderada no meio ambiente, elevada mobilidade no solo.
Clordano	Problemas no fígado e no sistema nervoso.	2B	B2	Resíduos de formicidas, elevada mobilidade no solo, uso gradativamente proibido.
2,4 D	Toxicidade aguda a moderada, problemas de fígado e nos rins.	2B	D	Herbicida utilizado no controle de macrófitas em água, biodegradável na água em uma ou mais semanas.
DDT	Acumulação no tecido adiposo e no leite.	2B		Inseticida persistente e estável, uso gradativamente proibido.
Endrin	Efeitos no sistema nervoso.		D	Resíduos de inseticidas e raticidas, sendo praticamente insolúvel em água, uso gradativamente proibido.
Glifosato	Toxicidade reduzida, problemas no fígado e no sistema reprodutivo.	-	D	Herbicida de amplo espectro, utilizado na agricultura, estável na água e com baixa mobilidade no solo.
Heptacloro e Heptacloro-epóxido	Danos no fígado; lesões hepáticas.	3	B2	Inseticida de amplo espectro, com ampla utilização como formicida, persistente e resistente no meio ambiente, uso gradativamente proibido.
Hexaclorobenzeno	Problemas no fígado, nos rins e no sistema reprodutivo.	2B	B2	Fungicida, efluentes de refinarias de metais e indústria agroquímica.
Lindano	Problemas no fígado e nos rins.	3	C	Utilização de inseticidas em rebanho bovino, jardins ou em conservante de madeira. Baixa afinidade com a água, persistente, com reduzida mobilidade no solo.
Metolacloro	Evidência reduzida de carcinogenicidade.	-	C	Herbicida, elevada mobilidade no solo.
Metoxicloro	Possíveis efeitos carcinogênicos no fígado e problemas no sistema reprodutivo.	3	B2	Utilização de inseticidas em frutas, hortaliças e na criação de aves.
Molinato	Evidência reduzida de toxicidade e carcinogenicidade.	-	-	Herbicida (arroz), pouco persistente na água e no solo.

Continua...

Continuação

SUBSTÂNCIA	EFEITOS POTENCIAIS DECORRENTES DA INGESTÃO DE ÁGUA	GRUPO CANCERÍGENO ¹		PRINCIPAIS FONTES DE CONTAMINAÇÃO
		IARC	USEPA	
Pendimetalina	Evidência reduzida de toxicidade e carcinogenicidade.	-	-	Herbicida, baixa mobilidade e elevada persistência no solo.
Pentaclorofenol	Problemas no fígado e nos rins; fetotoxicidade; efeitos no sistema nervoso central.	3	D	Efluentes de indústrias de conservantes de madeira, herbicida.
Permetrina	Baixa toxicidade.	3	-	Inseticida na proteção de cultivos e da saúde pública (combate a mosquitos em depósitos de água), elevada afinidade com o solo e reduzida afinidade com a água
Propanil	Evidência reduzida de toxicidade e carcinogenicidade.	-	-	Herbicida (arroz), elevada mobilidade no solo, persistente, reduzida na água.
Simazina	Evidência reduzida de toxicidade e carcinogenicidade.	3	C	Herbicida de amplo espectro, elevada persistência e mobilidade no solo.
Trifluralina	Evidência reduzida de toxicidade e carcinogenicidade.	3		Herbicida de amplo espectro, pouco solúvel em água.

FONTE: Adaptado de OMS (1995), USEPA (2000, 2001)

O emprego de desinfetantes no tratamento da água pode gerar produtos secundários, potencialmente tóxicos, os quais são objetos de regulamentação cada vez mais rigorosa.

Entretanto, na visão da OMS, o atendimento aos limites de produtos secundários da desinfecção não deve vir em prejuízo ao atendimento ao padrão microbiológico da água (incluindo os teores residuais de desinfetantes), tendo em vista a natureza dos riscos à saúde impostos pelos produtos secundários da desinfecção (de longo prazo, por vezes não muito bem fundamentados do ponto de vista toxicológico e epidemiológico) e os riscos microbiológicos de transmissão de doenças (de curto prazo, inquestionáveis e de grande impacto) (CRAUN; CASTRO, 1996).

Quadro 3.6 – Desinfetantes e produtos secundários da desinfecção

SUBSTÂNCIA	EFEITOS POTENCIAIS DECORRENTES DA INGESTÃO DE ÁGUA	GRUPO CANCERÍGENO ⁽¹⁾		PRINCIPAIS USOS E FONTES
		IARC	USEPA	
Bromato	Tumores renais.	2B	-	Produto secundário da ozonização, decorrente da oxidação de íons brometo.
Clorito	Pode afetar os hematócitos. Evidência reduzida de toxicidade e carcinogenicidade.	3	D	Produto secundário da desinfecção com dióxido de cloro.
Cloro livre	Evidência reduzida de toxicidade e carcinogenicidade.	3	D	Higienização na indústria e no ambiente doméstico, branqueador, desinfetante e oxidante de ampla utilização no tratamento da água.
Monocloroamina	Evidência reduzida de toxicidade e carcinogenicidade.	-	-	Produto secundário da cloração de águas contendo compostos nitrogenados.
2,4,6 Triclorofenol	Indícios de desenvolvimento de linfomas e leucemia em experimentos com animais.	2B	B2	Produto secundário da cloração de águas contendo fenóis (ex.: biocidas e herbicidas).
Trihalometanos	Indícios de efeitos no fígado, nos rins e na tireóide.	2B	B2	Produto secundário da cloração de águas contendo substâncias húmicas e brometos.

FONTE: Adaptado de OMS (1995), USEPA (2000, 2001).

Padrão de aceitação para consumo humano

O padrão de aceitação para consumo humano é estabelecido com base em critérios de ordem estética e organoléptica (gosto ou odor) e visa a evitar a rejeição ao consumo e a busca de outras fontes, eventualmente menos seguras do ponto de vista da saúde. Algumas substâncias apresentam também risco à saúde, porém o limiar de percepção de gosto e odor dá-se em concentrações inferiores ao critério de saúde e, portanto, constam apenas como padrão de aceitação para consumo. Assim, atendido o padrão de aceitação para consumo para tais substâncias, estaria garantida a segurança sanitária. Para outras substâncias não há evidência alguma, ou minimamente suficiente, de risco à saúde, ao menos nas concentrações usualmente encontradas em águas de abastecimento.

Quadro 3.7 – Padrão de aceitação para consumo humano

PARÂMETRO	VMP ¹	EFEITO
Alumínio	0,2 mg/L	Depósito de hidróxido de alumínio na rede de distribuição à acentuação da cor devida ao ferro.
Amônia (como NH ₃)	1,5 mg/L	Odor, acentuado em pH elevado.
Cloreto	250 mg/L	Gosto.
Cor aparente	15 uH ²	Aspecto estético.
Dureza	500 mg/L	Gosto, incrustações, comprometimento da formação de s com o sabão.
Etilbenzeno	0,2 mg/L	Odor – limite 100 vezes inferior ao critério de saúde.
Ferro	0,3 mg/L	Aspecto estético – turbidez e cor.
Manganês	0,1 mg/L	Aspecto estético – turbidez e cor.
Monoclorobenzeno	0,12 mg/L	Gosto e odor – limite bem abaixo do critério de saúde.
Odor	Não objetável ³	
Gosto	Não objetável ³	
Sódio	200 mg/L	Gosto.
Sólidos dissolvidos totais	1.000 mg/L	Gosto, incrustações.
Sulfato	250 mg/L	Gosto, limite referente ao sulfato de sódio.
Sulfeto de hidrogênio	0,05 mg/L	Gosto e odor.
Surfactantes	0,5 mg/L	Gosto, odor e formação de espuma.
Tolueno	0,17 mg/L	Odor, limite inferior ao critério de saúde.
Turbidez	5 UT ⁴	Aspecto estético, indicação de integridade do sistema.
Zinco	5 mg/L	Gosto.
Xileno	0,3 mg/L	Gosto e odor – limite inferior ao critério de saúde.

FONTE: Adaptado de OMS (1995)

¹ Valor máximo permitido.

² Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).

³ Critério de referência.

⁴ Unidade de turbidez.

A seguir, detalham-se algumas características mais comuns ou de mais freqüente monitoramento em águas para consumo humano.

Cor

Em razão da presença de substâncias dissolvidas, decorrentes da decomposição de matéria orgânica (plâncton, substâncias húmicas), da presença de substâncias tais como ferro e manganês, ou da introdução de efluentes industriais. Quando a determinação da cor é realizada após centrifugação ou filtração da amostra para se eliminar a interferência de partículas coloidais e suspensas, obtém-se a cor verdadeira. Caso contrário, tem-se a cor aparente. Cor é um parâmetro essencialmente de natureza

estética e componente do padrão de aceitação para consumo. Entretanto, a cor resultante da presença de substâncias orgânicas pode indicar a existência de precursores de formação de trihalometanos, um subproduto tóxico da cloração. Cor elevada no sistema de distribuição pode ainda contribuir para o consumo do cloro residual.

pH

O pH (potencial hidrogeniônico) da água é a medida da atividade dos íons hidrogênio e expressa a intensidade de condições ácidas ($\text{pH} < 7,0$) ou alcalinas ($\text{pH} > 7,0$). Águas naturais tendem a apresentar um pH próximo da neutralidade, em razão da sua capacidade de tamponamento. Entretanto, as próprias características do solo, a presença de ácidos húmicos (cor intensa) ou uma atividade fotossintética intensa podem contribuir para a elevação ou para a redução natural do pH. O valor do pH influi na solubilidade de diversas substâncias, na forma em que estas se apresentam na água e em sua toxicidade. Além disso, o pH é um parâmetro-chave de controle do processo de coagulação, fundamental para o bom desempenho de todo o processo de tratamento da água, e a cada água corresponderá um pH ótimo de coagulação. O condicionamento final da água após o tratamento pode exigir também a correção do pH para evitar problemas de corrosão. Mais importante, o pH é um parâmetro fundamental de controle da desinfecção, e em pH elevado a cloração perde eficiência. Na Portaria MS nº 518/2004 recomenda-se o fornecimento de água em pH na faixa de 6,0-9,5.

Cloretos

Cloretos podem estar presentes naturalmente em águas salobras, ou como resultado de poluição por efluentes industriais ou domésticos, constituindo, portanto, indicador auxiliar de poluição ou contaminação.

Em águas para consumo humano, a concentração de cloretos está diretamente associada à alteração de sabor e, portanto, à aceitação para consumo. Os cloretos presentes na água que alteram sabor são, principalmente, os de sódio, os de potássio e os de cálcio, em concentrações superiores a 200-300 mg/L. No padrão de potabilidade brasileiro, o valor máximo permitido é de 250 mg/L. Cloretos não são removidos por processos convencionais de tratamento, sendo necessários processos especiais, tais como osmose reversa ou eletrodialise.

Ferro e Manganês

Os sais de ferro e manganês (por exemplo, carbonatos, sulfetos e cloretos) quando oxidados formam precipitados e conferem à água sabor e uma coloração que pode provocar manchas em sanitários, em roupas e em produtos industriais como o papel. Salvo casos específicos, em virtude das características geoquímicas das bacias de drenagem, os teores de ferro e manganês solúveis em águas superficiais tendem a ser baixos. Águas subterrâneas estão mais propensas a apresentar teores mais elevados. Na água distribuída, problemas mais freqüentes estão relacionados com a corrosão e com a incrustação em tubulações. Como medidas preventivas à formação de depósitos e ao crescimento de ferrobactérias em poços de águas subterrâneas, devem ser mantidos elevados teores de oxigênio (>2 mg/L) e cloro residual superior a 0,2 mg/L. Em geral, essas substâncias não estão associadas a problemas de saúde e por isso compõem o padrão de aceitação para consumo.

Alumínio

Embora o metabolismo do alumínio pelo organismo humano não seja ainda bem conhecido e alguns trabalhos sugeriram sua associação com o Mal de Alzheimer, até o presente seus efeitos tóxicos não foram comprovados. Ademais, o alumínio é um elemento abundante na natureza e a exposição humana pelo consumo de água é relativamente reduzida. Portanto, apesar de sua larga utilização no tratamento de água, as evidências disponíveis sugerem a manutenção de valores máximos permitidos referentes apenas à aceitação para consumo: concentrações acima de 0,2 mg/L podem provocar depósitos de flocos de hidróxido de alumínio em sistemas de distribuição e acentuar a coloração por ferro.

Turbidez

Na água distribuída, a turbidez informa sobre a estanqueidade do sistema de distribuição, e sua elevação pode indicar infiltrações na rede e riscos de pós-contaminação. No ponto de consumo, a turbidez assume também importância estético-organoléptica, podendo provocar rejeição ao consumo. O padrão de turbidez para água distribuída é de 5,0 UT.

Gosto e odor

Gosto e odor podem ter origem natural, por exemplo em virtude da presença de matéria orgânica ou de organismos aquáticos, ou podem ser conferidos à água pela presença de contaminantes químicos ou de subprodutos da desinfecção.

Gosto e odor constam no padrão de potabilidade (padrão de aceitação) apenas como critérios de referência, não constituindo análises obrigatórias. Apesar disso, gosto e odor não usuais em uma determinada água podem servir como alerta de contaminação e de necessidade de investigação da sua origem, como no caso de algas e cianobactérias.

Sempre que possível, deve-se procurar implementar rotinas e técnicas de detecção de gosto e odor, descritas, por exemplo, no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

METODOLOGIAS ANALÍTICAS

Parâmetros microbiológicos

As técnicas de detecção de coliformes desenvolveram-se em paralelo ao conhecimento sobre esse grupo de bactérias e, hoje, encontram-se baseadas na verificação de respostas bioquímicas em face do crescimento de microorganismos em meios de cultura específicos.

Os métodos tradicionais valem-se fundamentalmente das seguintes características básicas das bactérias do grupo coliforme:

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

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 evitarem resultados falso-negativos, devem-lhes ser oferecidas condições de crescimento as mais favoráveis possíveis. Por essa razão, as amostras são inicialmente incubadas em meios de cultura pouco seletivos, o que vem a constituir os ensaios presuntivos. Entretanto, os ensaios presuntivos podem incluir resultados falso-positivos e, por isso, os testes devem

ser confirmados em meios de cultura mais seletivos, constituindo os ensaios confirmativos.

As técnicas de determinação de coliformes baseadas na fermentação da lactose são trabalhosas: requerem duas temperaturas de incubação ($35,5 \pm 0,2$ °C para coliformes totais e $44,5 \pm 0,2$ °C para coliformes termotolerantes) e sucessivas repicagens, podendo totalizar 72 h para leitura conclusiva.

Os métodos cromogênicos são superiores em sensibilidade e especificidade na detecção de coliformes e de *E. coli* (menor ocorrência de resultados falso-positivos e falso-negativos) por serem baseados na hidrólise de substratos definidos por enzimas específicas das espécies: β -galactosidase dos coliformes; β -galactosidase e β -glucoronidase da *E. coli*. Adicionalmente, apresentam a dupla vantagem de dispensarem o emprego de temperatura elevada (não há determinação de coliformes termotolerantes) e de fornecerem leitura em 24 horas, tanto para coliformes totais quanto para *E. coli*, em geral prescindindo de testes confirmativos.

As análises podem também ser classificadas em qualitativas (presença/ausência – P/A) 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 os dos tubos múltiplos (TM) ou método da diluição e a técnica da membrana filtrante (MF). A quantificação dos métodos cromogênicos pode ser realizada com o emprego da técnica de tubos múltiplos ou em cartelas comercialmente disponíveis.

A escolha das técnicas de análise deve ser resultado da avaliação da sensibilidade e especificidade requeridas para o tipo de amostra (água bruta, tratada ou distribuída) e de possibilidades técnico-financeiras.

Aplicando-se o exposto às exigências mínimas estabelecidas na Portaria MS nº 518/2004 em termos de monitoramento bacteriológico, obtém-se o seguinte esquema:

Fontes individuais de abastecimento

- Coliformes totais, coliformes termotolerantes e/ou *E. coli* – exame qualitativo ou quantitativo, confirmativo.

Água bruta a receber processo de tratamento

- Coliformes totais e/ou termotolerantes – exame quantitativo, confirmativo (Resolução Conama nº 357/2005).

Saída do tratamento e sistema de distribuição

- Coliformes totais:
 - exame qualitativo presuntivo – se positivo, exame confirmativo;
 - ensaio qualitativo confirmativo – se positivo, exame qualitativo para coliformes termotolerantes e/ou *E. coli*.
- Coliformes termotolerantes e/ou *E. coli* – exame qualitativo confirmativo.

Da Portaria MS nº 518/2004 destaca-se:

- “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. 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” (artigo 11, parágrafo 1º).
- “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” (artigo 11, parágrafo 2º).
- Cabe reforçar o fato de que em qualquer situação o indicador mais preciso de contaminação é a *E. coli*, portanto sua detecção deve ser preferencialmente adotada.

O quadro 3.8 resume os princípios analíticos recomendáveis para os parâmetros microbiológicos da Portaria MS nº 518/2004.

Quadro 3.8 – Métodos analíticos empregados na aplicação da Portaria MS nº 518/2004 – parâmetros microbiológicos

PARÂMETROS	PRINCÍPIO ANALÍTICO	REFERÊNCIAS
Organismos indicadores		
Coliformes (totais)	Tubos múltiplos – fermentação da lactose; Membrana filtrante; Técnica do substrato definido – métodos cromogênicos.	9221 B D, 9222 B, 9223
Coliformes termotolerantes	Tubos múltiplos – fermentação da lactose; Membrana filtrante.	9221 E, 9222 D
<i>E. coli</i>	Tubos múltiplos – fermentação da lactose; Membrana filtrante; Técnica do substrato definido – métodos cromogênicos.	9221 F, 9223

Continua...

Continuação

PARÂMETROS	PRINCÍPIO ANALÍTICO	REFERÊNCIAS
Contagem de bactérias heterotróficas	Contagem em placas.	9215 B C D
Organismos patogênicos		
<i>Giardia</i> <i>Cryptosporidium</i>	Concentração – identificação em microscopia de imunofluorescência.	EPA 1622 1623
Cianobactérias	Microscopia.	Chorus e Bartram (1999)
Vírus	Soro neutralização, ELISA, PCR, outros.	9150

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

No quadro 3.9 são apresentados os parâmetros físico-químicos previstos na Portaria MS nº 518/2004 e os respectivos métodos analíticos recomendados. Em apêndice, apresenta-se uma breve descrição dos princípios analíticos.

Quadro 3.9 – Métodos analíticos empregados na aplicação da Portaria MS nº 518/2004 – parâmetros físico-químicos

PARÂMETROS	PRINCÍPIO ANALÍTICO/EQUIPAMENTO	REFERÊNCIAS (*)
Químicos inorgânicos que representam riscos à saúde		
Antimônio	Espectrofotometria de absorção atômica, espectrometria de massa.	3500 – Sb
Arsênio	Espectrofotometria de absorção atômica, espectrometria de massa.	3500 – As (A e B)
Bário	Espectrofotometria de luz visível, espectrofotometria de absorção atômica.	3500 – Ba
Cádmio	Espectrofotometria de luz visível, espectrofotometria de absorção atômica.	3500 – Cd
Cianeto	Espectrofotometria de luz visível, potenciometria – eletrodo seletivo.	4500 -CN ⁻ (B,C,E,F)
Chumbo	Espectrofotometria de luz visível, espectrofotometria de absorção atômica.	3500 – Pb
Cobre	Espectrofotometria de luz visível, espectrofotometria de absorção atômica.	3500 – Cu
Cromo	Espectrofotometria de luz visível, espectrofotometria de absorção atômica.	3500 – Cr (A e B)
Fluoreto ⁽²⁾	Potenciometria – eletrodo seletivo, espectrofotometria de luz visível.	4500 – F ⁻
Mercúrio	Espectrofotometria de luz visível, espectrofotometria de absorção atômica.	3500 – Hg
Nitrato	Espectrofotometria de luz visível, potenciometria – eletrodo seletivo.	4500 – NO ₃
Nitrito	Espectrofotometria de luz visível.	4500 – NO ₂
Selênio	Espectrofotometria de luz visível, espectrofotometria de absorção atômica.	3500 – Se (A, B e C)
Químicos orgânicos que representam riscos à saúde		
Benzeno	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6200 B,C

Continua...

Continuação

PARÂMETROS	PRINCÍPIO ANALÍTICO/EQUIPAMENTO	REFERÊNCIAS (*)
Benzo[a]pireno	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6410 B; 6440 – B
Cloreto de Vinila	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6200 B,C
1,2 Dicloroetano	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6200 B,C
1,1 Dicloroetano	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6200 B,C
Diclorometano	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6200 B,C
Estireno	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6200 B,C
Tetracloroeto de Carbono	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6200 B,C
Tetracloroetano	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6040 B; 6200 B,C
Triclorobenzenos	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6040; 6200 B,C; 6410 B
Tricloroetano	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6040 B; 6200 B,C
Agrotóxicos		
Aldrin e Dieldrin	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6410 B, 6630 B,C
Bentazona	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6640 B
Clordano (isômeros)	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6410 B, 6630 B,C
2,4 D	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6640 B
DDT (isômeros)	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6410 B, 6630 B,C
Endossulfan	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6410 B, 6630 B,C
Endrin	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6410 B, 6630 B,C
Glifosato	Cromatografia líquida.	6651 B
Heptacloro e Heptacloro epóxido	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6410 B, 6630 B,C
Hexaclorobenzeno	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6040 B; 6410 B
Lindano (γ -BHC)	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6630 B
Metoxicloro	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6630 B
Pentaclorofenol	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6410 B; 6420 B; 6640 B
Trifluralina	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6630 B
Cianotoxinas		
Microcistinas ⁽³⁾	Cromatografia líquida (LD 1 $\mu\text{g/L}$); imunoensaio (ELISA – Kits comerciais, LD 16 ppb).	Chorus e Bartram (1999)
Desinfetantes e produtos secundários da desinfecção		
Clorito	Amperometria, titulometria, colorimetria (DPD).	4500 ClO ₂ C, D, E
Cloro livre	Amperometria, titulometria, colorimetria (DPD).	4500 Cl- D, E, F, G, H
Monocloramina	Amperometria, titulometria, colorimetria (DPD).	4500 Cl- D, F, G
2,4,6 Triclorofenol	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6251, 6410 B, 6420 B
Trihalometanos Totais	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6232 B,C,D
Químicos inorgânicos – padrão de aceitação para consumo		
Alumínio	Espectrofotometria de luz visível, espectrofotometria de absorção atômica, espectrometria de massa.	3500 – Al
Amônia	Espectrofotometria de luz visível, potenciometria – eletrodo seletivo.	4500 – NH ₃ D, E, F, G, H

Continua...

Continuação

PARÂMETROS	PRINCÍPIO ANALÍTICO/EQUIPAMENTO	REFERÊNCIAS (*)
Cloreto	Titulometria, espectrofotometria de luz visível.	4500 – Cl- B, C, D, E 4110
Dureza	Titulometria.	2340
Ferro	Espectrofotometria de luz visível, espectrofotometria de absorção atômica.	3500 – Fé
Manganês	Espectrofotometria de luz visível, espectrofotometria de absorção atômica.	3500 – Mn
Sódio	Espectrometria de chama.	3500 – Na
Sulfato	Turbidimetria, gravimetria, cromatografia iônica.	4500 – SO ₄ 2-, 4110
Sulfeto de Hidrogênio	Potenciometria – eletrodo seletivo.	4500 – S 2-
Surfactantes	Espectrofotometria de luz visível.	5540
Zinco	Espectrofotometria de luz visível espectrofotometria de absorção atômica.	3500 – Zn
Químicos orgânicos – padrão de aceitação para consumo		
Etilbenzeno	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6040 B; 6200 B, C
Monoclorobenzeno	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6040 B; 6200 B, C
Tolueno	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6200 B,C
Xileno	Cromatografia gasosa/espectrometria de massa.	6040 B; 6200 B, C
Físicos – padrão de aceitação para consumo		
Cor verdadeira	Comparação visual com padrões de Pt-Co.	2120 B
Sólidos dissolvidos totais	Método gravimétrico com secagem a 180 °C.	2540 C
Turbidez	Método nefelométrico.	2130

* A menos que especificado em contrário, as referências são do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA,1998), da Environmental Protection Agency (EPA) (EUA)

3.2 AMOSTRAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

A amostragem constitui uma etapa crucial para as boas práticas no abastecimento de água. O princípio que a orienta é o de que as características da água são modificadas em seu percurso nos sistemas e nas soluções alternativas de abastecimento de água. Essas variações necessitam ser conhecidas, pois fornecem importantes elementos para:

- subsidiar a avaliação do risco ao qual os consumidores estão submetidos, no uso de água contaminada por diversos agentes e em setores específicos da distribuição;
- permitir a correção do problema específico de contaminação identificado;
- permitir a correção dos problemas operacionais geradores da anomalia.

O planejamento de uma estratégia de amostragem é uma tarefa complexa porque, além das determinações da legislação, deve-se procurar observar o melhor procedimento para a detecção das eventuais anomalias e para a proteção da saúde da população. Para tanto, a Portaria MS nº 518/2004 estabelece orientações para diversos aspectos da amostragem do *controle de qualidade da água para consumo humano*, conforme desenvolvido nos itens a seguir. A Portaria estabelece ainda que a autoridade de saúde pública, no exercício das atividades de vigilância, deve implementar seu plano próprio de amostragem.

NÚMERO DE AMOSTRAS E FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM

O número mínimo de amostras em sistemas de abastecimento de água varia de acordo com o parâmetro de qualidade da água, o ponto de amostragem (saída do tratamento e reservatórios/rede), o porte da população abastecida e o tipo de manancial. A Tabela 6 da Portaria, transcrita a seguir, apresenta as condições.

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	Superficial	1	10	1 para cada 5.000 hab.	40 + (1 para cada 25.000 hab.)
Turbidez	Subterrâneo	1	5	1 para cada 10.000 hab.	20 + (1 para cada 50.000 hab.)
pH	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

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.

A frequência mínima de amostragem em sistemas de abastecimento de água é dependente das mesmas variáveis, conforme a seguir:

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.

A aplicação das tabelas é direta, conforme exemplo a seguir.

ESTUDO DE CASO

Dimensionar a rede de amostragem para um sistema de abastecimento de água com população abastecida de 62.000 habitantes, captação em mananciais superficiais, com duas estações de tratamento de água que empregam cloro para a desinfecção e sem evidências de radiação de origem natural ou artificial.

SOLUÇÃO

Número mínimo de pontos de amostragem

- Coliformes totais (amostras mensais)
 - Saída do tratamento 2
 - Reservatórios e rede: $30 + (62.000/2.000) =$ 61
 - Total 63
- Contagem de bactérias heterotróficas – amostras mensais (atendendo à recomendação do artigo 18, parágrafo 4º)
 - Saída do tratamento 2
 - Reservatórios e rede: $0,20 \times 61 = 12,2$ 13
 - Total 15
- Cloro residual livre – amostras mensais (conforme artigo 18 parágrafo 3º) 63
- Turbidez – amostras mensais (atendendo à recomendação do artigo 18, parágrafo 4º) 63

• Cor e pH	
• Uma amostra na saída de cada ETA	02
• Reservatórios e rede: $62.000/5.000 = 12,4$	13
• Total	15
• Fluoreto	
• Uma amostra na saída de cada ETA	02
• Reservatórios e rede: $62.000/10.000 = 6,2$	07
• Total	09
• Cianotoxinas (assumindo a não-deteção de mais de 20.000 células/mL no manancial)	
• Trihalometanos	
• Uma amostra na saída de cada ETA	02
• Reservatórios e rede (pontos de maior tempo de detenção)	04
• Total	06
• Demais parâmetros (exceto radiativos)	
• Uma amostra na saída de cada ETA	02
• Reservatórios e rede (dispensados quando não for detectado na saída do tratamento e/ou no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas na distribuição)	01
• Total	03
• Há ainda a recomendação de pesquisa de organismos patogênicos, entre outros, enterovírus, cistos de <i>Giardia</i> spp. e oocistos de <i>Cryptosporidium</i> sp (artigo 11, parágrafo 7º).	

Frequência mínima de amostragem

• Coliformes totais	
• Saída do tratamento	4 amostras/semana (recomendação)
• Reservatórios e rede	mensal
• Contagem de bactérias heterotróficas	(recomendação)
• Saída do tratamento	semanal
• Reservatórios e rede	mensal
• Cloro residual livre, turbidez, cor, pH e fluoreto	
• Saída de cada ETA	a cada 02 horas
• Reservatórios e rede	mensal

- Trialometanos
 - Saída de cada ETA trimestral
 - Reservatórios e rede (pontos de maior tempo de detenção) trimestral
- Demais parâmetros (exceto radiativos)
 - Saída de cada ETA semestral
 - Reservatórios e rede (dispensados quando não for detectado na saída do tratamento e/ou no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas na distribuição) semestral
- Obs.: O exemplo não inclui detalhamento da amostragem no(s) manancial(is), que deve semestral.

Resumo – Número total de análises em um período de um ano

PARÂMETRO	DIMENSIONAMENTO	TOTAL
Coliformes totais	$(2 \times 4 \times 52) + (61 \times 12)$	1.148
Contagem de bactérias heterotróficas	$1.148 \times 0,2$	230
Cloro residual livre	$(2 \times 365 \times 24/2) + (61 \times 12)$	9.492
Turbidez	$(2 \times 365 \times 24/2) + (61 \times 12)$	9.492
Cor e pH	$(2 \times 365 \times 24/2) + (13 \times 12)$	8.916
Fluoreto	$(2 \times 365 \times 24/2) + (7 \times 12)$	8.844
Trihalometanos	6×4	24
Demais parâmetros ¹	2×2	4
Demais parâmetros ²	3×2	6

¹ Não detectado na saída do tratamento nem no manancial, sendo substância que não possa potencialmente ser introduzida na distribuição.

² Detectado na saída do tratamento ou no manancial ou ainda substância que possa potencialmente ser introduzida na distribuição.

Para o caso de soluções alternativas, aplica-se o disposto na tabela 9, que define o número mínimo de amostras e a frequência mínima de amostragem em função do tipo de manancial e do ponto de amostragem. Observe-se que são exigidas análises apenas dos parâmetros coliformes totais, cor, turbidez, pH e cloro residual livre.

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.)	FREQUÊNCIA 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

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.

REQUISITOS PARA A ESCOLHA DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

A escolha dos pontos de amostragem é uma atividade crucial no planejamento do controle da qualidade da água, tratando-se de uma definição muito específica para cada sistema de abastecimento. A Portaria MS nº 518/2004 fornece diretrizes gerais para o tema, conforme expresso no primeiro parágrafo do artigo 18.

§ 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.

Como se observa na amostragem, sobretudo em redes de distribuição, a Portaria MS nº 518/2004 orienta para:

- Distribuição uniforme das coletas ao longo do período, ou seja: se é necessária a análise de 61 amostras por mês para coliformes totais na rede (ver Estudo de Caso), essas coletas não devem concentrar-se em alguns poucos dias do mês, mas sim ser distribuídas uniformemente ao longo do mês, por exemplo, com cerca de duas coletas por dia. Além disso, é conveniente que a hora da coleta varie de dia para dia e a ordem dos pontos varie de mês para mês, de modo que garanta maior aleatoriedade na amostragem e se evite a coincidência de eventos que variem segundo o dia do mês.
- Que a distribuição dos pontos obedeça ao critério de representatividade, conciliando duas condições: abrangência espacial e adoção de pontos estratégicos. Estes últimos devem considerar quatro critérios:
 - proximidade a locais de grande circulação de pessoas;
 - edificações que alberguem grupos populacionais particularmente vulneráveis;
 - localização em trechos vulneráveis do sistema de distribuição;
 - locais com sistemáticas notificações de agravos à saúde possivelmente determinados por agentes de veiculação hídrica, definição esta que necessita de participação da área da saúde pública.

Logo, a distribuição dos 61 pontos ao longo do sistema de distribuição deveria buscar um equilíbrio entre certo número deles nos pontos estratégicos e o restante com uma adequada e representativa distribuição espacial.

Em relação a este último ponto – o que significa uma adequada abrangência espacial? – alguns estudos vêm praticando o conceito de cobertura de amostragem, buscando maximizar a capacidade de detecção de contaminantes com a localização dos pontos (VASCONCELOS NETO ET AL., 2000).

CONDIÇÕES GERAIS PARA A AMOSTRAGEM

Diversas condições devem ser observadas na amostragem, algumas delas previstas na própria Portaria MS nº 518/2004 e outras lembradas na literatura, conforme a seguir:

- O plano de amostragem relativo ao controle da qualidade da água de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água deve ser aprovado pela autoridade de saúde pública (artigo 18).
- No número mínimo de amostras coletadas na rede de distribuição, não se incluem as amostras microbiológicas extras (recoletas) (artigo 18, parágrafo 2º).
- Quando o manancial é superficial, devem ser coletadas 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-se a compatibilidade entre as características da água bruta e o tipo de tratamento existente (artigo 19).

- 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 1mm³/L de biovolume), e semanal, quando o número de cianobactérias exceder este valor (artigo 19, parágrafo 1º).
- 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 2mm³/L de biovolume), sob pena de comprometimento da avaliação de riscos à saúde associados às cianotoxinas (artigo 19, parágrafo 2º).
- A frequência de amostragem deve aumentar em períodos de epidemias, enchentes, operações de emergência ou após a interrupção do abastecimento e reparos no sistema (WHO, 1993).
- Em sistemas que servem pequenas comunidades, inspeções sanitárias periódicas podem fornecer mais informações que a amostragem com baixa frequência (WHO, 1993).
- A coleta de amostra deve ser muito cuidadosa, para evitar a contaminação da amostra e/ou a alteração de suas características durante o transporte, devendo ser rigorosamente observadas as normas técnicas aplicáveis.

3.3 CONTROLE DE QUALIDADE EM LABORATÓRIOS

Programas de controle de qualidade em laboratórios podem ser genericamente definidos como um conjunto de ações com o objetivo de garantir a produção de resultados com a máxima confiabilidade. Devem, preferencialmente, ser formalizados em documentação específica, abrangendo os seguintes aspectos, atividades e/ou metas:

- **Recursos humanos:** descrição da qualificação e da capacitação necessárias às diversas atividades técnicas ou gerenciais.
- **Equipamentos e instrumentação:** cadastro dos equipamentos, estado de conservação, procedimentos de calibração, requerimentos e frequência de manutenção.
- **Especificação de suprimentos:** a fim de garantir que todos os reagentes e suprimentos em geral atendam aos requisitos específicos de qualidade, assim como para orientar testes de controle de qualidade.
- **Padronização de procedimentos:** documentação detalhada de todos os procedimentos de rotina do laboratório, incluindo regras de segurança, métodos e técnicas analíticas, procedimentos de coleta e armazenamento de amostras, calibração de instrumentos, preparo de armazenamento de reagentes, etc. Métodos analíticos devem ser padronizados e/ou va-

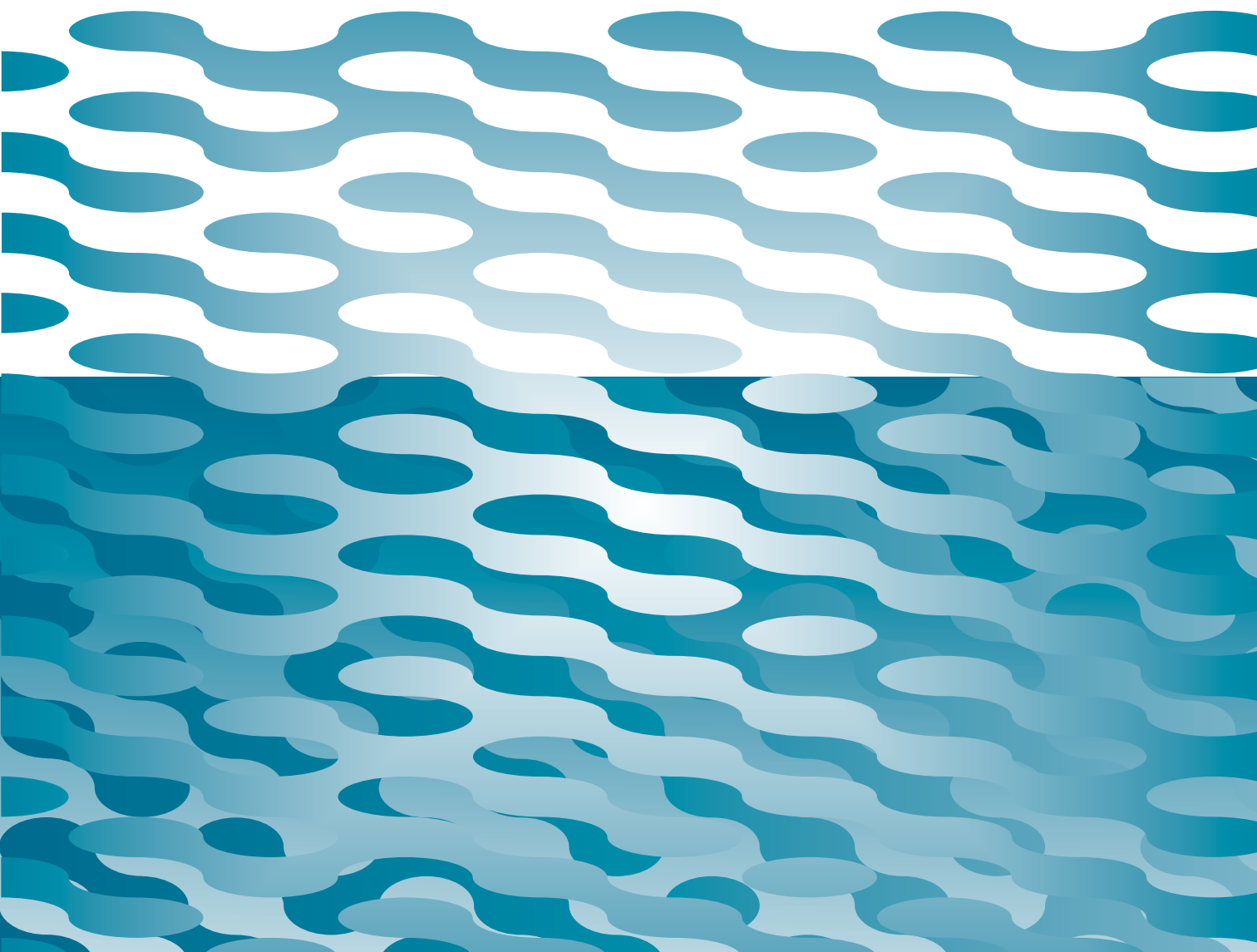
lidados, mantendo-se documentadas as respectivas precisões, sensibilidade e especificidade.

- **Organização de banco de dados:** incluindo fluxo de informações e arquivo.
- **Medidas de controle de qualidade analítica:** incluindo verificações de rotina por meio de análises em réplicas, controles positivos e negativos, controle interlaboratorial, calibração de instrumentos e equipamentos, etc.

As informações ora apresentadas têm caráter genérico e de orientação básica. Para a implementação de programas de qualidade internos e externos, deve-se recorrer a publicações específicas, tal como o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

INFORMAÇÃO SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA
PARA CONSUMO HUMANO

4



4.1 GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES EM SISTEMAS E SOLUÇÕES ALTERNATIVAS COLETIVAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E OPERACIONAIS DE SISTEMAS E SOLUÇÕES ALTERNATIVAS COLETIVAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A caracterização física e operacional de sistemas e soluções alternativas de abastecimento de água é um instrumento valioso de gestão, de identificação de fatores de risco à saúde e de avaliação de sua distribuição e evolução espacial e temporal. Para tanto, é essencial que os responsáveis pelos serviços procurem manter um cadastro o mais detalhado possível das instalações físicas, que deve ser atualizado sempre que alguma modificação for introduzida. Essa atividade deve ser prevista na rotina operacional de todos os sistemas ou soluções alternativas de abastecimento de água.

Funções do cadastro

- Permitir aos profissionais que atuam nos sistemas ou soluções alternativas conhecer os detalhes das suas instalações físicas.
- Perpetuar as informações para os novos profissionais que assumem os serviços, por ampliação da equipe ou por eventuais substituições.
- Informar tais características à vigilância da qualidade da água para consumo humano, para que esta possa exercer efetivamente sua função.

Para o cadastro de sistemas ou soluções alternativas, não há necessariamente uma padronização. Trata-se, essencialmente, da construção e da atualização permanentes de uma base de informações, as mais completas possíveis, de todo o sistema: desde o manancial e a captação, até o tratamento e o sistema de distribuição. Na medida do possível, e quando cabível, as informações devem ser traduzidas em plantas e mapas e, idealmente, guardadas e manipuladas em meios eletrônicos, por exemplo, com recursos de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Naturalmente que, para se cumprirem metas ambiciosas e detalhadas, não há “fórmulas”. O que segue constitui apenas sugestões de caráter geral.

Quadro 4.1 – Informações relevantes para a caracterização de sistemas e soluções alternativas de abastecimento de água

ITEM	DESCRIÇÃO
Informações gerais	Nome do sistema, regiões que abastece (distritos, bairros, etc.), população abastecida, consumo <i>per capita</i> médio anual, taxa de crescimento populacional e evolução do consumo de água.
Manancial	Tipo e descrição do manancial, descrição/diagnóstico da bacia – uso e ocupação do solo, fontes pontuais e difusas de poluição, condições de proteção do manancial, vazões mínima, média e máxima (séries históricas), volume de água armazenado, histórico da qualidade da água.
Captação	Descrição e localização das unidades de captação, vazão de adução, capacidade instalada de adução, número e estado de conservação de bombas.
Tratamento	Projeto da ETA, parâmetros de projeto e reais de operação de cada processo unitário de tratamento, capacidade instalada de tratamento (infra-estrutura, equipamentos e insumos), condições de operação e manutenção, controle operacional realizado, histórico da qualidade da água.
Distribuição	Localização e descrição de reservatórios de distribuição, cadastro detalhado da rede de distribuição, materiais utilizados, estado de conservação, mapeamento de zonas de consumo (distribuição espacial de consumo <i>per capita</i>) e zonas de pressão, mapa de pressões da rede de distribuição, mapeamento de pontos críticos (ex.: vazamentos constantes, zonas de baixa pressão, zonas de intermitência de abastecimento), controle operacional realizado (ex.: manobras, reparos, descarga e limpeza de rede), histórico da qualidade da água.

Como orientação geral, para o cadastramento *dimensional* das unidades dos sistemas e soluções alternativas coletivas, que pode ter como referência, para sua realização, os projetos desenvolvidos e implantados, cabem as seguintes observações:

- As dimensões das estruturas – como tanques diversos, captações, estações elevatórias, estações de tratamento e reservatórios – devem ser registradas em planta e em elevações em escalas adequadas. As elevações das estruturas e do terreno devem ser apresentadas com base em referências de nível seguras. Tubulações e equipamentos eletromecânicos também devem ser especificados, com atenção para a correta apresentação de diâmetros e materiais.
- Adutoras e rede devem ser cuidadosa e devidamente cadastradas, com atenção para aquelas enterradas. Nesse caso, diâmetros, material, profundidades e posições nas ruas, bem como peças e acessórios, entre outras informações, devem ser registrados.

HISTÓRICO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Nunca é demais lembrar que a qualidade da água pode variar, intensamente, no tempo e no espaço. Torna-se então de fundamental importância compor um histórico da qualidade da água que permita avaliar sua distribuição e evolução espacial e temporal.

A avaliação da água tratada visa à verificação do atendimento sistemático, ao longo do tempo, ao padrão de potabilidade. Apresenta-se também como um mecanismo indispensável de controle dos processos de tratamento empregados.

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.

Em resumo, o monitoramento, como parte das atividades de controle da qualidade da água, visa a e consiste em:

- compor um histórico da dinâmica da qualidade da qualidade da água, do manancial ao sistema de distribuição;
- comprovar a potabilidade da água fornecida para consumo humano;
- verificar pontos críticos do sistema e fornecer subsídios para a área operacional;
- corrigir as possíveis anomalias detectadas.

Para efeito de comprovação perante o setor saúde, o cumprimento dos planos de amostragem e do padrão de potabilidade deve ser verificado mensal e semestralmente, com base nos relatórios de envio obrigatório.

Por sua vez, a produção sistemática de água de boa qualidade depende de um bom controle operacional dos diversos processos unitários de tratamento, o que nem sempre é observado mesmo que se trate de controle de rotina, podendo mesmo comprometer o primeiro e principal papel das estações de tratamento de água: o de efetivas barreiras sanitárias. Portanto, torna-se necessário dispor de ferramentas de rotina que permitam a pronta sistematização e o fácil acesso a um banco de dados organizado de tal forma que se possa, continuamente, avaliar o desempenho dos processos unitários de tratamento e intervir quando necessário, com o objetivo último de otimização do processo como um todo. Mais recentemente, a tendência crescente de automação de ETAs permite o monitoramento *on-line* (em tempo real).

A seguir, procura-se ilustrar o exposto recorrendo-se a banco de dados de estudos de casos reais, sempre do mesmo sistema de abastecimento.

A organização e a análise de bancos de dados em séries temporais permitem a identificação de variações sazonais da qualidade da água, o que pode bem orientar a operação do tratamento e a especulação sobre possíveis fontes de contaminação do manancial, subsidiando inclusive eventuais inspeções sanitárias.

Sistematização de informações sobre a qualidade da água bruta (exemplo)

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO MANANCIAL – RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO

COLETA (MÊS/ ANO)	PARÂMETROS							
	BACTERIOLÓGICOS		PROTOZOÁRIOS		FÍSICO-QUÍMICOS			
	CT ¹	<i>E. COLI</i> ¹	<i>GIARDIA</i> <i>SP.</i> ²	<i>CRYPTOSPORIDIUM</i> <i>SPP.</i> ³	TURBIDEZ ⁴	OD ⁵	DBO ⁵	DQO ⁵
09/00	1,7x10 ³	2,4x10 ²	ND	1,6x10 ¹	11,40	6,76	2,4	8,23
10/00	6,9x10 ³	1,0x10 ²	5,6x10 ¹	2,6x10 ²	14,00	5,10	3,9	25,6
12/00	1,1x10 ⁴	2,2x10 ³	1,4x10 ²	5,1x10 ²	49,70	4,22	4,2	26,7
01/01	1,6x10 ⁴	4,1 x10 ¹	1,9x10 ¹	2,1x10 ¹	13,60	5,93	3,7	21,2
01/01	3,4x10 ³	4,1 x10 ¹	7,00	ND	30,20	5,38	4,7	32,0
02/01	3,3x10 ⁴	1,1x10 ²	7,98	8,0	6,62	4,28	2,1	18,9
03/01	4,0x10 ³	1,0 x10 ¹	8,00	1,6x10 ¹	4,19	4,75	2,6	17,4
04/01	2,4x10 ²	3,1 x10 ¹	4,62	1,2x10 ¹	6,78	5,05	4,5	22,0
05/01	3,7x10 ³	1,0x10 ²	ND	ND	5,73	6,31	5,7	23,3
07/01	> 2,4x10 ³	7,4x10 ¹	ND	2,0	3,85	4,70	1,8	13,7
08/01	> 2,4x10 ³	1,6x10 ²	ND	ND	8,65	5,53	2,4	46,5
12/01	3,4x10 ³	1,1x10 ²	ND	ND	9,7	5,87	1,4	7,60

CT: coliformes totais;

ND: não detectado;

¹ NMP/100 mL;

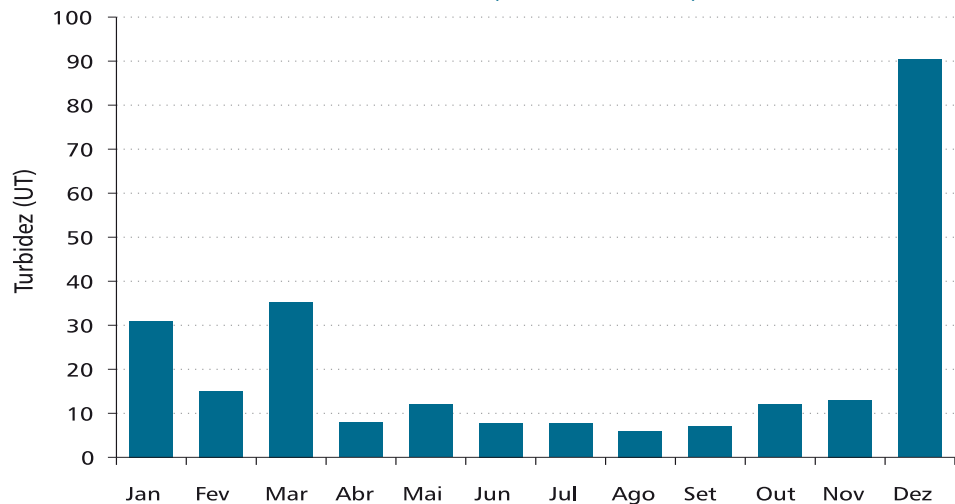
² cistos/L;

³ oocistos/L;

⁴ UNT;

⁵ mg/L.

TURBIDEZ DA ÁGUA (MÉDIAS MENSAIS)



Comentários:

A bacia de captação do manancial em questão em nada poderia ser considerada como protegida. Destacam-se vetores de crescimento urbano relativamente próximos ao ponto de captação e a presença de atividades de produção animal relativamente intensas, se considerada a reduzida vazão do curso d'água.

Entretanto, com base nos parâmetros físico-químicos e mesmo nas concentrações de coliformes, concluir-se-ia tratar-se de um manancial de qualidade razoável de água, pouco poluída.

Depara-se com um manancial de turbidez relativamente reduzida, portanto de fácil tratabilidade. Entretanto, mesmo em casos como estes a atenção cotidiana é indispensável: no manancial em questão, em janeiro de 2001, chuvas torrenciais provocaram uma elevação brusca da turbidez até 1.000 UT.

Em que pese a aparente boa qualidade da água, *Giardia* e *Cryptosporidium* são freqüentemente detectados em concentrações elevadas. Tal constatação parece obedecer a padrões similares de ocorrência temporal e em termos de densidade: os picos de ocorrência de protozoários, bem como da maioria dos demais parâmetros, correspondem, com algumas exceções, à época de chuvas.

Com base nas densidades de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* detectadas, requer-se atenção ao manancial de abastecimento e um tratamento da água bastante rigoroso, particularmente em épocas de chuvas

CONTROLE DOS PROCESSOS UNITÁRIOS DE TRATAMENTO E DA QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA

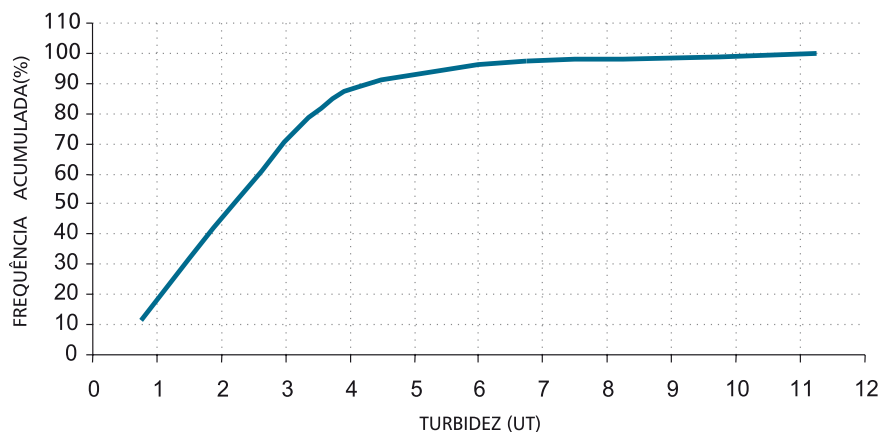
A organização de banco de dados deve facilitar a análise o mais detalhada possível do desempenho do tratamento. Nesse sentido, tão importante quanto à eficiência global do sistema, é a avaliação do desempenho e a estabilidade/vulnerabilidade de cada processo unitário.

A análise sistemática das estatísticas diárias, mensais e anuais geradas permite a identificação de eventuais falhas no processo ou de controle operacional, facilitando inclusive a percepção de sua origem ou natureza, além de orientar as correções e/ou as intervenções porventura necessárias.

Dentre os recursos para uma boa interpretação do banco de dados, incluem-se: médias temporais, eficiência de remoção, distribuição de frequência, estudos de correlação, etc.

Sistematização de informações sobre a qualidade da água bruta, decantada e filtrada (exemplo)

Distribuição de freqüência da turbidez da água bruta, 1999



Eficiência de remoção de turbidez, 1999 (%)

MÊS	TURBIDEZ MÉDIA (UT)			EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)	
	BRUTA	DECANTADA	FILTRADA	DECANTAÇÃO	FILTRAÇÃO
Janeiro	26,1	5,4	0,7	79,5	86,9
Fevereiro	9,0	3,0	0,4	66,2	86,8
Março	27,5	4,7	0,3	83,0	93,6
Abril	10,7	3,2	0,3	70,4	90,5
Maiο	7,4	2,8	0,3	62,7	88,7
Junho	9,3	3,3	0,2	64,9	92,9
Julho	8,5	3,4	0,2	60,7	94,0
Agosto	6,3	2,4	0,3	62,4	89,5
Setembro	6,0	1,9	0,3	68,0	85,5
Outubro	10,3	2,2	0,3	79,1	83,6
Novembro	19,5	4,7	0,4	75,9	90,6
Dezembro	15,4	4,4	0,3	71,7	92,2
Anual	13,0	3,4	0,3	70,4	89,6

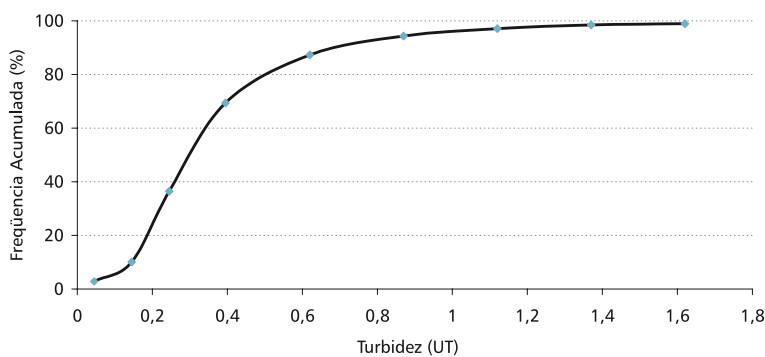
Com base nos valores médios mensais, percebe-se que durante os períodos de estiagem a eficiência de remoção de turbidez na decantação variou de 60% a 70% e nos períodos de chuva de 70% a 80%, o que poderia indicar a necessidade de otimização do tratamento de águas de mais baixa turbidez.

Entretanto, o traçado da curva de frequência da turbidez da água decantada permite identificar que, durante o ano, em mais de 90% do tempo o processo de decantação pode ser avaliado como excelente ($< 5,0$ UT). A eficiência de remoção de turbidez na filtração variou de 84% a 94%, o que demonstra uma certa instabilidade do processo; nesse caso o desempenho mais fraco é observado nos períodos de chuvas. De toda forma, os valores de turbidez da água filtrada neste período permaneceram sistematicamente baixos.

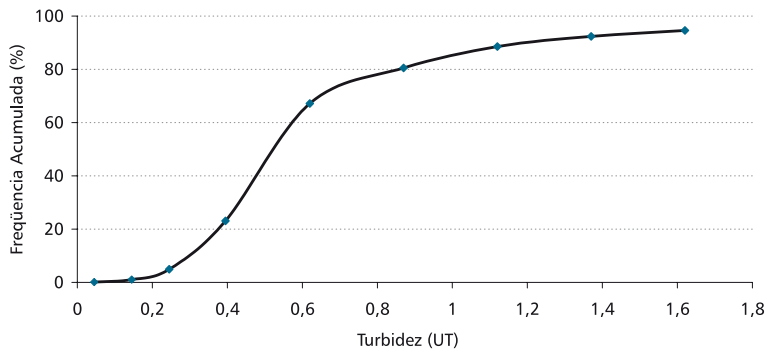
A sistematização dos dados de turbidez da água filtrada, em termos de distribuição de frequência e percentual de atendimento ao padrão e às metas de turbidez, permite avaliar a *performance* e a estabilidade do processo.

Sistematização de informações sobre a qualidade da água bruta, decantada e filtrada (exemplo)

Distribuição de frequência anual da turbidez da água filtrada, filtro 1, abr. 2002-mar. 2003



Distribuição de frequência anual da turbidez da água filtrada, filtro 2, abr. 2002-mar. 2003



Distribuição de frequência da turbidez da água filtrada, abr. 2002-mar. 2003

TURBIDEZ (UT)	FILTRO 1			FILTRO 2		
ABR2002/ MAR2003	NÚMERO DE OCORRÊNCIAS	%	ACUMULADO (%)	NÚMERO DE OCORRÊNCIAS	%	ACUMULADO (%)
0,00 - 0,09	64	2,8	2,8	64	2,8	2,8
0,10 - 0,19	164	7,2	10,1	139	6,1	8,9
0,20 - 0,29	598	26,4	36,4	545	24,0	32,9
0,30 - 0,49	748	33,0	69,4	767	33,8	66,7
0,50 - 0,74	406	17,9	87,3	410	18,0	84,7
0,75 - 0,99	159	7,0	94,3	191	8,4	93,1
1,00 - 1,24	63	2,8	97,1	87	3,8	97,0
1,25 - 1,49	31	1,4	98,5	33	1,5	98,4
1,50 - 1,74	11	0,5	98,9	14	0,6	99,0
≤ 1,75	24	1,1	100,0	22	1,0	100,0
Total	2268	100,0	100,0	2272	100,0	100,0

Percentual de atendimento ao padrão e às metas de turbidez de água filtrada

MÊS	FILTRO 1 (%)			FILTRO 2 (%)		
	≤0,3 UT	≤0,5 UT	≤1,0 UT	≤0,3 UT	≤0,5 UT	≤1,0 UT
Abr. 2002	60,0	97,8	99,5	50,0	95,1	99,5
Mai. 2002	85,8	97,6	100,0	82,8	99,4	100,0
Jun. 2002	82,3	97,2	99,1	80,0	96,7	99,5
Jul. 2002	63,6	93,9	99,6	58,3	96,1	99,1
Ago. 2002	33,3	79,1	100,0	23,6	78,2	97,3
Set. 2002	8,6	36,0	78,5	4,3	25,8	72,0
Out. 2002	21,0	69,0	96,7	15,8	66,2	95,9
Nov. 2002	4,0	29,9	83,1	2,0	15,5	82,5
Dez. 2002	0,0	21,1	82,9	0,0	18,9	76,9
Jan. 2003	43,3	72,5	93,3	47,2	69,1	96,1
Fev. 2003	70,5	91,1	100,0	67,1	92,5	98,6
Mar. 2003	5,3	50,7	98,7	4,7	54,0	98,7
Anual	36,4	69,4	94,3	32,9	66,7	93,1

Percebe-se que o desempenho do filtro 1 é superior ao do filtro 2, o que revela a importância da avaliação individual de cada filtro. A sistematização dos resultados permite ainda identificar um pior desempenho em épocas de chuvas. O padrão de potabilidade exigido no Brasil ($\leq 1,0$ UT) é quase sistematicamente atendido, mas registram-se valores pontuais elevados, o que pode ser decorrente de descuidos na operação. Entretanto, o recomendado para a remoção de cistos de *Giardia* é $\leq 0,5$ UT (2,5

log de remoção) e para oocistos de *Cryptosporidium* é $\leq 0,3$ UT (2,0 log de remoção). Em tese, dependendo da ocorrência desses organismos na água bruta, estar-se-ia, potencialmente, em face de riscos de ocorrência também na água filtrada.

ÁGUA DISTRIBUÍDA

A seguir apresentam-se resultados do monitoramento da qualidade da água nas pontas de rede de sistema em questão, com os respectivos índices de atendimento à Portaria MS nº 518/2004 e estatísticas descritivas.

Teores de cloro residual nas pontas de rede (mg/L)

PONTOS DE AMOSTRAGEM				
DATA	PA1	PA2	PA3	PA4
21/08/01	0,15	0,18	0,48	0,55
28/08/01	0,37	0,27	0,85	0,68
04/09/01	0,46	1,10	1,40	1,21
12/09/01	0,01	0,00	0,02	0,00
19/09/01	0,00	0,00	0,00	0,19
15/10/01	0,03	0,02	0,10	0,20
22/10/01	0,02	0,06	0,27	0,57
29/10/01	0,02	0,03	0,03	0,01
05/11/01	0,02	0,01	0,39	0,60
12/11/01	0,04	0,03	0,29	0,09
20/11/01	0,01	0,00	0,12	0,16
26/11/01	0,00	0,02	0,33	0,20
03/12/01	0,02	0,00	0,08	0,15
10/12/01	0,02	0,00	0,10	0,19
18/12/01	0,00	0,00	0,24	0,41
10/01/02	0,02	0,00	0,26	0,50
17/01/02	0,11	0,00	0,23	0,32
24/01/02	0,01	0,04	0,45	0,53
05/02/02	0,02	0,02	0,10	0,12
21/02/02	0,44	0,18	0,18	0,15
28/02/02	0,02	0,01	0,26	0,17
14/03/02	0,00	0,00	0,27	0,52
22/03/02	0,59	0,40	0,35	0,50
28/03/02	0,00	0,00	0,39	0,48
12/04/02	0,00	0,04	0,36	0,45

Continua...

Continuação

DATA	PA1	PA2	PA3	PA4
18/04/02	0,67	0,59	0,50	0,60
25/04/02	0,00	0,01	0,39	0,52
29/04/02	0,01	0,01	0,53	0,56
06/05/02	0,02	0,12	0,49	0,47
15/05/02	0,00	0,00	0,26	0,31
27/05/02	0,02	0,01	0,24	0,35
04/06/02	0,03	0,46	0,25	0,50
25/06/02	0,78	NR	1,01	1,15
08/07/02	0,03	0,01	0,51	0,55
15/07/02	0,00	0,37	0,56	0,66
ICR (%)	17,1	17,7	74,3	71,44

ICR: índice de cloro residual (número de amostras com cloro residual $\geq 0,2$ mg/L / número de amostras analisadas).

Turbidez da água nas pontas de rede (UT)

DATA	PA1	PA2	PA3	PA4
21/08/01	0,7	1,1	0,5	0,7
28/08/01	0,8	2,5	0,8	0,9
04/09/01	1,0	1,0	1,0	1,0
12/09/01	1,0	1,2	0,8	0,9
19/09/01	2,0	1,5	1,5	1,4
15/10/01	1,8	NR	0,9	0,5
22/10/01	2,5	7,9	2,0	1,1
29/10/01	4,4	6,3	2,8	1,3
05/11/01	4,0	1,1	0,8	0,7
12/11/01	1,4	1,3	1,1	1,1
20/11/01	1,1	1,3	3,0	0,8
26/11/01	1,1	1,0	1,4	0,7
03/12/01	3,7	2,9	2,7	2,8
10/12/01	1,7	2,0	2,0	1,5
18/12/01	2,9	5,7	1,2	1,2
10/01/02	4,1	1,0	0,8	0,8
17/01/02	20,1	1,5	1,6	1,1
24/01/02	1,3	1,4	0,8	0,9
05/02/02	3,6	1,4	1,4	1,2
21/02/02	0,8	0,7	0,7	0,5
28/02/02	3,2	1,4	3,1	1,0
14/03/02	2,2	3,7	0,5	0,4
28/03/02	0,9	1,7	0,5	0,4
11/04/02	3,8	NR	0,5	0,4
12/04/02	2,4	0,5	0,4	0,4

Continua...

Continuação

DATA	PA1	PA2	PA3	PA4
18/04/02	0,4	0,4	0,5	0,6
25/04/02	1,2	7,3	0,4	0,4
29/04/02	0,9	1,5	0,4	0,4
06/05/02	1,0	0,6	0,6	0,5
15/05/02	1,7	2,0	0,5	0,5
27/05/02	2,2	2,0	0,4	0,4
04/06/02	5,3	1,3	0,2	0,3
25/06/02	1,0	NR	0,5	0,5
08/07/02	0,4	0,8	4,3	4,9
15/07/02	2,9	2,0	0,4	0,3
IT (%)	94,3	97,0	100,0	100,0

Estatística descritiva

PARÂMETRO	PA1	PA2	PA3	PA4
Mínimo	0,4	0,4	0,2	0,3
Máximo	20,1	7,9	4,3	4,9
Mediana	1,8	1,4	0,8	0,7
1º quartil	1,0	1,1	0,5	0,5
3º quartil	3,1	2,0	1,5	1,1
Média	2,6	2,163	1,2	0,7

IT: Índice de turbidez (número de amostras com turbidez $\leq 5,0$ uT/número de amostras analisadas).

Estatística descritiva dos dados de cor, ferro, coliformes totais e contagem de bactérias heterotróficas no período analisado

COR				
PARÂMETRO	PA1	PA2	PA3	PA4
Mínimo	3,3	0,0	0,0	0,0
Máximo	120,0	36,0	21,0	14,3
Mediana	10,9	12,9	5,0	5,0
1º quartil	5,6	8,7	4,9	2,33
3º quartil	25,0	20,0	8,8	6,9
Média	17,8	15,0	6,7	5,2
IC (%)	67,0	56,3	97,0	100,0
FERRO				
Mínimo	0,07	0,02	0,00	0,00
Máximo	3,02	3,42	0,74	0,66
Mediana	0,54	0,31	0,08	0,03
1º quartil	0,34	0,25	0,03	0,00
3º quartil	0,81	0,47	0,14	0,07
Média	0,68	0,59	1,19	0,07
IFe (%)	24,0	50,0	92,0	96,0

Continua...

Continuação

PARÂMETRO	PA1	PA2	PA3	PA4
CONTAGEM DE BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS				
ICH (%)	100,0	100,0	100,0	100,0
COLIMETRIA				
ICT (%)	100,0	100,0	100,0	100,0

IC: índice de cor (número de amostras com cor $\leq 15,0$ uC/número de amostras analisadas).

IFe: índice de ferro (número de amostras com ferro $\leq 0,3$ mg/L/número de amostras analisadas).

ICH: índice de bactérias heterotróficas (número de amostras com contagem ≤ 500 UFC por mL/número de amostras analisadas).

ICT: índice de coliformes totais (número de amostras com ausência de coliformes por 100 mL/número de amostras analisadas).

Comentários:

Muito embora a Portaria MS nº 518/2004 não faça menção a tratamentos estatísticos desse tipo de dados, os exemplos anteriores explicitam como análises individuais apenas revelam pontualmente a qualidade da água. Na medida do possível de ser realizada, a sistematização dos dados em séries históricas e espaciais presta-se bem aos objetivos do controle da qualidade da água.

Observa-se que nas pontas de rede PA1 e PA2 a manutenção do teor de cloro residual mínimo (0,2 mg/L) é problemática; em PA3 e PA4 a situação é mais estável, embora no período analisado não se tenham alcançado os 100% de atendimento. Os pontos PA1 e PA2 mostram-se também mais problemáticos no atendimento aos padrões de ferro e cor.

Em relação à turbidez, com exceção de dois eventos nos pontos PA1 e PA2, a água permaneceu de acordo com o limite estabelecido. Chama atenção o elevado valor de turbidez no dia 17/01 em PA1, possivelmente em decorrência de algum problema na própria rede de distribuição. A análise da estatística descritiva dos dados de turbidez confirma a estabilidade do sistema no atendimento ao padrão, podendo-se interpretar o evento do dia 17/01 como um problema pontual.

Embora a água atenda sistematicamente ao padrão bacteriológico, a julgar pelos resultados de cloro residual, ferro e cor, ela seria considerada não conforme. O problema sugere necessidades de correção da dosagem de cloro na ETA e a verificação do estado de conservação da rede em direção aos pontos PA1 e PA2.

4.2 INFORMAÇÃO ÀS AUTORIDADES DE SAÚDE PÚBLICA

CONJUNTO DE INFORMAÇÕES A SEREM PRESTADAS

Cabe ressaltar que a informação às autoridades de saúde pública constitui exigência da Portaria MS nº 518/2004, como destacado a seguir:

Portaria MS nº 518/2004 – Informação às autoridades de saúde pública

Artigos 9º e 10 – Ao(s) responsável(is) pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água incumbe:

- encaminhar à autoridade de saúde pública, para fins de comprovação do atendimento a esta Norma, relatórios mensais (no caso de sistemas de abastecimento de água) e trimestrais (no caso de soluções alternativas coletivas) com informações sobre o controle da qualidade da água, segundo modelo estabelecido pela referida autoridade;
Obs.: No caso das soluções alternativas coletivas a análise é mensal e o envio é trimestral.
- 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 o controle das características das suas águas, nos termos do artigo 19, 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;
- 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 (da Portaria).

Em resumo, as informações a serem prestadas, por exigência da Portaria MS nº 518/2004 são:

- Relatório de controle da qualidade da água para consumo humano de sistemas (mensais) e de soluções alternativas de abastecimento de água (trimestrais).
- Notificação de indícios de riscos à saúde em caso de comprometimento da qualidade da água do manancial.

- Notificação de qualquer anomalia operacional detectada no sistema ou não conformidade na qualidade da água tratada, identificada como de risco à saúde.

Além disso, no âmbito do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua), devem ser fornecidas informações cadastrais mínimas sobre os sistemas e as soluções alternativas coletivas de abastecimento de água.

RELATÓRIO DE NOTIFICAÇÃO DE INDÍCIOS DE RISCOS À SAÚDE DEVIDO AO COMPROMETIMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO MANANCIAL

Vale repetir a redação do inciso V do artigo 9º da Portaria MS nº 518/2004:

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 o controle das características das suas águas, nos termos do artigo 19 (da Portaria), **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.**

São, portanto, duas condições específicas em que a Portaria MS nº 518/2004 exige a notificação à autoridade de saúde pública por parte dos prestadores de serviços de abastecimento de água.

Quando se solicita *notificar sempre que houver indícios de risco à saúde*, deve-se estar atento àqueles parâmetros de remoção limitada pelo processo de tratamento empregado no sistema existente, tanto as substâncias químicas que representam riscos à saúde, quanto as que compõem padrão de aceitação para consumo humano, dentre as quais se destacam: cloretos, ferro, manganês, agrotóxicos, mercúrio, metais pesados, cianotoxinas e cianobactérias. A notificação pode decorrer da detecção em monitoramento de rotina ou de casos de acidentes.

Na segunda situação – *sempre que amostras coletadas apresentarem resultados em desacordo com os limites ou condições da respectiva classe de enquadramento, conforme definido na legislação específica* – está se referindo mais especificamente à Resolução Conama nº 357/2005, que estabelece critério para classificação das águas de acordo com os usos preponderantes e os respectivos requisitos de qualidade. Trata-se, portanto, de uma medida de caráter gerencial, ampla e de avaliação preventiva de riscos.

A título de sugestão, inclui-se um exemplo de modelo de notificação.

Nome do sistema/solução alternativa coletiva:_____	
Nome do manancial:_____	
Data da coleta: ____/____/____	Local de coleta:_____
(ponto de captação, meio da represa, etc.)	
Parâmetro analisado com não-conformidade:_____	
Resultado da análise laboratorial:_____ (unid.)	
Valor máximo permissível:_____ (unid.)	
Importância sanitária da não-conformidade:_____	

Providências tomadas:_____	

Prazo previsto de permanência da não-conformidade:_____ dias.	
Data da notificação:____/____/____	
Responsável técnico do sistema/solução alternativa:_____	
Documento de classe profissional:_____	

RELATÓRIO DE NOTIFICAÇÃO SOBRE ANOMALIAS OPERACIONAIS NOS SISTEMAS OU SOLUÇÕES ALTERNATIVAS OU NÃO-CONFORMIDADES NA QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA

No inciso V do artigo 9º da Portaria MS nº 518/2004 encontra-se:

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.

No item 2.8 (“Situações de emergência”) foram apresentadas algumas situações emergenciais em que o responsável pela operação dos serviços de abastecimento de água deve comunicar à autoridade de saúde pública os riscos à saúde decorrentes de questões operacionais. Além das apontadas, devem-se adicionar as situações mais frequentes de intermitência na distribuição de água e, eventualmente, os problemas na qualidade da água.

De toda maneira, as situações de intermitência no fornecimento de água e de não-conformidade da sua qualidade em relação aos diversos parâmetros da Portaria MS nº 518/2004 devem ser apontadas nos relatórios periódicos a serem encaminhados à autoridade de saúde pública (ver, na seção 4.2, a subseção “Relatórios de controle da qualidade de água”).

A seguir é apresentada uma sugestão de modelo de notificação a ser encaminhado à autoridade de saúde pública com as informações que configurem fatores operacionais de risco à saúde.

Nome do sistema/solução alternativa coletiva:	_____
Localidades afetadas pela não-conformidade:	_____
Descrição da inconformidade:	_____
Importância sanitária da não conformidade:	_____
Providências tomadas:	_____
Período da ocorrência do problema:	____/____/____ a ____/____/____
Prazo previsto para solução do problema a partir da data da notificação:	_____ dias.
Data da notificação:	____/____/____
Responsável técnico do sistema/solução alternativa:	_____
Documento de classe profissional:	_____

4.3 INFORMAÇÃO AO CONSUMIDOR

A regulamentação da informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano é uma obrigação dos responsáveis por sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água, explicitada na Portaria MS nº 518 de 25 de março de 2004, que trata das responsabilidades:

“Art. 9º Ao(s) responsável(is) pela operação de sistema de abastecimento de água incumbe:

.....
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 desta Norma; 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 7º desta Norma, incumbe:

.....
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.

.....
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.

(Obs.: grifos nossos.)

O direito do consumidor à informação é mundialmente consagrado e abrange a oferta de todos os produtos, *inclusive a de água*, estando suficientemente expresso na *Lei Federal nº 8.078, de 11 de setembro de 1990* (Código de Defesa do Consumidor), que trata dos direitos básicos do consumidor.

Artigo 6º São direitos básicos do consumidor:

.....
III - a **informação adequada e clara** sobre os diferentes produtos e serviços, com especificação correta de quantidade, características, composição, qualidade e preço, **bem como sobre os riscos que apresentem**.

Também o artigo 3º, que trata da oferta de produtos e serviços, determina que:

“A oferta e a apresentação de produtos ou serviços devem assegurar informações corretas, claras, precisas, ostensivas e em língua portuguesa sobre suas características, qualidade, quantidade, composição, preço, garantia, prazos de validade e origem, entre outros dados, bem como sobre os riscos que apresentam à saúde e segurança dos consumidores.”

O Código de Defesa do Consumidor trata, ainda sobre essa questão, a respeito de necessidades de instrumentos adequados de informação em situações de risco à saúde.

Art. 10. O fornecedor não poderá colocar no mercado de consumo produto ou serviço que sabe ou deveria saber apresentar alto grau de nocividade ou periculosidade à saúde ou segurança.

§ 1º O fornecedor de produtos ou serviços que, posteriormente à sua introdução no mercado de consumo, tiver conhecimento da periculosidade que apresentam deverá comunicar o fato imediatamente às autoridades competentes e aos consumidores, mediante anúncios publicitários.

§ 2º Os anúncios publicitários a que se refere o parágrafo anterior serão veiculados na imprensa, rádio e televisão, às expensas do fornecedor do produto ou serviço.

§ 3º Sempre que tiverem conhecimento de periculosidade de produtos ou serviços à saúde ou segurança dos consumidores, a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios deverão informá-los a respeito.

(Obs.: grifos nossos)

A Lei nº 8.987 de 13 de fevereiro de 1995, que trata do Regime de Concessão e Permissão da Prestação de Serviços Públicos regulamentados no artigo 175 da Constituição Federal, determina em seu artigo 7º que:

Art. 7º Sem prejuízo do disposto na Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990, são direitos e obrigações dos usuários:

.....

II. receber do poder concedente e da concessionária informações para a defesa de interesses individuais e coletivos:

Cabe ao setor, nos termos da Portaria MS nº 518/2004:

Art. 7º São deveres e obrigações das secretarias municipais de saúde:

- VI – garantir à população informações sobre a qualidade da água e riscos à saúde associados, nos termos do inciso VI do artigo 9º 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;
- (Obs.: grifos nossos)

Com vista à regulamentação dos dispostos nas Leis nº 8.078, de 11 de setembro de 1990, nº 8.080, de 19 de setembro de 1990, nº 9.433, 8 de janeiro de 1997, e pelo Decreto nº 79.367, de 9 de março de 1977, o Governo Federal e outras instituições participaram do processo de elaboração dos mecanismos e dos instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano, regulamentado pelo Decreto nº 5.440, de 4 de maio de 2005.

O processo de construção desse Decreto iniciou-se no Ministério da Saúde no âmbito da Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental em parceria com os Ministérios da Justiça, das Cidades e do Meio Ambiente e contou com a colaboração da Organização Pan-Americana de Saúde (Opas), do Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (Idec), da Fundação Nacional de Saúde (Funasa) e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa).

O acompanhamento do cumprimento desse Decreto será exercido pelos órgãos competentes dos Ministérios da Saúde, da Justiça, das Cidades e do Meio Ambiente e pelas autoridades estaduais, do Distrito Federal, dos Territórios e municipais, no âmbito de suas respectivas competências.

Para garantir o direito à informação sobre a qualidade da água para consumo humano foram estabelecidos dois instrumentos: conta da água e relatório com os seguintes prazos:

Art. 3º Os órgãos e as entidades dos Estados, Municípios, Distrito Federal e Territórios e demais pessoas jurídicas, às quais este Decreto se aplica, deverão enviar as informações aos consumidores sobre a qualidade da água, nos seguintes prazos:

I - informações mensais na conta de água, em cumprimento às alíneas “a” e “b” do inciso I do art. 5º do Anexo, a partir do dia 5 de junho de 2005;
II - informações mensais na conta de água, em cumprimento às alíneas “c” e “d” do inciso I do art. 5º do Anexo, a partir do dia 15 de março de 2006; e
III - relatório anual até quinze de março de cada ano, ressalvado o primeiro relatório, que terá como data limite o dia 1º de outubro de 2005.

De acordo com o artigo 3º a informação a ser prestada pelos responsáveis pelos sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água tem de:

I - ser verdadeira e comprovável;
II - ser precisa, clara, correta, ostensiva e de fácil compreensão, especialmente quanto aos aspectos que impliquem situações de perda da potabilidade, de risco à saúde ou aproveitamento condicional da água; e
III - ter caráter educativo, promover o consumo sustentável da água e proporcionar o entendimento da relação entre a sua qualidade e a saúde da população.

Cabe aos responsáveis pelos sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água disponibilizar as seguintes informações para cada ligação predial:

Art. 5º Na prestação de serviços de fornecimento de água é assegurado ao consumidor, dentre outros direitos:

I - receber nas contas mensais, no mínimo, as seguintes informações sobre a qualidade da água para consumo humano:

- a) divulgação dos locais, formas de acesso e contatos por meio dos quais as informações estarão disponíveis;
- b) orientação sobre os cuidados necessários em situações de risco à saúde;
- c) resumo mensal dos resultados das análises referentes aos parâmetros básicos de qualidade da água; e
- d) características e problemas do manancial que causem riscos à saúde e alerta sobre os possíveis danos a que estão sujeitos os consumidores,

especialmente crianças, idosos e pacientes de hemodiálise, orientando sobre as precauções e medidas corretivas necessárias;

II - receber do prestador de serviço de distribuição de água relatório anual contendo, pelo menos, as seguintes informações:

- a) transcrição dos arts. 6º, inciso III, e 31 da Lei nº 8.078, de 1990, e referência às obrigações dos responsáveis pela operação do sistema de abastecimento de água, estabelecidas em norma do Ministério da Saúde e demais legislações aplicáveis;
- b) razão social ou denominação da empresa ou entidade responsável pelo abastecimento de água, endereço e telefone;
- c) nome do responsável legal pela empresa ou entidade;
- d) indicação do setor de atendimento ao consumidor;
- e) órgão responsável pela vigilância da qualidade da água para consumo humano, endereço e telefone;
- f) locais de divulgação dos dados e informações complementares sobre qualidade da água;
- g) identificação dos mananciais de abastecimento, descrição das suas condições, informações dos mecanismos e níveis de proteção existentes, qualidade dos mananciais, fontes de contaminação, órgão responsável pelo seu monitoramento e, quando couber, identificação da sua respectiva bacia hidrográfica;
- h) descrição simplificada dos processos de tratamento e distribuição da água e dos sistemas isolados e integrados, indicando o município e a unidade de informação abastecida;
- i) resumo dos resultados das análises da qualidade da água distribuída para cada unidade de informação, discriminados mês a mês, mencionando por parâmetro analisado o valor máximo permitido, o número de amostras realizadas, o número de amostras anômalas detectadas, o número de amostras em conformidade com o plano de amostragem estabelecido em norma do Ministério da Saúde e as medidas adotadas face às anomalias verificadas; e
- j) particularidades próprias da água do manancial ou do sistema de abastecimento, como presença de algas com potencial tóxico, ocorrência de flúor natural no aquífero subterrâneo, ocorrência sistemática de agrotóxicos no manancial, intermitência, dentre outras, e as ações corretivas e preventivas que estão sendo adotadas para a sua regularização.

As informações deverão ser disponibilizadas ao consumidor por área de abrangência do fornecimento de água pelo sistema de abastecimento, ou seja, sistemas isolados (sistemas que abastecem isoladamente bairros, setores ou localidades) e sistemas integrados (sistemas que abastecem diversos municípios simultaneamente ou quando mais de uma unidade produtora abastece um único município, bairro, setor ou localidade).

As informações a serem veiculadas na conta mensal e no relatório anual deverão trazer esclarecimentos quanto ao significado dos parâmetros neles mencionados, em linguagem acessível ao consumidor, e deverão ser disponibilizadas a cada ligação predial. No caso de condomínios verticais ou horizontais atendidos por uma mesma ligação predial, o fornecedor deverá orientar a administração, por escrito, a divulgar as informações a todos os condôminos.

Os responsáveis pelas soluções alternativas coletivas, incluindo os veículos transportadores de água para consumo humano, como os carros-pipa, deverão apresentar aos consumidores, no momento do fornecimento, as informações de que trata o seguinte artigo do Decreto 5.440/05:

Art. 9º Os prestadores de serviço de transporte de água para consumo humano, por carros-pipa, carroças, barcos, dentre outros, deverão entregar aos consumidores, no momento do fornecimento, no mínimo, as seguintes informações:

- I - data, validade e número ou dado indicativo da autorização do órgão de saúde competente;
- II - identificação, endereço e telefone do órgão de saúde competente;
- III - nome e número de identidade do responsável pelo fornecimento;
- IV - local e data de coleta da água; e
- V - tipo de tratamento e produtos utilizados.

§ 1º Cabe aos órgãos de saúde fornecer formulário padrão onde estarão contidas as informações referidas nos incisos I a V.

§ 2º Os prestadores de serviço a que se refere o caput deverão prover informações aos consumidores sobre cor, cloro residual livre, turbidez, pH e coliformes totais, registrados no fornecimento.

Cabe ressaltar que para as demais formas de soluções alternativas coletivas, as informações referidas no artigo 5º serão veiculadas, dentre outros meios, por relatórios anexos ao boleto de pagamento do condomínio, demonstrativos de despesas, boletins afixados em quadros de avisos ou ainda mediante divulgação na imprensa local.

Todas as informações prestadas pelos responsáveis pelas deverão manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível aos consumidores e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública.

As informações sobre a qualidade da água a ser disponibilizada no relatório anual deverão contemplar todos os parâmetros analisados com frequência trimestral e semestral que estejam em desacordo com a Portaria MS nº 518/2004, seguidos da expressão: “FORA DOS PADRÕES DE POTABILIDADE”.

O acesso às informações pelos consumidores deverá possibilitar um maior controle social sobre a qualidade dos serviços prestados à população, bem como a adoção de medidas de prevenção dos riscos e dos danos para a saúde humana.

O Decreto traz também a orientação de disponibilização em outros canais de comunicação complementar, tais como:

Art. 12. Os responsáveis pelos sistemas de abastecimento devem disponibilizar, em postos de atendimento, informações completas e atualizadas sobre as características da água distribuída, sistematizadas de forma compreensível aos consumidores.

Art. 13. A fim de garantir a efetiva informação ao consumidor, serão adotados outros canais de comunicação, tais como: informações eletrônicas, ligações telefônicas, boletins em jornal de circulação local, folhetos, cartazes ou outros meios disponíveis e de fácil acesso ao consumidor, sem prejuízo dos instrumentos estabelecidos no art. 5º deste Decreto.

A título de exemplo, recomenda-se manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível aos consumidores e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública.

O Decreto tem um caráter preventivo quando em seus artigos 14, 15 e 16 prevê a comunicação entre a autoridade de saúde pública e os responsáveis pelos sistemas e soluções alternativas coletivas:

Art. 14. Os responsáveis pelos sistemas de abastecimento e soluções alternativas coletivas deverão comunicar imediatamente à autoridade de saúde pública e informar, de maneira adequada, à população a detecção de qualquer anomalia operacional no sistema ou não-conformidade na qualidade da água tratada, identificada como de risco à saúde, independentemente da adoção das medidas necessárias para a correção da irregularidade.

Parágrafo único. O alerta à população atingida deve contemplar o período que a água estará imprópria para consumo e trazer informações sobre formas de aproveitamento condicional da água, logo que detectada a ocorrência do problema.

Art. 15. O responsável pelo sistema de abastecimento de água para consumo humano, ao realizar programas de manobras na rede de distribuição, que, excepcionalmente, possam submeter trechos a pressões inferiores à atmosférica, deverá comunicar essa ocorrência à autoridade de saúde pública e à população que for atingida, com antecedência mínima de setenta e duas horas, bem como informar as áreas afetadas e o período de duração da intervenção.

Parágrafo único. A população deverá ser orientada quanto aos cuidados específicos durante o período de intervenção e no retorno do fornecimento de água, de forma a prevenir riscos à saúde.

Art. 16. Os responsáveis pelos sistemas de abastecimento e soluções alternativas coletivas deverão manter mecanismos para recebimento de reclamações referentes à qualidade da água para consumo humano e para adoção das providências pertinentes.

Parágrafo único. O consumidor deverá ser comunicado, formalmente, por meio de correspondência, no prazo máximo de trinta dias, a partir da sua reclamação, sobre as providências adotadas.

Quanto à comunicação em situação de risco à saúde, em função de anomalias operacionais ou não-conformidades na qualidade da água, o prestador do serviço deve, em conjunto com a autoridade de saúde pública municipal, reunir a população-alvo de tais anomalias e transmitir informações quanto ao problema, sua origem, extensão, as ações já tomadas e a serem tomadas para a superação das anomalias, os cuidados que devem ser tomados pelos moradores em relação à ingestão da água distribuída e demais informações pertinentes.

Caberá ao órgão de saúde responsável pela vigilância da qualidade da água para consumo humano:

Art. 17. Compete aos órgãos de saúde responsáveis pela vigilância da qualidade da água para consumo humano:

I - manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível à população e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública;

II - dispor de mecanismos para receber reclamações referentes às características da água, para adoção das providências adequadas;

III - orientar a população sobre os procedimentos em caso de situações de risco à saúde; e

IV - articular com os Conselhos Nacionais, Estaduais, do Distrito Federal, dos Territórios e Municipais de Saúde, Saneamento e Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Comitês de Bacias Hidrográficas e demais entidades representativas da sociedade civil atuantes nestes setores, objetivando apoio na implementação deste Anexo.

§ 1º Os órgãos de saúde deverão assegurar à população o disposto no art. 14 deste Anexo, exigindo maior efetividade, quando necessário, e informar ao consumidor sobre a solução do problema identificado, se houver, no prazo máximo de trinta dias, após o registro da reclamação.

§ 2º No caso de situações de risco à saúde de que trata o inciso III e o § 1º deste artigo, os órgãos de saúde deverão manter entendimentos com o responsável pelo sistema de abastecimento ou por solução alternativa coletiva quanto às orientações que deverão ser prestadas à população por ambas as partes.

Art. 18. Caberão aos Ministérios da Saúde, da Justiça, das Cidades, do Meio Ambiente e às autoridades estaduais, municipais, do Distrito Federal e Territórios, o acompanhamento e a adoção das medidas necessárias para o cumprimento do disposto neste Anexo.



REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

ACRA, A. M. *Captação e aproveitamento de águas pluviais de estradas*. 2ª impr. Campinas, SP: Secretaria Estadual de Agricultura/Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1988. 12 p. (Boletim Técnico, 185).

ALLEN, M. J.; CLANCY, J. L.; RICE, E. W. The plain, hard truth about pathogen monitoring. *Journal of the American Water Works Association*, v. 92, n. 9, p. 64-76, 2000.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20. ed. Washington, DC: APHA/AWWA/WEF, 1998.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). *Water quality & treatment*. Nova York: McGraw-Hill, 1999. 1.232 p.

AMIRTHARAJAH, A.; O'MELIA, C. R. Coagulation processes: destabilization, mixing and flocculation. In: PONTIOUS, F. W. (Ed.). *Water quality and treatment. A handbook of community water supplies*. 4. ed. New York: American Water Works Association/MacGraw Hill, Inc., 1990.

AZEVEDO NETTO et al. *Técnica de abastecimento e tratamento de água*. São Paulo: Cetesb, 1976. 951 p. 1979. v. 2: Tratamento de água.

AZEVEDO, S. M. F. O.; BRANDÃO, C. C. S. *Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano: impactos na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano*. Brasília: Funasa, 2003. 56 p.

BARROS, L. C. *Captação de águas superficiais de chuvas em barraginhas*. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 2).

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; NASCIMENTO, L. E.; CARVALHO, G. R. M.; SILVA, C. V. Coliformes como indicadores da qualidade da água. Alcance e limitações. In: CONGRESSO INTER-AMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000 a (CD-ROM).

BASTOS, R. K. X.; HELLER, L.; VIEIRA, M. B. M.; BRITO, L. A.; BEVILACQUA, P. D.; NASCIMENTO, L. E. *Giardia* sp. cysts and *Cryptosporidium* spp. oocysts dynamics in Southeast Brazil: occurrence in surface water and removal in water treatment processes. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATERBORNE PATHOGENS, 2002, Lisbon. *Proceedings...* Denver, Co: AWWA, 2002.

BELLAMY, W. D.; SILVERMAN, G. P.; HENDRICKS, D. W.; LOGSDON, G. S. Removing *Giardia* cysts with slow sand filtration. *Journal of American Water Works Association*, v. 77, n. 2, p. 52-60, 1985.

CÁRITAS BRASILEIRA. *Água de chuva: o segredo da convivência com o semi-árido brasileiro*. São Paulo: Comissão Pastoral da Terra, FIAN/Brasil, 2001.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS). *Ciclo: Tratamiento, Serie: Filtración rápida. Criterios de selección*. (Programa Regional HPE/OPS/CEPI de Mejoramiento de La Calidad del Agua para Consumo Humano, Manual II.) Lima, Peru: CEPIS, 1992.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS). *Ciclo: Tratamiento, Serie: Filtración rápida. Teoría*. (Programa Regional HPE/OPS/CEPI de Mejoramiento de La Calidad del Agua para Consumo Humano, Manual III). Lima, Peru: CEPIS, 1992.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS). *Ciclo: Tratamiento, Serie: Filtración rápida. Evaluación*. (Programa Regional HPE/OPS/CEPI de Mejoramiento de La Calidad del Agua para Consumo Humano, Manual IV). Lima, Peru: CEPIS, 1992.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS). *Ciclo: Tratamiento, Serie: Filtración rápida. Criterios de diseño*. (Programa Regional HPE/OPS/CEPI de Mejoramiento de La Calidad del Agua para Consumo Humano, Manual V). Lima, Peru: CEPIS, 1992.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. London: E& FN Spon, 1999. 416 p.

CLEASBY, J. L. Filtration. In: PONTIOUS, F. W. (Ed.). *Water quality and treatment. A handbook of community water supplies*. 4. ed. New York: American Water Works Association/MacGraw Hill, Inc., 1990.

_____. Source water quality and pretreatment options for slow filters. In: LOGSDON, G. S. (Ed.). *Slow sand filtration*. ASCE, 1991.

CRAUN, C. F.; CASTRO, R. (Ed.). *La calidad del agua potable en America Latina. Ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de la desinfección química*. Washington, DC: Opas/OMS /ISLI Press, 1996.

CRAUN, G. F.; HUBBS, S. A.; FROST, F. et al. Waterborne outbreaks of cryptosporidiosis. *Journal of American Water Works Association*, v. 90, n. 9, p. 81-91, 1998.

COSTA, S. S. *Indicadores sanitários como sentinelas na promoção da saúde, prevenção e controle de doenças e agravos relacionados ao saneamento: uma experiência a partir do Sistema de Informação de Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano no Brasil – O SISAGUA*. Brasília, 2002. 168 p. (Dissertação de Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília.

COVELLO, V.; MERKHOFFER, M. *Risk assessment methods. Approaches for assessing health and environmental risks*. New York: Plenum Press, 1993. 318 p.

DE ZUANE, John. *Handbook of drinking water quality*. New York: John Wiley & Sons Inc., 1997. 575 p.

DI BERNARDO, L. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. Rio de Janeiro: Abes, 1993. v. 1.

_____. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. Rio de Janeiro: Abes, 1993. v. 2.

DI BERNARDO, L.; VALENZUELA, G. M. R. Pré-filtração em pedregulho e filtração lenta em areia com mantas sintéticas para tratamento de águas de abastecimento. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, XXIII, 2002, Havana, Cuba. *Anais...* La Havana, Cuba: Aidis, 1992.

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

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. *Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água*. São Carlos: RiMa, 2002.

DI BERNARDO, L.; MENDES, C. G. N.; BRANDÃO, C. C. S.; SENS, M.; PÁDUA, V. L. *Tratamento de água para abastecimento por filtração direta*. Rio de Janeiro: Abes-RiMa, 2003 (Projeto PROSAB).

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). *Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano*. Brasília: Ministério da Saúde, 2003.

GARCEZ, L. N. *Hidrologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1967. 249 p.

HADDAD FILHO, E.; REGINA, S. M. *A eficiência potencial de processos convencionais e especiais de tratamento de água para a remoção de parâmetros ligados à agricultura*. Belo Horizonte: Epamig, 1993. 36 p. (Boletim Técnico 41).

IVES, K. J. Rapid filtration. *Water Research*. v. 4, p. 201-223, 1970.

KAWAMURA, S. *Integrated design of water treatment facilities*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1991. 658 p.

KNUDTSON, M. L.; HARTMAN, P. A. Routine procedures for isolation and identification of enterococci and streptococci. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 58, n. 9, p. 3027-3031, 1992.

LETTERMAN, R. D. Operation and maintenance. In: LOGSDON, G. S. (Ed.). *Slow sand filtration*. ASCE, EUA. 1991.

LINSLEY, R. K; FRANZINI, J. B. *Engenharia de recursos hídricos*. São Paulo: McGraw-Hill/Edusp. 1978. 798 p.

LOEWENTHAL, R. E. et al. *Stasoft – an interactive computer program for softening and stabilization of municipal waters*. Pretoria: Water Research Commission, 1988. 47 p.

LOEWENTHAL, R. E. et al. *Softening and stabilization of municipal waters*. Pretoria: Water Research Commission, 1986. 178 p.

MOUCHET, P.; BONNÉLYE, V. *Solving algae problems: French expertise and world-wide applications*. J. Water SRT – Aqua. 47(3): 125-141, 1998.

OLIVEIRA, W. E. et al. *Técnica de abastecimento e tratamento de água*. São Paulo: Cetesb, 1976. 549 p. v. 1: Abastecimento de água.

OLIVEIRA, M. R. Q. et al. *A história da fluoretação das águas de abastecimento público no Brasil: o caso do Distrito Federal*. Monografia da Faculdade de Ciências da Saúde, UnB, 1997.

O'MELIA, C. R. Particles, pretreatment, and performance in water filtration. *Journal of Environmental Engineering*, v. 111, n. 6, p. 874 - 890, 1985.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Guías para la calidad del agua potable*. 2. ed. Genebra: OMS, 1995. 195 p. v. 1: Recomendaciones.

ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DA SAÚDE (OPAS). *A desinfecção da água*. Washington, DC: Opas, 1999 (Opas/HE/99/38).

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). *Águas doces no Brasil*. São Paulo: Escrituras, 1999. 717 p.

REIFF, F. M.; WITT, V. M. *Manual de desinfección. Guías para la selección y aplicación de las tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y El caribe*. Washington, DC.: OPS/OMS, 1995. 227 p. (División de Salud y Ambiente. Serie Técnica, 30).

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. *Tratamento de água. Tecnologia atualizada*. São Paulo: Edgard Blücher, 1991. 332 p.

ROSE, J. B.; DARBIN, H.; GERBA, C. P. Correlations of the protozoa *Cryptosporidium* and *Giardia* with water quality variables in a watershed. *Water Science Technology*, v. 20, n. 11-12, p. 271-277, 1988.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. *Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgotos e água de reúso*. São Paulo: Abes, 2001.

SOBSEY, M. D. Inactivation of health-related microorganisms in water by disinfection processes. *Water Science and Technology*, v. 21, n. 3, p. 179-195, 1989.

TIMMS, S.; SLADE, J. S.; FRICKER, C. R. Removal of *Cryptosporidium* by slow sand filtration. *Water Science and Technology*, v. 3, n. 5-6, p. 81-84, 1995.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements for public systems using surface water sources*. Science and Technology Branch. Criteria and Standards Division. Office of Drinking Water. Washington-DC: EPA, 1991.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Giardia human health criteria document*. Washington-DC: EPA, 1998 (EPA-823-R-099-002).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Drinking water criteria for viruses: an addendum*. Final draft. Washington-DC: EPA, 1999 (EPA-822-R-98-042).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *National primary drinking water regulations. Long Term 1-Enhanced Surface Water Treatment and Filter Backwash Rule; Proposed Rule. Part II* (40 CFR, Parts 141, and 142). Washington, DC: Federal Register, Rules and Regulations. Federal Register/Vol. 65, n. 69/Monday, April 10, 2000/Proposed Rules, p. 19046-19150.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Drinking water standards and health advisories*. Washington-DC: EPA, 2000 (EPA-822-B-00-001).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *National primary drinking water regulations*. Washington-DC: EPA, 2001 (EPA-816-F-01-007). Disponível em <http://www.epa.gov/safewater>.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Cryptosporidium human health criteria document*. Washington-DC: EPA, 2001 (EPA-822-K-094-001).

VIANNA; M. R. *Hidráulica aplicada ao tratamento de água*. Belo Horizonte: Imprimatur, 1997.

WORLDWATCH INSTITUTE. *Estado do Mundo*. Salvador: UMA Editora, 1999. 261 p.



APÊNDICE

MÉTODOS ANALÍTICOS RECOMENDADOS
PELO STANDARD METHODS FOR WORLD
WATER ASSOCIATION RESEARCHERS
PARA PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Tabela I
Métodos analíticos para substâncias químicas que representam
risco à saúde

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ¹	MÉTODOS RECOMENDADOS PRINCÍPIO ANALÍTICO	NÚMERO DO MÉTODO NO SM
INORGÂNICAS				
Antimônio	mg/L	0,005	Espectrofotometria de absorção atômica com vaporização eletrotérmica; Espectrometria de massa com plasma induzido, ICP-MS.	3500-Sb
Arsênio	mg/L	0,01	Espectrofotometria de absorção atômica com vaporização eletrotérmica; Espectrofotometria de absorção atômica com geração de hidretos; Espectrometria de massa com plasma induzido, ICP-MS; Método colorimétrico, baseado na reação da arsina (AsH ₃ – arsina é gerada a partir da reação do arsênio, na forma de arsenito e arsenato, com o hidreto de sódio e boro) com o dietilditiocarbamato de prata.	3500-As (A e B)
Bário	mg/L	0,7	Espectrofotometria de absorção atômica de chama ou de vaporização eletrotérmica; Espectrometria de plasma indutivamente acoplado – ICP (ICP-AES ou ICP-MS).	3500-Ba
Cádmio	mg/L	0,005	A espectrofotometria de absorção atômica de vaporização eletrotérmica é o método mais recomendado. A espectrofotometria de absorção atômica de chama, a espectrometria de plasma indutivamente acoplado – ICP e o método colorimétrico da “dithizone” podem ser utilizados em situações específicas.	3500-Cd
Cianeto	mg/L	0,07	Método colorimétrico; Método potenciométrico com eletrodo seletivo para esse íon. Em ambos os casos, o método de determinação deve ser precedido de cuidadoso preparo da amostra com vistas à eliminação/minimização de impurezas e procedimento de destilação.	4500-CN (B, C, E e F)
Chumbo	mg/L	0,01	Espectrofotometria de absorção atômica de chama ou de vaporização eletrotérmica; Espectrometria de plasma indutivamente acoplado – ICP (ICP-AES ou ICP-MS); Método colorimétrico da “dithizone”.	3500-Pb
Cobre	mg/L	2	Espectrofotometria de absorção atômica de chama ou de vaporização eletrotérmica; Métodos colorimétrico “bathocuproine”; Método colorimétrico “neocuproine”.	3500-Cu
Cromo	mg/L	0,05	Espectrofotometria de absorção atômica de chama ou de vaporização eletrotérmica; Espectrometria de plasma indutivamente acoplado – ICP (ICP-AES ou ICP-MS); Método colorimétrico. Para determinação de cromo total pelo método colorimétrico, faz-se necessária oxidação para promover a conversão de todas as espécies de cromo para cromo hexavalente.	3500-Cr (A e B)

Continua...

Continuação

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ¹	MÉTODOS RECOMENDADOS PRINCÍPIO ANALÍTICO	NÚMERO DO MÉTODO NO SM
INORGÂNICAS				
Fluoreto (2)	mg/L	1,5	Potenciométrico com eletrodo seletivo para esse íon; Método colorimétrico SPADNS; O método colorimétrico "Cloplexome" (automatizado e exige equipamento específico). Os métodos colorimétricos envolvem etapa de destilação prévia.	4500-F ⁻
Mercúrio	mg/L	0,001	A espectrofotometria de absorção atômica de geração de vapor-frio é o método de determinação recomendado.	3500-Hg
Nitrato (como N)	mg/L	10	Método colorimétricos da redução por cádmio (realizado com ou sem auxílio de equipamento específico para automatização do método); Método colorimétrico automatizado da redução com hidrazina; Método potenciométrico com eletrodo de íon específico para nitrato.	4500-NO ₃
Nitrito (como N)	mg/L	1	Método colorimétrico (reação com sulfanilamida em meio ácido).	4500-NO ₂
Selênio	mg/L	0,01	A espectrofotometria de absorção atômica de vaporização eletrotérmica ou de geração de vapor-frio; Método colorimétrico (derivatização).	3500-Se (A, B e C)
ORGÂNICAS				
Acrilamida	µg/L	0,5	CG/MS precedido de extração em fase gasosa ("Purge & Trap") ou CG utilizando detector de fotoionização e detector de condutividade eletrolítica em série.	6200-B,C (LD 0,036 µg/L)
Benzeno	µg/L	5		
Benzo[a]pireno	µg/L	0,7	CG/MS precedido de extração em fase líquida. Extração em fase líquida seguido de análise em HPLC utilizando detector UV ou de fluorescência (LD 0,023 µg/L) ou, opcionalmente, análise em CG utilizando detector de ionização de chama.	6410-B* 6440-B
Cloreto de Vinila	µg/L	5	CG/MS precedido de extração em fase gasosa ("Purge & Trap") ou CG utilizando detector de fotoionização e detector de condutividade eletrolítica em série.	6200-B,C (LD 0,120 µg/L)
1,2 Dicloroetano	µg/L	10		6200-B,C (LD 0,055 µg/L)
1,1 Dicloroeteno	µg/L	30		6200-B,C (LD 0,130 µg/L)
Diclorometano	µg/L	20		6200-B,C (LD 0,099 µg/L)
Estireno	µg/L	20		6200-B,C (LD 0,031 µg/L)
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	2		6200-B,C (LD 0,042 µg/L)
Tetracloroeteno	µg/L	40	Extração em fase gasosa (<i>closed-loop stripping</i>) seguida de análise em CG/MS ou, alternativamente, CG com detector de ionização de chama. CG/MS precedido de extração em fase gasosa ("Purge & Trap") ou CG utilizando detector de fotoionização e detector de condutividade eletrolítica em série.	6040-B (LD 0,100 µg/L) 6200-B,C (LD 0,047 µg/L)

Continua...

Continuação

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ¹	MÉTODOS RECOMENDADOS PRINCÍPIO ANALÍTICO	NÚMERO DO MÉTODO NO SM
INORGÂNICAS				
Triclorobenzenos	µg/L	20	Extração em fase gasosa (<i>closed-loop stripping</i>) seguido de análise em CG/MS ou, alternativamente, CG com detector de ionização de chama. CG/MS precedido de extração em fase gasosa ("Purge & Trap") ou CG utilizando detector de fotoionização e detector de condutividade eletrolítica em série. CG/MS precedido de extração em fase líquida.	6040-B (LD < 0,010 µg/L) 6200-B,C (LD 0,047 µg/L) 6410-B*
Tricloroeteno	µg/L	70	Extração em fase gasosa (<i>closed-loop stripping</i>) seguida de análise em CG/MS ou, alternativamente, CG com detector de ionização de chama. CG/MS precedido de extração em fase gasosa ("Purge & Trap") ou CG utilizando detector de fotoionização e detector de condutividade eletrolítica em série.	6040-B (LD 0,100 µg/L) 6200-B,C (LD 0,045 µg/L)
AGROTÓXICOS				
Alaclor	µg/L	20,0		
Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03	CG/MS precedido de extração em fase líquida. CG com utilização de detector de captura de elétrons, precedido de extração em fase líquida.	6410-B* 6630-B,C **
Atrazina	µg/L	2		
Bentazona	µg/L	300	Extração em fase líquida (micro) e análise em CG dotado de detector de captura de elétrons.	6640-B (LD 0,010 µg/L)
Clordano (isômeros)	µg/L	0,2	CG/MS precedido de extração em fase líquida. CG com utilização de detector de captura de elétrons, precedido de extração em fase líquida.	6410-B* 6630-B,C**
2,4 D	µg/L	30	Extração em fase gasosa (<i>closed-loop stripping</i>) seguido de análise em CG/MS ou, alternativamente, CG com detector de ionização de chama.	6640-B (LD 0,100 µg/L)
DDT (isômeros)	µg/L	2	CG/MS precedido de extração em fase líquida. CG com utilização de detector de captura de elétrons, precedido de extração em fase líquida.	6410-B* 6630-B,C**
Endossulfan	µg/L	20		6410-B* 6630-B,C**
Endrin	µg/L	0,6		6410-B* 6630-B,C**
Glifosato	µg/L	500	HPLC dotado de detector de fluorescência e reator de derivatização pós-coluna.	6651-B (LD 25 µg/L)
Heptacloro e Heptacloro epóxido	µg/L	0,03	CG/MS precedido de extração em fase líquida. CG com utilização de detector de captura de elétrons, precedido de extração em fase líquida.	6410-B* 6630-B,C**
Hexaclorobenzeno	µg/L	1	Extração em fase gasosa (<i>closed-loop stripping</i>) seguido de análise em CG/MS ou, alternativamente, CG com detector de ionização de chama. CG/MS precedido de extração em fase líquida.	6040-B 6410-B *

Continua...

Continuação

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ¹	MÉTODOS RECOMENDADOS PRINCÍPIO ANALÍTICO	NÚMERO DO MÉTODO NO SM
INORGÂNICAS				
Lindano (γ -BHC)	$\mu\text{g/L}$	2	CG com utilização de detector de captura de elétrons, precedido de extração em fase líquida.	6630-B **
Metolacoloro	$\mu\text{g/L}$	10		
Metoxicloro	$\mu\text{g/L}$	20	CG com utilização de detector de captura de elétrons, precedido de extração em fase líquida.	6630-B **
Molinato	$\mu\text{g/L}$	6		
Pendimetalina	$\mu\text{g/L}$	20		
Pentaclorofenol	$\mu\text{g/L}$	9	CG/MS precedido de extração em fase líquida. Extração em fase líquida e análise em CG dotado de detector de ionização de chama, seguida de derivatização e análise em CG dotado de detector de captura de elétrons. Extração em fase líquida (micro) e análise em CG dotado de detector de captura de elétrons.	6410-B * 6420-B 6640-B (LD 0,020 $\mu\text{g/L}$)
Permetrina	$\mu\text{g/L}$	20		
Propanil	$\mu\text{g/L}$	20		
Simazina	$\mu\text{g/L}$	2		
Trifluralina	$\mu\text{g/L}$	20	CG com utilização de detector de captura de elétrons, precedido de extração em fase líquida.	6630-B **
CIANOTOXINAS				
Microcistinas (3)	$\mu\text{g/L}$	1,0	Extração/concentração em fase sólida (cartuchos C-18) seguido de eluição da microcistina adsorvida à fase sólida e evaporação do solvente utilizado. O material seco é resuspendido em metanol e pode ser analisado em HPLC dotado de detector UV. O material seco pode ser guardado em freezer e resuspendido no momento da análise. O limite de detecção usual para esse método é de 1 $\mu\text{g/L}$. O imunoensaio tipo ELISA (Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay) pode ser usado para detecção de microcistina em água sem a necessidade de proceder-se à concentração da amostra. Existem kits comerciais disponíveis para análise de microcistina, apresentando um limite de detecção de 16 ppb.	Chorus e Bartram (1999)
DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO				
Bromato	mg/L	0,025		
Clorito	mg/L	0,2	Alguns métodos usados para detecção de dióxido de cloro permitem a detecção de clorito, são eles: Métodos amperométricos I e II e DPD (titulométrico e colorimétrico).	4500-ClO ₂ C,D,E
Cloro livre	mg/L	5	Titulação amperométrica (2); DPD titulométrico; DPD colorimétrico; "syringaldazine" colorimétrico.	4500-Cl- D,E,F,G,H

Continua...

Continuação

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ¹	MÉTODOS RECOMENDADOS PRINCÍPIO ANALÍTICO	NÚMERO DO MÉTODO NO SM
INORGÂNICAS				
Monocloramina	mg/L	3	Alguns métodos usados para detecção de cloro total permitem a determinação específica da monocloroamina, são eles: titulação amperométrica; DPD titulométrico; DPD colorimétrico.	4500-Cl-D,F,G
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,2	Extração em fase líquida (micro) e análise em CG dotado de detector de captura de elétrons. Coluna analítica e de confirmação podem ser usadas em paralelo ou uma após a outra. CG/MS precedido de extração em fase líquida. Extração em fase líquida e análise em CG dotado de detector de ionização de chama, seguida de derivatização e análise em CG dotado de detector de captura de elétrons.	6251 (LD 0,034 µg/L) 6410-B* 6420-B
Trihalometanos Total	mg/L	0,1	Extração em fase líquida e análise em CG dotado de detector de captura de elétrons. Extração em fase gasosa ("Purge & Trap") e análise em CG/MS ou CG.	6232-B,C,D (LD 0,100 a 200 µg/L)

* O método 6410-B geralmente apresenta menor sensibilidade do que os outros métodos indicados para o mesmo composto.

** O limite de detecção dos métodos 6630-B e 6630-C depende da sensibilidade do detector, da eficiência dos procedimentos de extração, limpeza e concentração, além da relação sinal/ruído. O método 6630-C permite o uso de outra coluna para confirmação de resultados.

Tabela II

Métodos analíticos para os parâmetros relacionados ao padrão de aceitação para consumo humano

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ¹	MÉTODOS RECOMENDADOS PRINCÍPIO ANALÍTICO	NÚMERO DO MÉTODO NO SM
Alumínio	mg/L	0,2	Espectrofotometria de absorção atômica (de chama, vaporização eletrotérmica, geração de hidreto, geração de vapor frio); Espectrometria de plasma indutivamente acoplado – ICP (espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma, ICP-AES e espectrometria de massa com fonte de plasma, ICP-MS); método colorimétrico do "Eriochrome Cyanine R"	3500-Al
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,5	Método potenciométrico com eletrodo seletivo para esse íon; método colorimétrico do fenato, com ou sem automatização.	4500-NH ₃ D,E,F, G e H

Continua...

Continuação

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ¹	MÉTODOS RECOMENDADOS PRINCÍPIO ANALÍTICO	NÚMERO DO MÉTODO NO SM
Cloreto	mg/L	250	Método argentométrico (titulação); Método do Nitrato Mercúrico (titulação); Método da Titulação Potenciométrica; Método colorimétrico do cianeto férrico; Cromatografia Iônica.	4500-Cl ⁻ B,C,D,E 4110
Cor Aparente	uH ²	15	Comparação visual com padrões Pt-Co.	2120 B
Dureza	mg/L	500	Calculada a partir da determinação de Ca ²⁺ e Mg ²⁺ ; Titulação com EDTA	2340
Etilbenzeno	mg/L	0,2	Extração em fase gasosa (<i>closed-loop stripping</i>) seguido de análise em CG/MS ou, alternativamente, CG com detector de ionização de chama. CG/MS precedido de extração em fase gasosa ("Purge & Trap") ou CG utilizando detector de fotoionização e detector de condutividade eletrolítica em série.	6040 B (LD 0,050 µg/L) 6200 B,C (LD 0,052 µg/L)
Ferro	mg/L	0,3	Espectrofotometria de absorção atômica; Espectrometria de plasma indutivamente acoplado - ICP ; Método colorimétrico da fenantrolina.	3500-Fe
Manganês	mg/L	0,1	Espectrofotometria de absorção atômica; Espectrometria de plasma indutivamente acoplado - ICP ; Método colorimétrico do persulfato (usando cubeta de 5 cm de caminho ótico).	3500-Mn
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12	Extração em fase gasosa (<i>closed-loop stripping</i>) seguida de análise em CG/MS ou, alternativamente, CG com detector de ionização de chama. CG/MS precedido de extração em fase gasosa ("Purge & Trap") ou CG utilizando detector de fotoionização e detector de condutividade eletrolítica em série.	6040 B (LD 0,010 µg/L) 6200 B,C
Odor	-	NO ³		
Gosto	-	NO ³		
Sódio	mg/L	200	Espectrofotometria de absorção atômica de chama; Espectrometria de plasma indutivamente acoplado – ICP; Fotometria de emissão de chama.	3500-Na
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000	Método gravimétrico com secagem a 180 °C.	2540 C
Sulfato	mg/L	250	Cromatografia iônica; Métodos gravimétricos; Método turbidimétrico; Método automatizado de azul de metiltymol.	4500-SO ₄ ²⁻ 4110

Continua...

Continuação

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ¹	MÉTODOS RECOMENDADOS PRINCÍPIO ANALÍTICO	NÚMERO DO MÉTODO NO SM
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05	Sulfeto de hidrogênio pode ser calculado a partir da medida de sulfeto total dissolvido, do pH da amostra e da constante de ionização do sulfeto de hidrogênio. O sulfeto em concentrações baixas, por sua vez, pode ser determinado por meio de eletrodo seletivo para esse íon ou pelo método automatizado da diálise gasosa-azul de metileno.	4500-S ²⁻
Surfactantes	mg/L	0,5	O surfactante é separado da água por <i>sublation</i> e em seguida as frações aniônicas e não iônicas são determinadas por métodos de extração e quantificadas por métodos colorimétricos específicos.	5540 (LD 0,047 µg/L)
Tolueno	mg/L	0,17	CG/MS precedido de extração em fase gasosa ("Purge & Trap") ou CG utilizando detector de fotoionização e detector de condutividade eletrolítica em série.	6200 B,C
Turbidez	UT ⁽⁴⁾	5	Método nefelométrico.	2130
Zinco	mg/L	5	Espectrofotometria de absorção atômica; Espectrometria de plasma indutivamente acoplado – ICP; Método colorimétrico "zincon".	3500-Zn
Xileno	mg/L	0,3	Extração em fase gasosa (<i>closed-loop stripping</i>) seguida de análise em CG/MS ou, alternativamente, CG com detector de ionização de chama. CG/MS precedido de extração em fase gasosa ("Purge & Trap") ou CG utilizando detector de fotoionização e detector de condutividade eletrolítica em série.	6040 B (LD < 0,100 µg/L m, p-xileno e o-xileno) 6200 B,C (LD 0,038 µg/L m, p-xileno e oxileno)

¹ Valor Máximo Permitido.² Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).³ Não Objetável – critério de referência.⁴ Unidade de Turbidez.



www.saude.gov.br/svs

www.saude.gov.br/bvs

disque-saúde
0800.61.1997

Secretaria de
Vigilância em Saúde

Ministério
da Saúde

