MINISTÉRIO DA SAÚDE

CURSO BÁSICO DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

MÓDULO II: ABASTECIMENTO DE ÁGUA

AULA 2: ETAPAS DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA

2ª edição

DISTRIBUIÇÃO GRATUITA
VENDA PROIBIDA

Brasília – DF
2025

MINISTÉRIO DA SAÚDE
Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente
Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental
e Saúde do Trabalhador

CURSO BÁSICO DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

MÓDULO II: ABASTECIMENTO DE ÁGUA

AULA 2: ETAPAS DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA

2ª edição

Brasília – DF
2025

DISTRIBUIÇÃO GRATUITA
VENDA PROIBIDA

2020 Ministério da Saúde.

Esta obra é disponibilizada nos termos da Licença Creative Commons – Atribuição – Não Comercial – Sem Derivações 4.0 Internacional. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte.
A coleção institucional do Ministério da Saúde pode ser acessada, na íntegra, na Biblioteca Virtual em Saúde do Ministério da Saúde: bvsms.saude.gov.br.

2ª edição – 2025 – versão eletrônica

Elaboração, distribuição e informações:
MINISTÉRIO DA SAÚDE
Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente
Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental
e Saúde do Trabalhador
Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental
SRTVN, Quadra 701, lote D, Edifício PO700, 6º andar
CEP: 70719-040 – Brasília/DF
Site: www.saude.gov.br/svs
E-mail: cgvam@saude.gov.br

Ministro da Saúde:
Alexandre Rocha Santos Padilha

Secretária de Vigilância em Saúde e Ambiente:
Mariângela Batista Galvão Simão

Edição-geral:
Agnes Soares da Silva – DVSAT/SVSA/MS
Eliane Ignotti – CGVAM/DVSAT/SVSA

Elaboração:
Demetrius Brito Viana – CGVAM/SVSA
Tiago de Brito Magalhães – CGVAM/SVSA

Organização:
Carolina Ventura da Silva – CGVAM/DVSAT/SVSA
Darwin Renne Florencio Cardoso – DVSAT/SVSA
Fernanda Barbosa de Queiroz – CGVAM/DVSAT/SVSA

Colaboração:
Adriana Rodrigues Cabral – CGVAM/SVSA
Aristeu de Oliveira Júnior – CGVAM/SVSA
Camila Vicente Bonfim – CGVAM/SVSA
Daniela Buosi Rohlfs – DVSAT/SVSA
Fernanda Barbosa de Queiroz – CGVAM/SVSA
Jamyle Calencio Grigoletto – CGVAM/SVSA
Luiz Felipe Lomanto Santa Cruz – CGVAM/SVSA
Magda Machado Saraiva Duarte – CGVAM/SVSA
Pedro Henrique Cabral de Melo – CGVAM/SVSA
Renan Neves da Mata – CGVAM/SVSA
Rosane Cristina de Andrade – CGVAM/SVSA
Thais Araújo Cavendish – CGVAM/SVSA

Revisão técnica:
Demetrius Brito Viana – CGVAM/SVSA
Adriana Rodrigues Cabral – CGVAM/SVSA
Jaqueline Francischetti – CGVAM/SVSA
Thaís Uchôa de Assunção Schilling – CGVAM/SVSA
Tiago de Brito Magalhães – CGVAM/SVSA
Fernanda Barbosa de Queiroz – CGVAM/SVSA
Carolina Ventura da Silva – CGVAM/SVSA

Fotografias:
Acervo Mapear Geosoluções
Acervo PNSR
Breno Verly.Rosa
Demetrius Brito Viana
Luiz Felipe Lomanto Santa Cruz
Nathalia Ronald de Souza Ribeiro
Sandra Maria Feliciano de Oliveira e Azevedo

Projeto gráfico:
Milena Hernández Bendicho – GAB/SVSA

Diagramação:
Sabrina Lopes – CGEVSA/Daevs/SVSA

Revisão textual:
Tatiane Souza – CGEVSA/Daevs/SVSA

Normalização:
Delano de Aquino Silva – Editora MS/CGDI

Ficha Catalográfica

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador.
Curso básico de vigilância da qualidade da água para consumo humano : módulo II : abastecimento de água : aula 2 : etapas do abastecimento de água [recurso eletrônico] / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. – 2. ed. – Brasília : Ministério da Saúde, 2025.
45 p. : il.

Modo de acesso: World Wide Web: bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/curso_basico_vigilancia_qualidade_agua_modulo_II_aula_2_2ed.pdf.
ISBN 978-65-5993-897-1

1. Abastecimento de água. 2. Tratamento de água. 3. Água para consumo humano. I. Título.

CDU 37.017.4:628.15

Coordenação-Geral de Documentação e Informação – Editora MS – OS 2025/0193

Título para indexação:
Basic course on drinking water quality surveillance: module II: water supply: lesson 2: steps in drinking water supply

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 5

1 INTRODUÇÃO 6

2 CICLO HIDROLÓGICO E MANANCIAIS 7

2.1 Manancial superficial 9

2.2 Manancial subterrâneo 9

2.3 Água de chuva 10

3 CAPTAÇÃO 11

3.1 Captação superficial 12

3.2 Captação subterrânea 16

3.3 Captação de água de chuva 18

4 ADUÇÃO 19

5 ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS 21

6 TRATAMENTO 22

6.1 Clarificação 25

6.1.1 Coagulação e mistura rápida 25

6.1.2 Floculação 26

6.1.3 Decantação 28

6.1.4 Flotação 29

6.1.5 Filtração 30

6.2 Desinfecção 32

6.3 Técnicas de tratamento da água 33

6.3.1 Filtração lenta e filtração em múltiplas etapas 34

6.3.2 Filtração direta 35

6.3.3 Tratamento simplificado 37
6.3.4 Tratamento convencional 37
6.4 Tratamento avançado 38
6.5 Fluoretação 40
6.6 Distribuição 40
6.6.1 Sistema de distribuição – SAA 40
6.6.2 Tipos de suprimento – SAC 42
6.6.3 Carro-pipa 42
REFERÊNCIAS 43

APRESENTAÇÃO

Este curso é uma iniciativa do Ministério da Saúde e tem como objetivo a qualificação dos técnicos responsáveis pelo desenvolvimento das ações básicas de vigilância da qualidade da água para consumo humano nos estados e municípios. O conteúdo é dividido em módulos que abordam conceitos, definições e normas legais relacionadas à temática, além de assuntos práticos como identificação das formas de abastecimento de água, interpretação de resultados de análises de qualidade da água, fluxo de coleta de dados etc.

Esta aula tem como objetivo apresentar, com mais detalhes, a composição dos sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água, de modo que se possa adquirir um conhecimento teórico sobre as etapas que compõem as formas de abastecimento, inclusive as etapas de tratamento da água para consumo humano.

BONS ESTUDOS!

1 INTRODUÇÃO

As formas de abastecimento de água para consumo humano definidas na legislação brasileira podem ser compostas por grande variedade e combinações de etapas, com o propósito de fornecer água à população em conformidade com o padrão de potabilidade. Não existe, portanto, uma sequência rígida de etapas ou processos que possam caracterizar um Sistema de Abastecimento de Água (SAA), Solução Alternativa Coletiva (SAC) ou Solução Alternativa Individual (SAI). Ou seja, apesar de todas as formas de abastecimento possuírem captação de água, nem todo SAA tem a etapa de filtração, nem toda SAC tem a etapa de floculação etc. Dessa forma, a definição destas etapas ficará condicionada à qualidade da água bruta do manancial, seja ele superficial ou subterrâneo.

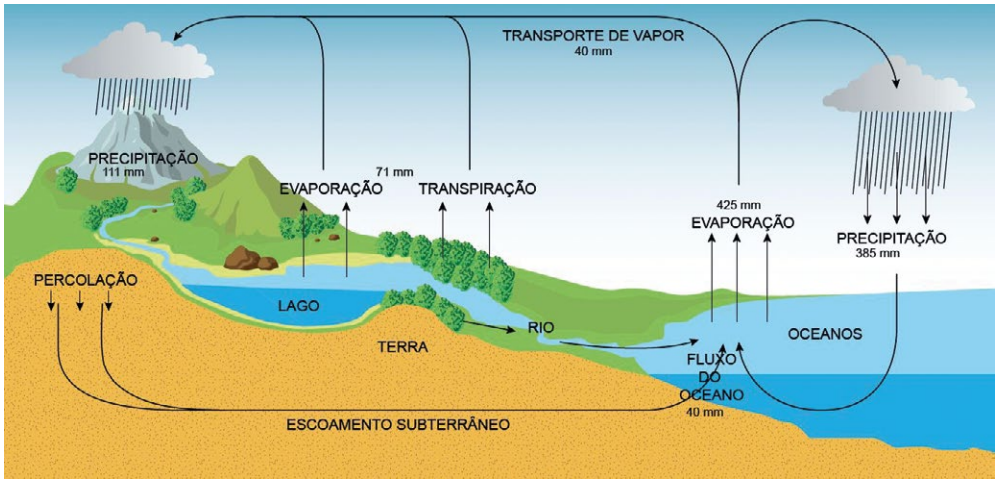
A seguir, serão apresentadas as principais etapas que podem compor as formas de abastecimento de água definidas no Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 5, de 5 de janeiro de 2017 (Brasil, 2017), principalmente com base nos textos de Brasil (2006), Heller e Pádua (2010) e Tsutiya (2006). Neste documento, será feita referência ao Anexo XX da Portaria de Consolidação n.º 5/2017 como a versão atual da norma, tendo em vista que este é apenas alterado pelas Portarias GM/MS n.º 888, de 4 de maio de 2021, e 2.472, de 28 de setembro de 2021, e, portanto, permanece vigente.

2

CICLO HIDROLÓGICO E MANANCIAIS

Antes de abordar a definição dos mananciais, há de se entender um pouco sobre o ciclo hidrológico, que explica o caminho que a água percorre na superfície terrestre e abaixo dela, entre os diversos reservatórios dos oceanos, da atmosfera e dos continentes. Este movimento cíclico da água ocorre do oceano para atmosfera pela evaporação, de volta para a superfície por meio da chuva e, então, para mananciais superficiais (por exemplo, rios e lagos) e mananciais subterrâneos (lençol freático e/ou artesiano) por meio de escoamento superficial e ou infiltração, retornando posteriormente aos oceanos. O Ciclo Hidrológico é representado pelo contínuo caminho da água no planeta que pode ser resumido em precipitação, escoamento superficial, percolação/infiltração, evaporação, transpiração e evapotranspiração, conforme ilustrado na Figura 1 e descrito a seguir (Von Sperling, 2005).

Figura 1 – Ciclo Hidrológico



Fonte: Funasa, (2015).

- **Precipitação**: toda a água que cai da atmosfera na superfície da Terra, nas formas de chuva, neve, granizo e orvalho.
- **Escoamento superficial**: quando a água que precipita atinge o solo e escorre pela superfície. O escoamento superficial é responsável pela formação de córregos, lagos e rios, chegando ao mar. Cessada a chuva, cessa também o escoamento superficial resultante. No entanto, o mesmo não ocorre em lagos e cursos-d'água perenes, pois estes são abastecidos pelos mananciais subterrâneos, permanecendo o escoamento após a chuva.
- **Percolação/Infiltração**: parte da água que, quando chega ao solo, infiltra-se, formando os lençóis-d'água subterrâneos (mananciais subterrâneos).
- **Evaporação**: transferência da água do estado líquido para o gasoso (vapor, formação de nuvens).
- **Transpiração**: é a perda de água na forma de vapor pelas plantas, predominantemente através das folhas. As plantas retiram a água do solo pelas raízes e parte dela é transferida para as folhas que, de forma "semelhante" ao homem, perdem a água por transpiração.
- **Evapotranspiração**: é o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas.

Esses processos são determinantes para a formação dos mananciais, para a qualidade da água bruta, para o tipo de tratamento a ser aplicado para o uso dessa água para consumo humano e para a viabilidade de atendimento do padrão de potabilidade, tema que será abordado com mais detalhes no Módulo III, aula 1.

Manancial de abastecimento público é a fonte de água doce superficial ou subterrânea utilizada para consumo humano ou desenvolvimento de atividades econômicas. Esses mananciais podem ser classificados segundo a fonte ou a origem da água, podendo ser de três tipos (Brasil, 2006):

- **Manancial superficial**: são os córregos, ribeirões, rios ou lagos, isto é, corpos hídricos formados pela água que escorre sobre a superfície do solo.
- **Manancial subterrâneo**: formado pela água que se infiltra e se movimenta abaixo da superfície do solo e que se manifesta através de nascentes, poços rasos, poços profundos, drenos etc. Pode pertencer ao lençol não confinado (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 esta superfície, durante as chuvas.

2.1 Manancial superficial

Mananciais superficiais são tipicamente representados pelos rios, córregos, represas ou lagos, e sua formação está associada ao escoamento superficial da água, seja da chuva ou de afloramentos de fontes subterrâneas ou até mesmo do degelo da neve do cume de montanhas.

Devido à sua exposição, águas superficiais podem ser mais facilmente contaminadas por materiais grosseiros, lançamento de esgotos, derramamento de substâncias químicas, além de apresentar características muito variáveis durante o ano, principalmente quando possuem as margens mal protegidas. Por isso, sua utilização requer quase sempre maior grau de tratamento e, conforme já mencionado, águas superficiais devem no mínimo ser submetidas ao tratamento por filtração e posteriormente desinfecção.

Geralmente os cursos de água lênticos, com baixa velocidade de escoamento, ou estáticos (lagos e lagoas) fornecem água de melhor qualidade do que cursos lóticos (rios), uma vez que essa característica favorece à sedimentação dos sólidos em suspensão. No entanto, chuvas fortes podem provocar a ressuspensão desses sedimentos, interferindo na qualidade da água.

Mananciais próximos, capazes de atender à demanda, com água de melhor qualidade e menos vulneráveis, são ideais para a utilização na captação.

Saiba mais sobre as classes de águas superficiais

A Resolução Conama n.º 357, de 17 de março de 2005 (Brasil, 2005), alterada pela Resolução n.º 410, de 4 de maio de 2009 (Brasil, 2009), e pela n.º 430, de 13 de maio de 2011 (Brasil, 2011), dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

De acordo com a Resolução Conama n.º 357/2005, as águas doces devem ser enquadradas em diferentes classes de acordo com o uso preponderante pretendido.

2.2 Manancial subterrâneo

Mananciais subterrâneos são tipicamente representados por lençóis freáticos e artesianos. O lençol não confinado ou freático é aquele no qual a água mantém a pressão atmosférica, e o lençol confinado é aquele no qual a água está entre camadas impermeáveis do subsolo, sob pressão.

A qualidade da água subterrânea vai ser definida pelas características do solo e das rochas com os quais ela tem contato. Assim, não são raros os casos em que águas apresentam elevadas concentrações de sais e outros constituintes do solo, o que exige tratamentos mais complexos.

Durante a infiltração, grande parte dos sólidos presentes na água são retidos por meio do contato com os poros do solo e das rochas, processo semelhante ao que ocorre na etapa de filtração durante o tratamento da água, proporcionando um processo de depuração natural dela. Além disso, o solo, principalmente suas camadas impermeáveis, dificulta a contaminação da água.

A principal vantagem da utilização de mananciais subterrâneos para o abastecimento de água diz respeito ao tratamento mínimo necessário, requerendo muitas vezes apenas a etapa de desinfecção.

Por outro lado, em virtude de as vazões disponíveis/autorizadas serem limitadas, o abastecimento com água subterrânea é utilizado majoritariamente em comunidades de porte reduzido ou de forma combinada com água superficial.

Saiba mais sobre as classes de águas subterrâneas

A Resolução Conama n.º 396/2008 (Brasil, 2008) dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, inclusive sobre sua possibilidade de uso para consumo humano.

2.3 Água de chuva

Ao precipitar na forma de chuva, neve, granizo e orvalho, a água pode ser aproveitada para o consumo humano.

No caso da chuva, destaca-se que a qualidade da água pode ser influenciada pelas condições atmosféricas, no entanto, esse é um problema mais característico de áreas urbanas (chuva ácida), sendo menos comum em áreas rurais. Geralmente, os principais riscos de contaminação são decorrentes da superfície de captação, do armazenamento e do manejo.

Saiba mais sobre a escolha dos mananciais para abastecimento de água

A escolha do manancial é uma das etapas mais importantes da concepção de uma forma de abastecimento de água, pois disso depende o sucesso das demais unidades, no que se refere tanto à quantidade como à qualidade da água a ser disponibilizada à população. Assim, conforme descrito na NBR 12211/1992 (ABNT, 1992), é importante que sejam observados os seguintes fatores:

- população a ser atendida e quantidade de água necessária;
- a capacidade do manancial em atender à demanda de água da população de projeto;
- a qualidade da água do manancial associada ao grau de tratamento necessário e aos recursos disponíveis para implantação, operação e manutenção;
- proteção do manancial;
- proximidade à população abastecida, distância e elevação (diferença de altitude) até o tratamento e distribuição;
- alcance de projeto.

3
CAPTAÇÃO

Entendendo que o manancial, embora faça parte da forma de abastecimento, não é implantado pela ação humana, a captação é considerada a primeira etapa do abastecimento de água.

E o que é a etapa de captação de água?

A captação pode ser definida como o "conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao abastecimento de água" (Tsutiya, 2006). Segundo Heller e Pádua (2010), essa etapa envolve todas as estruturas que têm por finalidade criar condições para que a água seja retirada do manancial, em quantidade suficiente para atender a demanda e em qualidade adequada ao tratamento existente.

A maior parte das captações de água para abastecimento público no Brasil ocorrem em mananciais superficiais (rios, lagos, canais etc.) e subterrâneos (lençóis artesianos e freáticos). Destaca-se que, ultimamente, a captação de água de chuva tem aumentado de forma significativa.

Embora existam outras alternativas para captação, como a captação de água do mar, essas representam exceções e frequentemente exigem formas de tratamento mais complexas, por isso não serão objeto de estudo deste curso.

Assim, pode-se classificar as formas de captação de maneira similar aos mananciais.

Quais os tipos de captação de água?

- **Captação superficial**: realizada em mananciais superficiais.
- **Captação subterrânea**: realizada em mananciais subterrâneos.
- **Captação de água de chuva**.

Destaca-se que para a captação de água de mananciais superficiais e subterrâneos é necessária a obtenção de outorga de direito de uso de recursos hídricos pelo poder público, instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecido na Lei Federal n.º 9.433/1997 (Brasil, 1997). Esse instrumento tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos.

De acordo com a lei mencionada, a captação de água para os diversos fins, inclusive para abastecimento público, está sujeita a outorga. Assim, previamente à instalação de uma forma de abastecimento de água, torna-se necessária a consulta à autoridade responsável pela política de Recursos Hídricos do Poder Executivo Federal, dos estados ou do Distrito Federal.

3.1 Captação superficial

Captação superficial pode ser definida como conjunto de estruturas e dispositivos construídos ou montados junto ao **manancial superficial**, para se efetuar a tomada de água destinada ao abastecimento de comunidades humanas (Heller; Pádua, 2006).

Na captação em águas superficiais, há sempre um maior risco sanitário, pois está mais exposta a possíveis processos de poluição e contaminação. Assim, deve-se priorizar a captação de água da melhor qualidade possível, posicionando adequadamente a tomada de água e implantando medidas de proteção sanitária, por exemplo, instalar a captação à montante (antes) e a distâncias adequadas de descargas poluidoras (esgotos, atividades agropecuárias) e da comunidade a abastecer.

As captações se dividem também com relação à utilização de energia em dois tipos: por gravidade ou por bombeamento. Na primeira, a diferença de elevação entre o ponto de tomada de água e o local onde será realizado o tratamento permite que a condução seja realizada apenas pela força da gravidade. Já na segunda, é preciso utilizar energia mecânica para proporcionar a retirada da água do manancial escolhido – o que é feito por meio da instalação de bombas.

Em se tratando de captação em represas e lagos, deve-se considerar as variações de qualidade da água em função da profundidade, oscilações de nível e mesmo da temperatura. As águas represadas favorecem o aparecimento de algas, principalmente nas camadas superiores. Já nas camadas inferiores, pode ocorrer elevada concentração de matéria orgânica em decomposição e maior quantidade de sólidos em suspensão, dificultando ou encarecendo a remoção de turbidez nos processos de tratamento (Tsutiya, 2006), além das dificuldades que podem ser encontradas durante o processo de bombeamento da água.

A escolha da técnica para captação de água superficial vai ser diretamente influenciada pelas características do manancial em termos de nível, quantidade e qualidade de água e da sua variabilidade durante o ano (Heller; Pádua, 2006).

Um dispositivo usualmente empregado para a captação em lagos e represas é a construção de torres de tomada, uma estrutura fechada que contém em sua parede diversas entradas para a água localizadas em profundidades diferentes.

As Figuras 2 e 3 trazem três exemplos de captação de água para consumo humano em mananciais superficiais – flutuante e em torre de tomada, respectivamente. A captação por meio de torre de tomada permite regular o nível de entrada da água.

Figura 2 – Captação flutuante

Foto: Breno Verly Rosa.

Figura 3 – Captação de água com torre de tomada

Foto: Luiz Felipe Lomanto Santa Cruz.

Em se tratando de captação superficial, pode-se resumir em três as situações usuais em relação à quantidade de água disponível no manancial (Tsutiya, 2006):

1) A vazão do manancial é suficiente para atender a demanda continuamente.
2) A vazão do manancial é insuficiente para atender a demanda durante o período de estiagem, mas seria suficiente na média (a falta durante a estiagem poderia ser compensada durante o período chuvoso).
3) A vazão do manancial é insuficiente para atender ao consumo previsto.

A primeira situação é a ideal, pois não exigiria nenhuma intervenção no curso-d'água e permitiria a captação a fio-d'água (no qual a vazão de captação corresponde a um valor menor ou igual à descarga mínima do rio ou riacho). Essa situação é característica de rios perenes com vazão elevada. No entanto, atualmente muitos cursos-d'água sofrem com os impactos da ação humana e sua vazão diminui progressivamente.

Na segunda situação, existiria uma época do ano na qual a vazão do curso-d'água não seria suficiente para atender à população, assim, seria necessário que durante o período de cheia a água fosse armazenada para regularizar o abastecimento. Normalmente, o armazenamento é realizado por meio de barragens ou reservatórios (Tsutiya, 2006).

A terceira situação exigiria a substituição do manancial. Entretanto, se não existir outro manancial capaz de suprir a necessidade, podem ser utilizados mananciais complementares, ou seja, captação de água em diferentes mananciais. Essa situação é bastante comum em grandes centros urbanos (Tsutiya, 2006).

Saiba mais sobre plantas aquáticas e florações de cianobactérias na captação

A ocorrência de plantas aquáticas e florações de cianobactérias na zona de captação dos mananciais superficiais causam sérios prejuízos ao abastecimento de água, aumentando a complexidade da operação e do tratamento, além de aumentar os riscos à saúde da população em decorrência da liberação de substâncias nocivas, como as cianotoxinas. Em alguns casos são necessárias intervenções para controle desses organismos.

Com o objetivo de regulamentar essas intervenções, foi publicada a Resolução Conama n.º 467/2015, que estabelece os critérios para autorização de uso de produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos para o controle de microrganismos ou contaminantes em águas superficiais, com a finalidade de controle de espécies que estejam causando impactos negativos ao meio ambiente, à saúde pública ou aos usos múltiplos da água (Funasa, 2015).

A autorização para a utilização desses produtos deverá ser requerida junto ao órgão ambiental competente, que consultará o órgão gestor de recursos hídricos. A autorização para uso de produtos e processos físicos, químicos ou biológicos deve ser informada pelo órgão ambiental competente ao órgão gestor de recursos hídricos e, quando autorizado o uso em mananciais de abastecimento público, deverá informar também às Secretarias Municipais de Saúde, especialmente no controle da proliferação de cianobactérias. A Figura 4 ilustra uma situação crítica relacionada à presença de cianobactérias.

Figura 4 – Floração de cianobactérias

Foto: Sandra Maria Feliciano de Oliveira e Azevedo.

3.2 Captação subterrânea

Os mananciais subterrâneos envolvem basicamente lençóis freáticos ou artesianos. O lençol freático é a camada de água assentada sobre uma camada impermeável – rocha, por exemplo – e submetido à pressão atmosférica local. O lençol artesiano é caracterizado como a água confinada entre duas camadas impermeáveis e submetido a uma pressão superior a pressão atmosférica local (Tsutiya, 2006).

A captação de água subterrânea é realizada por meio de poços rasos ou profundos, poços escavados ou tubulares, galerias de infiltração, barragens subterrâneas ou pelo aproveitamento das nascentes (fontes de encosta) (Funasa, 2015).

Para assegurar a proteção das captações subterrâneas, deve-se:

1) Manter a área de captação devidamente cercada com barreira sanitária.
2) Manter posicionamento dos dispositivos de captação em cota superior à da localização de possíveis fontes de poluição.
3) Manter afastamentos horizontais em relação a fontes de contaminação como fossas secas, tanques sépticos, estábulos ou currais.

i. Captação em nascentes

Nascente, mina, olho-d'água e fonte são denominações utilizadas para definir um ponto onde a água aflora à superfície do solo, bastante utilizado no abastecimento, principalmente no meio rural (Funasa, 2015). Nesses casos, a proteção de nascentes ou fontes de água é uma importante medida para melhorar as condições de produção de água em quantidade e qualidade.

As estruturas protetoras das nascentes têm como objetivo evitar a contaminação logo na sua origem. A tarefa se resume na construção da caixa de captação ou depósito que, preferencialmente, deve ser revestido e sempre coberto. O revestimento tem por objetivo evitar a imediata contaminação da água pelas próprias partículas do solo, e a cobertura, evitar a contaminação por restos vegetais, dejetos de animais silvestres, desenvolvimento de algas na presença de luz etc.

ii. Poço escavado manualmente

Geralmente, o abastecimento por meio de mananciais subterrâneos é realizado por meio de poços, porque normalmente o lençol freático tem grande variação de nível, necessitando de maiores profundidades para garantia da manutenção da vazão[1] de captação.

A escavação de poço é uma das formas mais antigas usada pelo homem para se abastecer de água subterrânea. No Brasil, o poço escavado ainda é bastante utilizado pela população rural e recebe diversas denominações, como: cacimba, cisterna, cacimbão, poço amazonas, poço caipira, poço freático, poço raso ou simplesmente poço. É um poço construído escavando-se o terreno, em geral na forma cilíndrica, com revestimento de alvenaria ou com peças pré-moldadas.

[1] **Vazão (Q) = Volume / Tempo.**
Exemplo: a vazão média de água captada no ribeirão São Bartolomeu para abastecimento da cidade de Viçosa/MG é de 200 litros por segundo.

Segundo Heller e Pádua (2010), a proteção do poço escavado tem a finalidade de dar segurança à sua estrutura e, principalmente, evitar a contaminação da água por meio de:

- Infiltração de águas da superfície, através do terreno, atingindo a parede e o interior do poço.
- Escoamento de águas da superfície e enxurradas através da boca do poço, para seu interior.
- Entrada de objetos contaminados, animais e/ou dejetos, papéis e outros, através da boca do poço.

A retirada de água é realizada preferencialmente por meio de bomba hidráulica, pois permite manter o poço sempre fechado, sendo sanitariamente mais seguro. O balde com corda é um meio manual bastante utilizado, entretanto, não é recomendado, pela maior chance de contaminação.

i. Poço tubular

Os poços tubulares são aqueles que possuem pequenos diâmetros em relação à profundidade, normalmente construídos com auxílio de equipamentos mecânicos e revestidos total ou parcialmente com tubos metálicos ou de plástico. Distinguem-se ainda em poços tubulares rasos e poços tubulares profundos.

Saiba mais sobre os poços tubulares rasos

Os poços tubulares rasos podem ser perfurados ou cravados, com profundidade de até 20 metros. Os poços rasos perfurados são geralmente abertos por meio de trados, e são aconselhados para lençóis freáticos (aquíferos) de pequena profundidade. Os poços rasos cravados são construídos a partir da cravação de tubos metálicos providos de ponteiras no terreno. Possuem pequenos diâmetros e são usados como solução de emergência em lençóis freáticos de pequena profundidade e grande vazão. São comumente empregados em acampamentos provisórios e em situações de emergência.

Saiba mais sobre os poços tubulares profundos

O poço tubular profundo é uma obra de engenharia projetada e construída para a captação de água subterrânea, de acordo com normas técnicas específicas, que exige mão de obra e equipamentos especiais para sua construção. Sua profundidade vai de 20 metros a cerca de 4.500 metros. Podem ser totalmente ou parcialmente revestidos, com tubos e filtros, metálicos ou de plástico, dependendo das condições da geologia local.

Saiba mais sobre a classificação dos poços segundo o tipo de lençol

De acordo com o tipo de aquíferos captados e com o nível de água no seu interior, os poços podem ser classificados em:

Poços freáticos – são construídos em aquíferos livres ou freáticos. O nível da água parada nestes poços (nível estático) coincide com o nível freático regional.

Poços artesianos – são construídos em aquíferos confinados ou semiconfinados, nos quais o nível estático destes poços é superior ao nível freático regional.

Poços artesianos jorrantes – caso particular do poço artesiano no qual o nível estático está acima da boca do poço, provocando o derramamento espontâneo de água.

3.3 Captação de água de chuva

O aproveitamento de água de chuva pode ser considerado um sistema descentralizado e alternativo de suprimento. A captação da água de chuva geralmente é obtida por meio da cobertura ou telhado da edificação, denominada de área de captação, geralmente constituída por lajes ou telhas (cerâmicas, metálicas e plásticas).

Após a captação pelo telhado, a água é conduzida ao reservatório de água por um conjunto de calhas e tubulações fechadas. Conceitualmente, esse reservatório destinado a receber e conservar as águas pluviais é denominado cisterna, sendo constituído por diferentes materiais, tais como: pré-moldados de cimento, plásticos como Policloreto de Vinila (PVC) ou Polietileno (PEAD), fibra de vidro, alvenaria e concreto armado.

A cisterna tem sua aplicação em áreas de grande pluviosidade ou em áreas nas quais o período chuvoso se concentra em determinada época do ano, com o propósito de garantir o abastecimento durante o período de estiagem.

Saiba mais sobre alguns cuidados necessários no uso de cisternas

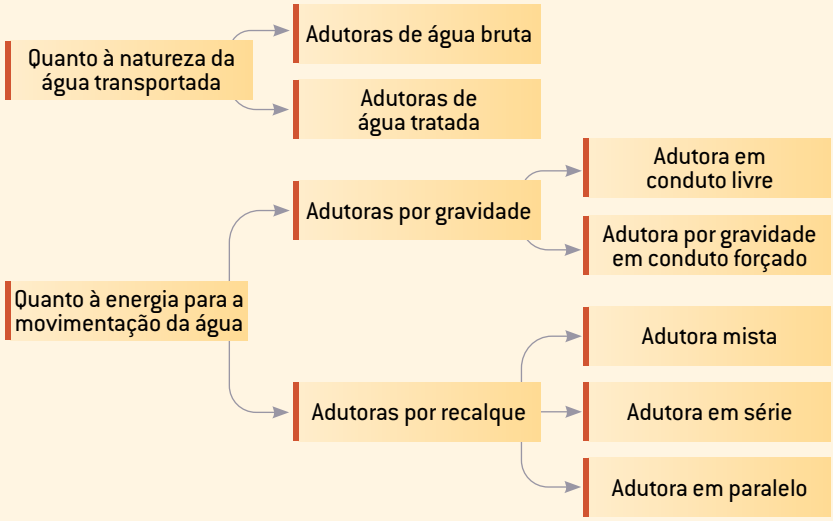
A cisterna deve ser desinfetada antes do uso. É importante a instalação de um dispositivo de descarte das primeiras águas da chuva, antes de entrar na cisterna, para minimizar a contaminação proveniente dos materiais acumulados na superfície do telhado. Deve-se dotar a cisterna de dispositivo que permita a retirada de água sem que sejam utilizados recipientes externos (por exemplo, bomba manual). Caso não seja possível, deve-se ter muita atenção à limpeza dos utensílios utilizados na retirada de água.

A água deve ser previamente filtrada, para ser fervida ou clorada dentro do domicílio antes de usada para fins domésticos.

4
ADUÇÃO

A adução representa a etapa em que a água é transportada por meio de tubulações ou canais entre unidades do abastecimento anteriores à rede de distribuição. Assim, as adutoras interligam a captação à estação de tratamento de água, e desta aos reservatórios, e são componentes fundamentais para o abastecimento, uma vez que qualquer paralisação poderá acarretar a interrupção do serviço (Heller; Pádua, 2010).

Saiba mais sobre a classificação das adutoras:



Adutora em conduto livre: é um caso particular de escoamento por gravidade. Os condutos livres, em sistemas avantajados, possuem grande seção, podendo ser galerias, túneis ou canais. Em sistemas menores, constituem-se de tubulações ou canais de pequena seção.

Adutora por gravidade em conduto forçado: nela a água fica sob pressão superior à atmosfera, processando-se o escoamento por gravidade. Comumente são denominadas tubulações ou canalizações.

Adutora de condutos forçado e livre: constituída com trechos em conduto livre (aqueduto) e trechos em conduto forçado (sifões invertidos).

Adutoras por recalque: conduzem água sob pressão superior à atmosfera de um ponto para outro, este geralmente mais elevado.

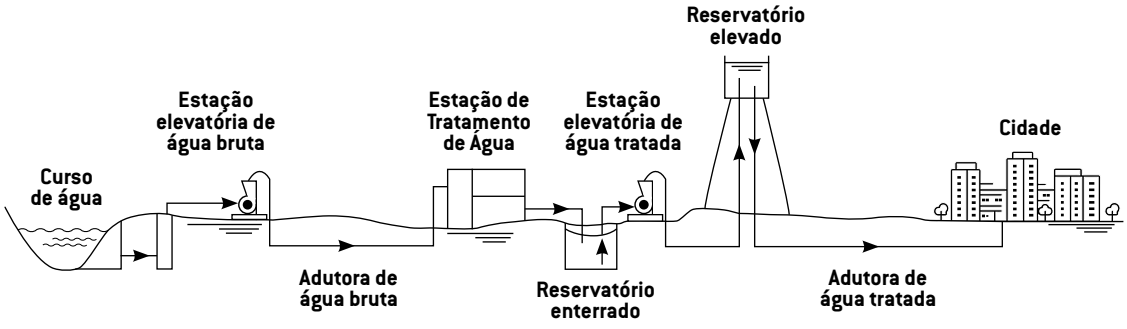
A adutora mista é constituída de um trecho com escoamento por gravidade seguido de outro com escoamento por recalque; a adutora em série é composta de um conduto seguido de outro com seção de escoamento diferente, tubulações de diâmetros desiguais; e a adutora em paralelo é integrada por condutos situados um ao lado do outro, geralmente duas ou mais tubulações.

5
ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS

Tendo em vista a economia de energia e a facilidade operacional, seria desejável que o escoamento da água ao longo do sistema de abastecimento fosse realizado exclusivamente por gravidade. Contudo, muitas vezes é preciso utilizar bombas para levar a água a pontos elevados ou afastados, e a essas unidades de bombeamento dá-se o nome de estações elevatórias, normalmente, encontradas nas etapas de captação, adução, tratamento e rede de distribuição.

As estações elevatórias são divididas em elevatória de água bruta (EAB) e elevatória de água tratada (EAT). As EAB são utilizadas para o transporte da água do manancial até a Estação de Tratamento de Água (ETA). Já as EAT normalmente são instaladas após a ETA, para o bombeamento da água já tratada até os reservatórios, e podem ocorrer também no sistema de distribuição, entre reservatórios ou em determinados trechos da rede (Heller; Pádua, 2010). A Figura 5 ilustra as estações elevatórias ao longo de um sistema de abastecimento de água.

Figura 5 – Posicionamento de elevatória de água bruta (EAB) e elevatória de água tratada (EAT) em um sistema de abastecimento de água



Fonte: Tsutiya, 2006.

6 TRATAMENTO

A finalidade do tratamento da água para consumo humano é torná-la potável, conforme padrão definido atualmente no Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 5 de 2017, ou seja, 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 representam riscos à saúde) e estética/organoléptica (por exemplo: remoção de turbidez, cor, gosto e odor).

Do ponto de vista tecnológico, qualquer água pode ser tratada, porém nem sempre a custos acessíveis ou por meio de métodos apropriados às realidades locais. Assim, 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 e econômico (Brasil, 2006).

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) edita normas sobre o enquadramento dos mananciais, de acordo com os usos preponderantes, apontando o tipo de tratamento necessário para consumo humano em cada classe. Além disso, a norma de potabilidade e a NBR 12216 associam as características da água bruta às técnicas de tratamento necessárias. Atualmente, as normas são as seguintes:

- NBR 12216: *critérios de projeto e de seleção de técnicas de tratamento (Projeto de Estação de Tratamento para Abastecimento Público).*
- Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 5 de 2017: *dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.*
- Conama n.º 396, de 3 de abril de 2008: *dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.*
- Conama n.º 357, de 17 de março de 2005: *dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.*

As disposições desses normativos encontram-se resumidas no Quadro 1.

Destaca-se que, enquanto o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 5 de 2017 define de forma bastante objetiva as exigências de tratamento da água (obrigatoriedade de desinfecção em qualquer situação e da etapa de filtração em caso de captação em mananciais superficiais), as demais vinculam as exigências a critérios que demandam uma investigação mais aprofundada do contexto, como o nível de proteção dos mananciais e a classe de enquadramento do corpo-d'água. Por outro lado, as demais normas elencam diversas etapas do tratamento convencional enquanto a norma de potabilidade só menciona as etapas de filtração e desinfecção.

Sabe-se, entretanto, que a definição de outras etapas de tratamento a serem aplicadas dependerá das características da água bruta e daquilo que se conhece como ensaios de tratabilidade, os quais permitem a definição da sequência de tratamento mais adequada, produtos químicos mais apropriados e suas dosagens e sobre parâmetros ótimos de projeto ou de operação (Di Bernardo, L.; Di Bernardo, A.; Centurione Filho, 2002).

Quadro 1 – Normas relativas às exigências de tratamento

NBR 12216/1992	**Tipo A** – águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias sanitariamente protegidas, com características básicas definidas na norma, e as demais satisfazendo aos padrões de potabilidade a tratamento por desinfecção e correção do pH.
	Tipo B – águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias não protegidas, com características básicas definidas na norma e que possam enquadrar-se nos padrões de potabilidade, mediante processo de tratamento que não exija coagulação a tratamento por desinfecção e correção do pH e: a) decantação simples, para águas contendo sólidos sedimentáveis, quando, por meio desse processo, suas características se enquadrem nos padrões de potabilidade; ou b) filtração, precedida ou não de decantação, para águas de turbidez natural, medida na entrada do filtro, sempre inferior a 40 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) e cor sempre inferior a 20 unidades, referidas aos Padrões de Platina.
	Tipo C – águas superficiais provenientes de bacias não protegidas, com características básicas definidas na norma, e que exijam coagulação para enquadrar-se nos padrões de potabilidade a tratamento por coagulação, seguida ou não de decantação, filtração em filtros rápidos, desinfecção e correção do pH.
	Tipo D – águas superficiais provenientes de bacias não protegidas, sujeitas a fontes de poluição, com características básicas definidas na Norma, e que exijam processos especiais de tratamento para que possam enquadrar-se nos padrões de potabilidade a tratamento mínimo do tipo C e tratamento complementar apropriado a cada caso.
Anexo XX da Portaria de Consolidação n.º 5/2017	**Art. 24.** Toda água para consumo humano fornecida coletivamente deverá passar por processo de desinfecção ou adição de desinfetante para manutenção dos residuais mínimos, conforme as disposições contidas no art. 32. **Parágrafo único.** As águas provenientes de manancial superficial devem ser submetidas a processo de filtração.
Resolução Conama n.º 357/2005	**Classe especial**: águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção.
	Classe 1: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado.
	Classe 2: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional.
	Classe 3: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado.
Resolução Conama n.º 396/2008	**Classe 1**: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que **não exigem tratamento** para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
	Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e **que podem exigir tratamento adequado**, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
	Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, **mas que podem exigir tratamento adequado**, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
	Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo.
	Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não tem requisitos de qualidade para uso.

Fonte: autoria própria.

Considerando seus objetivos, as estações de tratamento de água geralmente contemplam a combinação das seguintes etapas (Brasil, 2006):

- Clarificação, com o objetivo de remover impurezas por meio da combinação de alguns dos seguintes processos unitários:
  - coagulação, floculação, sedimentação/decantação ou 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.

Apresentam-se, a seguir, noções básicas dos principais processos e operações utilizados no tratamento de água para consumo humano. Destaca-se que o texto foi escrito com base em Brasil (2006) e Heller e Pádua (2010).

6.1 Clarificação

A clarificação tem como objetivo remover impurezas por meio da combinação dos seguintes processos unitários: coagulação, floculação, decantação/flotação e filtração.

6.1.1 Coagulação e mistura rápida

A água bruta contém uma grande variedade de impurezas, destacando-se as partículas suspensas e soluções coloidais, responsáveis, respectivamente, pela turbidez e cor da água. Tais elementos apresentam carga superficial negativa, impedindo que se aproximem uns dos outros. Para removê-los é necessário neutralizar sua carga superficial, o que é realizado com a adição de coagulantes.

Coagulantes são as substâncias químicas ou naturais utilizadas para neutralizar a carga superficial das partículas que conferem turbidez e cor à água, de forma a possibilitar a sua remoção durante as etapas posteriores do tratamento.

Exemplos de coagulantes: sulfato de alumínio, sulfato ferroso, cloreto férrico e polímeros orgânicos.

O coagulante deve ser adicionado na etapa denominada de mistura rápida, local de grande agitação da água (elevado "gradiente de velocidade"), a fim de promover sua dispersão da forma mais eficiente possível.

A mistura pode ser hidráulica ou mecanizada. Na mistura hidráulica, o dispositivo mais usado é a Calha Parshal, que, devido à sua forma geométrica, ocasiona um ressalto hidráulico (elevação brusca do nível d'água), no qual é possível alcançar condições satisfatórias para a mistura do coagulante com a água. A Figura 6 ilustra a estrutura para mistura hidráulica (Calha Parshal).

Figura 6 – Mistura rápida hidráulica

Foto: Luiz Felipe Lomanto Santa Cruz.

São dois os mecanismos de coagulação, o de adsorção-neutralização de cargas e o de varredura. O mecanismo de adsorção-neutralização de cargas forma flocos com boas características de filtrabilidade, por isso é muito importante para o tratamento de água de baixa turbidez e cor, em geral, realizado por meio de uma das tecnologias da filtração direta. Já o mecanismo de varredura é mais utilizado no tratamento de águas de elevada turbidez, principalmente quando se emprega o tratamento em ciclo completo.

6.1.2 Floculação

Os floculadores são projetados para garantir movimentos lentos na água (gradientes de velocidade baixos), de forma a provocar choques entre as partículas desestabilizadas, possibilitando, assim, que as impurezas presentes na água possam se aglomerar, formando flocos. É importante ressaltar que a finalidade desta unidade não é remover as impurezas, mas sim acondicionar a água que será encaminhada à próxima etapa do tratamento (decantação, flotação ou filtração).

Pela definição da ABNT (1992), floculadores são unidades que têm como objetivo promover movimentos lentos para agregação de partículas.

Os floculadores podem ser hidráulicos, nos quais a água percorre um caminho com mudanças de direção; ou mecanizados, com equipamentos capazes de manter a agitação da água. A Figura 7 ilustra a floculação hidráulica e a Figura 8 ilustra a mecanizada.

Figura 7 – Floculação hidráulica

Foto: Demetrius Brito Viana.

Figura 8 – Floculação mecanizada

Foto: Luiz Felipe Lomanto Santa Cruz.

6.1.3 Decantação

Após a floculação, os flocos já possuem peso e tamanho suficientes para que possam ser separados da água por ação de gravidade, papel esse cumprido pela decantação, um dos processos mais antigos e simples de clarificação da água, que possibilita a remoção das partículas por meio da sedimentação no fundo das unidades.

> Decantadores são as unidades projetadas para possibilitar a sedimentação das partículas (flocos) por ação da gravidade. Essas partículas sedimentadas acumulam-se no fundo dessas unidades, formando o chamado lodo, que é removido durante a limpeza dos decantadores.

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 da água que chega ao decantador pela sua área superficial.

Deve-se destacar que a definição da TAS depende fundamentalmente da qualidade da água bruta. Além disso, quanto menor a TAS melhor a qualidade da água decantada, porém, quanto menor a TAS maior será o decantador.

Os decantadores podem ser classificados da seguinte forma:

- Clássicos (convencionais/baixa taxa)
  - Seção retangular
  - Seção circular
- Tubulares (elementos tubulares/ alta taxa)
  - Fluxo ascendente
  - Fluxo horizontal

A Figura 9 ilustra o decantador clássico ou convencional.

Figura 9 – Decantador convencional

Foto: Demetrius Brito Viana.

6.1.4 Flotação

Enquanto na sedimentação a força de gravidade atua fazendo com que as partículas se depositem no fundo do decantador, na flotação a clarificação da água é conseguida por meio da produção de bolhas que se aderem aos flocos ou partículas em suspensão, provocando a ascensão dos flocos até a superfície do flotador, de onde são removidas.

> Flotadores são as unidades projetadas para possibilitar a ascensão das partículas (flocos) à superfície da água por meio de bolhas de ar injetadas nas unidades. Essas partículas na superfície dos tanques são retiradas continuamente.

Esse processo é especialmente interessante quando as características da água bruta e as etapas de coagulação e floculação conduzem à formação de flocos com baixa velocidade de sedimentação, pois, nesse caso, seria necessário projetar unidades que ocupam grande espaço físico para remover os flocos utilizando o processo de decantação.

Segundo Ferreira Filho e Piveli (2016), as águas brutas candidatas ao processo de flotação têm como características: baixos valores de turbidez, altas concentrações de algas ou cor real elevada, não sendo recomendado para água brutas de elevados valores de turbidez.

As unidades de flotação apresentam vantagens desvantagens em relação aos decantadores. Como vantagens, são unidades mais compactas, produzem lodo com maior teor de sólidos, possibilitam reduzir o consumo de coagulante primário, possibilitam reduzir o tempo de floculação

e reduzem o volume de água descartada junto com o lodo. Como desvantagens, exigem operadores mais qualificados, frequentemente precisam ser cobertas, requerem equipamentos para geração das microbolhas (bomba de recirculação, câmara de saturação e compressor de ar) e aumentam o consumo de energia elétrica na ETA (Heller; Pádua, 2010).

6.1.5 Filtração

A filtração é uma etapa imprescindível quando a captação da água é realizada em mananciais superficiais, tendo papel fundamental na sua clarificação, assim como na remoção de microrganismos patogênicos.

> Os filtros são unidades destinadas a remover partículas em suspensão por meio de um processo em que a água atravessa um leito filtrante, em geral areia, de modo que partículas em suspensão sejam retidas, produzindo um efluente clarificado.

Na ausência de etapa de filtração, o que ocorre em muitas das soluções alternativas coletivas e individuais de abastecimento de água (SAC e SAI), filtros domésticos são comumente utilizados para remoção de materiais suspensos e de uma parcela dos microrganismos patogênicos presentes na água.

Nos casos em que compõe as etapas de tratamento de uma ETA, a filtração cumpre ainda o objetivo de aumentar a eficiência do processo de desinfecção, uma vez que as partículas em suspensão podem fornecer abrigo físico aos microrganismos, protegendo-os da ação dos desinfetantes.

Vamos ver adiante algumas características relativas aos processos de filtração rápida e filtração lenta, assim como os mecanismos de remoção predominantes em cada um dos referidos processos, tendo em vista os mecanismos físicos (sedimentação e coagem), químicos (adsorção aos grãos do meio filtrante) e biológicos (degradação biológica).

Filtração Rápida

Nesse tipo de filtração predominam os mecanismos de transporte, aderência e desprendimento. Os mecanismos de transporte são responsáveis por conduzir partículas suspensas na água para as proximidades da superfície do leito filtrante. Quando as partículas se aproximam dos grãos, são aderidas à superfície destes ou de partículas previamente aderidas, e, à medida que as partículas vão se acumulando, as forças cisalhantes aumentam; e quando superam as forças que mantém as partículas retidas, predomina o mecanismo de desprendimento.

O mecanismo de desprendimento é uma etapa que precisa ser evitada durante a filtração, já que este compromete a qualidade da água tratada. Sendo assim, para se manter o bom funcionamento dos filtros, devem ser realizadas limpezas frequentes, garantindo o equilíbrio dos mecanismos desejáveis no processo de filtração. Ao período entre duas limpezas dá-se o nome de carreira de filtração.

Vale ressaltar que a coagulação é uma etapa dispensável quando a água é submetida ao tratamento em filtros lentos. No entanto, possui papel fundamental quando utilizados filtros rápidos, uma vez que quando essa etapa não é eficiente, a aderência fica comprometida e, por conseguinte, o processo de filtração.

Os processos de filtração rápida podem ser classificados com relação ao sentido de escoamento (ascendente ou descendente), ao meio filtrante (camada simples, dupla ou tripla) e ao controle hidráulico (taxa de filtração constante ou declinante).

Filtração Lenta

Na filtração lenta os filtros trabalham com baixas taxas de filtração (ou seja, baixa vazão de água filtrada por área de filtro) e seus leitos filtrantes são constituídos por material de granulometria fina. Essas condições permitem o desenvolvimento de uma camada nos primeiros centímetros do meio filtrante, composta por organismos e detritos, chamada *schmutzdecke*.

Nos filtros lentos, tanto os mecanismos de transporte e aderência como os biológicos são importantes para o bom desempenho do processo. Entretanto, a ação mais importante é, sem dúvida, a atividade biológica.

Saiba mais sobre 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.

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 baixas turbidez, cor e densidade de algas. Quando dotada de pré-tratamento, essa técnica pode ser boa opção para tratar águas com valores medianos de turbidez e de densidade de algas.

Por fim, destaca-se que o uso dos filtros lentos dispensa as etapas de mistura rápida, floculação e decantação, bem como o uso de coagulantes, equipamentos sofisticados e mão de obra especializada para sua operação, sendo, portanto, uma opção de baixo custo e simples operação para abastecimento de água.

6.2 Desinfecção

Após a clarificação, a água deve passar pela etapa de desinfecção, na qual se utiliza um agente químico ou físico para a destruição e/ou inativação dos microrganismos patogênicos presentes na água, diminuindo a ocorrência de doenças de veiculação hídrica transmitidas por bactérias, vírus e protozoários.

A desinfecção é o processo de tratamento em que ocorre a destruição ou inativação de organismos patogênicos pela aplicação de um agente desinfetante.

Exemplos de desinfetantes:

- Químicos:
  - cloro gás (Cl_2) e hipocloritos de cálcio $Ca(ClO)_2$ ou sódio (NaOCl)
  - cloraminas (NH_2Cl)
  - dióxido de cloro (ClO_2)
  - ozônio (O_3)
- Físicos:
  - radiação ultravioleta (UV, 254 nm)
  - temperatura/fervura

Grande parte das Estações de Tratamento de Água (ETA) no Brasil fazem uso do cloro gás ou de soluções à base de hipoclorito na etapa de desinfecção. Em menor proporção são utilizados outros agentes químicos, como o dióxido de cloro e a cloramina, bem como agentes físicos, como a radiação ultravioleta (UV).

Em unidades de tratamento de água nas quais existe apenas a etapa de desinfecção, o que ocorre em diversos sistemas e soluções alternativas com captação subterrânea, muitas vezes são utilizados cloradores pressurizados que funcionam com pastilhas de cloro (cloradores de pastilhas) ou cloradores simplificados com solução de hipoclorito, por meio dos quais o desinfetante é "gotejado" na água.

Do ponto de vista operacional, a eficiência da desinfecção na remoção dos diversos microrganismos é determinada pelo parâmetro CT, que é composto pela Concentração residual do desinfetante na saída do tanque de contato (onde é realizada a desinfecção) e pelo Tempo de contato da água com o agente desinfetante (tempo de exposição do organismo à ação do desinfetante).

A eficiência de desinfecção pode ser alcançada por diferentes combinações de valores de C e T, ou seja, uma mesma eficiência pode ser alcançada com valores mais elevados de dose do desinfetante (C) e tempos de contato (T) mais reduzidos, ou com doses mais baixas compensadas por tempos de contato mais elevados.

Ressalta-se que além do importante papel de destruição/inativação de microrganismos patogênicos durante o tratamento da água, os desinfetantes são fundamentais na prevenção da deterioração da qualidade da água ao longo de sua distribuição. Portanto, deve ser aplicado em doses que cumpram o papel do tratamento e que sejam suficientes para a manutenção de concentrações residuais mínimas durante a distribuição da água à população.

Alguns agentes desinfetantes não produzem residuais e, por isso, não podem ser utilizados individualmente, mas sim associados (por exemplo, a luz UV para a desinfecção e o cloro gás para manutenção de residual na distribuição da água).

Na ausência da etapa de desinfecção, o que ocorre na grande maioria das Soluções Alternativas Individuais (SAI), é importante que se faça a desinfecção intradomiciliar da água antes do seu uso, o que é geralmente realizada com soluções de hipoclorito (por exemplo, as distribuídas pelas secretarias de saúde) ou submetendo a água à fervura antes do consumo. Como a fervura não deixa residual desinfetante, esses processos podem também ser utilizados de forma combinada para que a água possa ser armazenada por períodos mais longos.

6.3 Técnicas de tratamento da água

A considerar as etapas abordadas até o momento, existem diversas técnicas de tratamento de água para abastecimento público, destacando-se no Brasil o tratamento convencional (ou de ciclo completo) e a filtração direta, embora outras, como a filtração lenta, a flotação e a filtração em membrana também sejam empregadas, mas em um número ainda relativamente pequeno de ETAs (Heller; Pádua, 2010).

De maneira geral, podem-se distinguir as técnicas de tratamento de água em função dos processos que elas possuem, tal como mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Técnicas mais usuais de tratamento de água para abastecimento público

Fonte: adaptado de Heller e Pádua (2010).

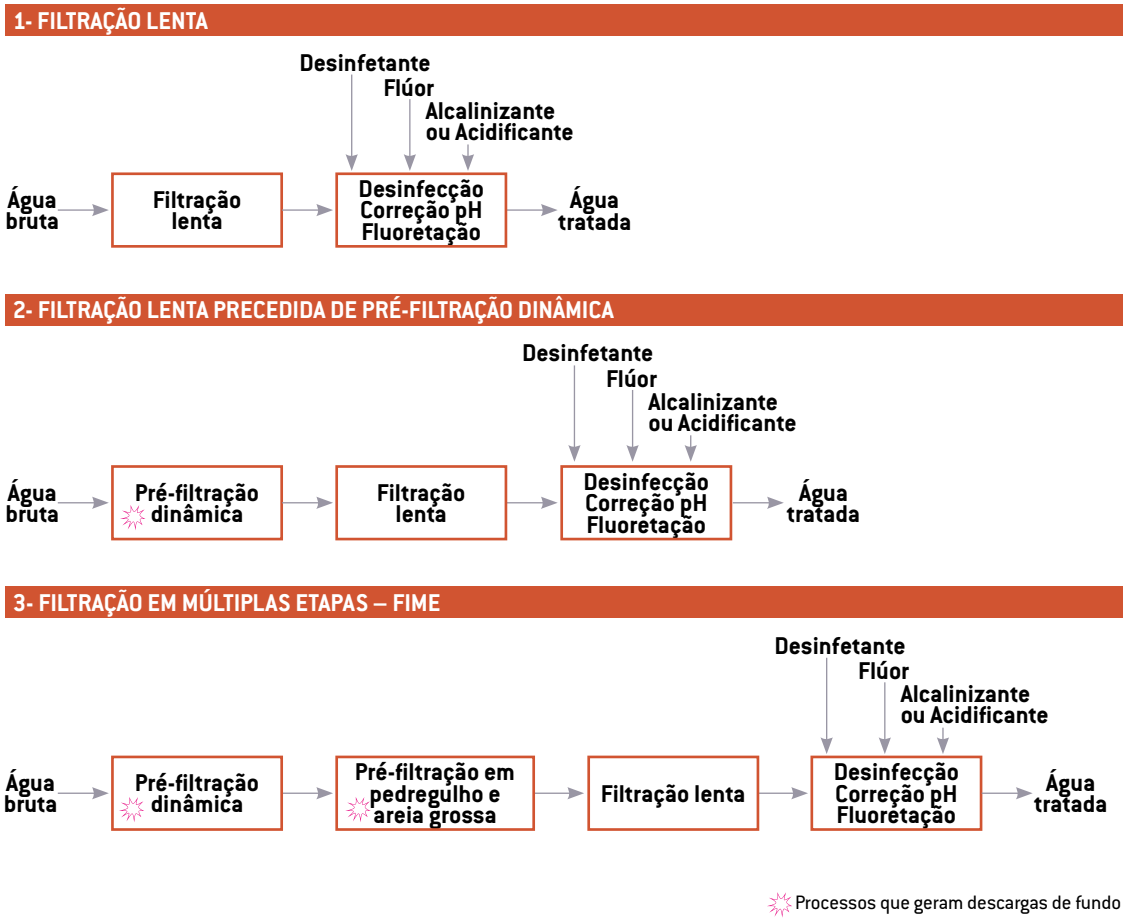
6.3.1 Filtração lenta e filtração em múltiplas etapas

Na filtração lenta, o tratamento da água é feito por processo biológico e não há necessidade do emprego de coagulante químico, o que, aliado à menor frequência de limpeza dos filtros, simplifica a operação e facilita a utilização dessa técnica, mesmo em regiões mais remotas. Como desvantagem, a implantação de ETAs com filtração lenta requer espaços físicos significativamente maiores, dificultando, por exemplo, sua construção em áreas urbanas adensadas.

De toda forma, quando se considera a extensão do território brasileiro e constata-se que a maior carência de água potável é registrada nos municípios que apresentam menor número de habitantes (em geral nas comunidades rurais), a filtração lenta apresenta-se como uma alternativa de tratamento de água com grande potencial para ser empregada quando a água bruta apresenta condições favoráveis (Brasil, 2006; Heller; Pádua, 2010).

Quando há excesso de sólidos em suspensão na água bruta, uma alternativa para atenuar a sobrecarga dos filtros lentos é a utilização de sucessivas unidades de filtração para que o material em suspensão na água seja retido gradualmente nas unidades que precedem o filtro lento. A técnica de tratamento que utiliza essa composição é chamada de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME). As técnicas de tratamento que envolvem o uso de filtros lentos são resumidas no esquema a seguir (Figura 11).

Figura 11 – Técnicas de tratamento com uso da filtração lenta em areia



Fonte: Brasil (2006).

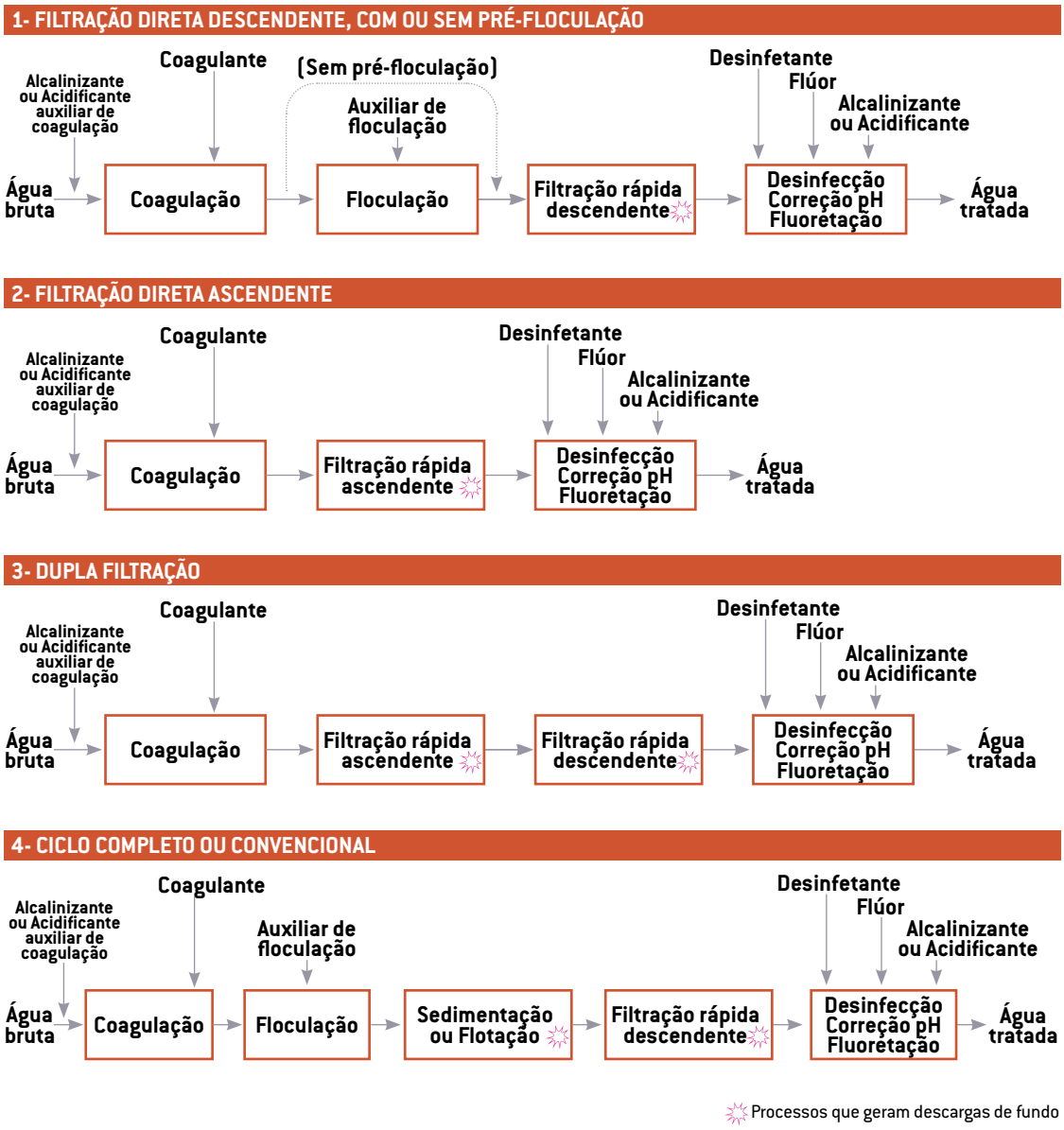
6.3.2 Filtração direta

O termo filtração direta inclui todas as técnicas de tratamento em que filtros rápidos são as únicas unidades destinadas à remoção de sólidos presentes na água e nas quais a água bruta é coagulada antes de ser encaminhada às unidades de filtração (Heller; Pádua, 2010). Vale mencionar que a etapa de floculação também pode integrar o processo, a depender da qualidade da água bruta. As técnicas de tratamento utilizando a filtração direta são ainda divididas em (Figura 12):

- **Filtração direta descendente:** a água coagulada percorre a camada filtrante de cima para baixo e a água filtrada sai na parte inferior do filtro.
- **Filtração direta descendente com floculação:** semelhante ao anterior, com a diferença de que a água é coagulada e floculada antes de entrar no filtro.
- **Filtração direta ascendente:** a água coagulada percorre a camada filtrante de baixo para cima e a água filtrada sai na parte superior do filtro.

- **Dupla filtração**: a água coagulada passa por uma unidade de filtração ascendente e depois por uma unidade de filtração descendente. Em relação às demais técnicas de filtração direta, esta possibilita o tratamento de água bruta de pior qualidade, com maior quantidade de material dissolvido e em suspensão, devido à ação dos dois filtros.

Figura 12 – Técnicas de tratamento com uso da filtração rápida



Fonte: Brasil (2006).

6.3.3 Tratamento simplificado

Quando a captação é realizada em mananciais subterrâneos, muitas vezes as etapas de clarificação (mistura rápida/coagulação, floculação, decantação/flotação e filtração) são dispensadas devido às características da água bruta. Nesses casos, o agente desinfetante é adicionado à água na etapa de desinfecção com os objetivos de destruir ou inativar microrganismos patogênicos possivelmente presentes e de manter o residual desinfetante durante a distribuição da água à população.

6.3.4 Tratamento convencional

Águas brutas com valores mais elevados de cor e turbidez e/ou maiores concentrações de algas exigem maior eficiência das etapas de clarificação, o que pode ser obtido por meio da técnica conhecida como tratamento em ciclo completo ou tratamento convencional (Figura 13).

Figura 13 – Estação de Tratamento de Água (ETA) com ciclo completo – Universidade Federal de Viçosa

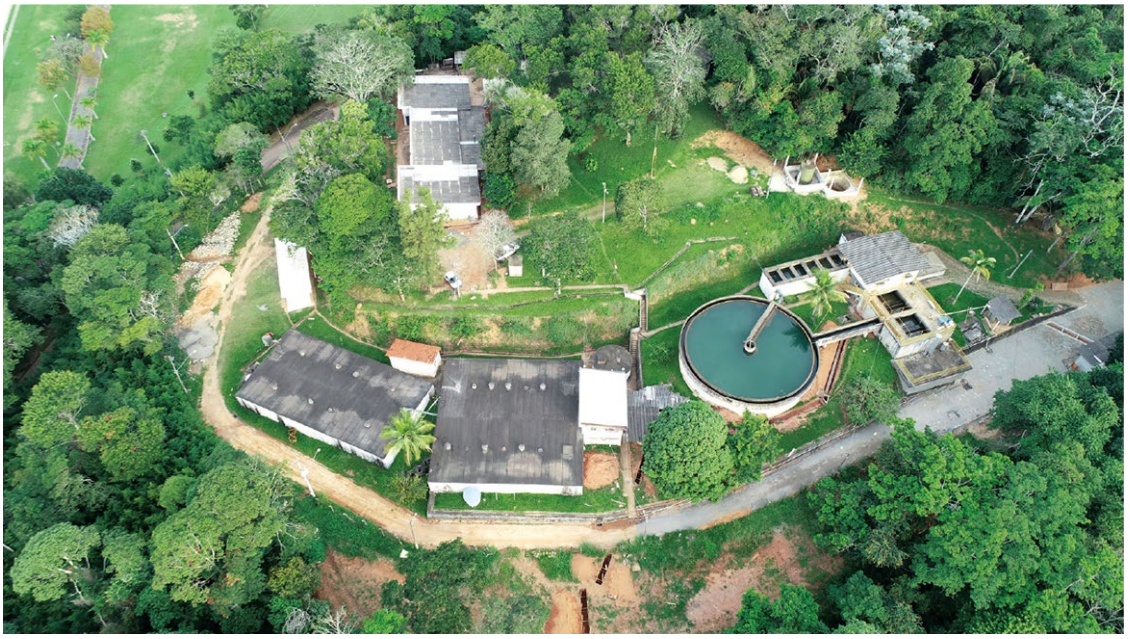


Foto: Acervo Mapear Geosoluções.

Nesta técnica, após a coagulação a água é floculada e posteriormente decantada ou flotada antes de ser encaminhada às unidades de filtração rápida (Brasil, 2006; Heller; Pádua, 2010).

Para a escolha da unidade que antecede a etapa de filtração, deve-se conhecer bem as características da água bruta e dos flocos formados na etapa de floculação.

Por exemplo, nos casos em que a água bruta contém altas concentrações de algas ou elevada concentração de substâncias orgânicas dissolvidas e baixa turbidez, os flocos formados geralmente possuem baixa velocidade de sedimentação.

Quando os flocos formados possuem essa característica, os decantadores podem não ser adequados para reter as impurezas, e isso pode acarretar sobrecarga de sólidos nos filtros, exigindo lavagens frequentes do meio filtrante, com gasto excessivo de água dentro da própria estação de tratamento. Nestas situações, é mais adequado o uso de flotadores ao invés de decantadores.

É importante ressaltar que, devido ao fato das etapas de coagulação, floculação, decantação (ou flotação) e filtração estarem dispostas em série, o desempenho insatisfatório de uma dessas unidades influencia no desempenho de todas as unidades posteriores. Nesse sentido, a avaliação de uma ETA deve sempre ser realizada como um todo, considerando o conjunto de etapas, e não cada unidade de forma isolada (Brasil, 2006; Heller; Pádua, 2010).

6.4 Tratamento avançado

Sempre que a água bruta apresenta alguma característica que inviabiliza a produção de água que atenda ao padrão de potabilidade utilizando apenas as técnicas de tratamento apresentadas, é preciso lançar mão das etapas de tratamento avançado, conforme abordadas a seguir.

> O tratamento avançado é utilizado para a remoção de contaminantes específicos, com grande capacidade de causar problema à saúde humana, e que requerem técnicas diferenciadas para sua remoção, tendo em vista que as técnicas mais usuais (convencionais) não conseguem removê-los de forma efetiva.

- *Pré-oxidação*

  A pré-oxidação, química ou por meio da aeração, é utilizada para reduzir a concentração de matéria orgânica, algas e metais que não são normalmente removidos nas ETAs. Contudo, no caso do emprego de oxidantes químicos, podem ser gerados subprodutos indesejados, que necessitam ser monitorados e, se necessário, removidos.

- *Adsorção em carvão ativado*

  A adsorção é o processo pelo qual compostos dissolvidos na água (por exemplo, substâncias orgânicas) são retidos na superfície de materiais por meio de interações de natureza química ou física. A adsorção em carvão ativado tem sido empregada principalmente para reduzir a concentração de compostos orgânicos indesejados, que na água podem causar problemas de sabor, odor, cor, mutagenicidade ou toxicidade (Heller; Pádua, 2010).

- *Troca iônica (aniônica ou catiônica)*

  Este processo é utilizado para a remoção de contaminantes dissolvidos na água sob a forma de íons, por exemplo, arsênio, bário, cádmio e nitrato, o que ocorre basicamente pela substituição do íon de interesse por outro da composição da resina utilizada.

- *Filtração em membranas*

  A separação em membranas é o processo que utiliza membranas semipermeáveis especialmente fabricadas para remover contaminantes dissolvidos na água, ou seja, contaminantes dotados de dimensões extremamente reduzidas. Em função do tamanho dos poros da membrana, que, por sua vez, determinarão o tamanho dos poluentes removidos. O processo recebe diferentes denominações, conforme descrito a seguir:

  - **Microfiltração**: adequado para remover partículas coloidais, microrganismos e sólidos em suspensão de maiores dimensões.
  - **Ultrafiltração**: adequado para retenção de partículas coloidais, microrganismos e sólidos em suspensão de menores dimensões.
  - **Nanofiltração**: adequados para remover partículas coloidais, microrganismos, sólidos em suspensão de menores dimensões e também de alguns contaminantes, como pesticidas e herbicidas.
  - **Osmose inversa ou Hiperfiltração**: adequados para remover partículas coloidais, microrganismos, sólidos em suspensão de menores dimensões, alguns contaminantes (como pesticidas e herbicidas) e também para dessalinização da água.

Em princípio, a filtração em membrana é uma barreira absoluta para remover qualquer partícula maior do que os poros da membrana. No entanto, qualquer violação na integridade da membrana ou vazamento no sistema pode permitir a passagem de material particulado e microrganismos patogênicos para a água tratada (Health Canada, 2012).

Ressalta-se que na norma de potabilidade a turbidez da água filtrada (pós-membrana) é assumida como indicador para avaliar a integridade do conjunto de membranas e, consequentemente, da eficiência do processo de filtração por membrana em função da praticidade de aferição.

No entanto, a turbidez é um indicador indireto de integridade da membrana, dessa forma, o sistema de filtração em membrana deve ser submetido a periódicos testes diretos de integridade (por exemplo, medições de pressão ou de fluxo). Além dos testes diretos para verificação da integridade, sistemas de filtração em membrana devem também ser avaliados quanto à capacidade de alcançar os níveis de tratamento desejados, por exemplo, a capacidade de remoção de (oo)cistos de protozoários (Usepa, 2005).

6.5 Fluoretação

A etapa de fluoretação não é considerada uma etapa de tratamento por não ter como objetivo remover impurezas da água, mas sim adicionar substâncias químicas a base de flúor para prevenção de cáries dentárias.

É importante destacar que o flúor é seguro e eficaz na proteção contra cáries quando presente na água na concentração adequada. Contudo, quando presente em elevadas concentrações, o que pode ocorrer devido à ocorrência natural na água bruta ou à adição em excesso na ETA, pode provocar o agravo conhecido como fluorose.

Tendo em vista os benefícios e perigos associados ao fluoreto na água consumida pela população, a Portaria BSB n.º 635/1975 (Brasil, 1975) define como devem ser calculados os teores mínimo, ótimo e máximo de fluoreto na água dos sistemas públicos de abastecimento em função da temperatura local. Segundo as disposições da norma, o teor "ótimo" de fluoreto deve ser, na maior parte do território brasileiro, em torno de 0,7 mg/L.

Diante do exposto, para se calcular a dosagem do composto de flúor a ser adicionado na etapa de fluoretação, é preciso conhecer a concentração de fluoreto na água bruta. Caso a ocorrência natural já supere o valor máximo disposto no Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 5 de 2017, ou a concentração máxima calculada conforme disposições da Portaria n.º 635/75, torna-se necessária a remoção de flúor por meio de uma das etapas de tratamento avançado.

6.6 Distribuição

Essa etapa envolve o processo de transporte da água do tratamento até as residências ou pontos de distribuição coletiva.

6.6.1 Sistema de distribuição – SAA

Como já abordado na parte de formas de abastecimento de água, o sistema de distribuição compreende o conjunto formado pelos reservatórios e rede de distribuição de água. A seguir, fala-se um pouco mais sobre esses dois componentes.

6.6.1.1 Reservatórios

As unidades de reservação são tradicionalmente construídas com os objetivos de regularizar as vazões ao longo do sistema de abastecimento, garantir os valores mínimo e máximo de pressões no sistema de distribuição, bem como o volume reserva para combate a incêndios e outras situações emergenciais.

Os reservatórios podem ser classificados quanto às localizações no sistema de abastecimento e no terreno, conforme exposto nos subitens seguintes.

Localização no sistema

- Os reservatórios de montante: sempre fornecem água à rede e consistem na alternativa mais utilizada nos sistemas de abastecimento de água do País.
- Reservatórios à jusante: reservatórios posicionados após a rede, fornecendo ou recebendo água, respectivamente, nos períodos de maior ou menor demanda.

Localização no terreno

- Os reservatórios podem ser elevados, apoiados, semienterrados e enterrados.

6.6.1.2 Rede de distribuição

Rede de distribuição é a parte do sistema de abastecimento de água constituída por tubulações e acessórios instalados com o objetivo de fornecer água continuamente em quantidade, qualidade e pressão adequadas a múltiplos consumidores (residenciais, comerciais, industriais e de serviços) localizados em cidades, vilas etc.

Para funcionar adequadamente, a pressão da água na rede de distribuição deve estar entre os valores mínimo e máximo estabelecidos. A pressão mínima tem por finalidade garantir que a água chegue até os reservatórios prediais (por exemplo, as caixas-d'água de casas e prédios). Já a definição de um valor máximo tem como objetivo a garantia da integridade dos tubos, conexões e válvulas utilizadas nas instalações prediais.

A seguir, será exposto o que fala o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 5 de 2017 sobre a pressão na rede de distribuição.

Em seu artigo 25º, a norma de potabilidade determina que a rede de distribuição de água para consumo humano deve ser operada sempre com pressão positiva em toda sua extensão. Deve, ainda, apresentar regularidade de fornecimento, evitando situações de paralisação e intermitências, bem como as práticas de desinfecção das tubulações em eventos de trocas de suas seções.

É importante ressaltar que a pressão negativa (inferior à pressão atmosférica) no interior da tubulação pode ocasionar a entrada de ar e águas externas à rede através dos dispositivos controladores (válvulas, registros ou até mesmo reservatórios), dos pontos de consumo abertos (torneira de jardim, por exemplo), ou mesmo por falhas ou rupturas na tubulação.

Essas infiltrações de águas externas na rede são bastante preocupantes, pois podem contaminar a água já tratada justamente durante a sua distribuição à população. Concomitantemente, a regularidade no fornecimento de água e as práticas de desinfecção das tubulações buscam minimizar a ocorrência de contaminações.

6.6.2 Tipos de suprimento – SAC

6.6.2.1 Canalizações simples

Tipicamente adotadas em SAC, as canalizações simples referem-se a uma estrutura simplificada de tubos e conexões, com diâmetros relativamente reduzidos, que conduzem a água desde a saída da etapa final de tratamento ou do reservatório da SAC até as residências, sem, necessariamente, controle das condições de pressão e vazão, que são característicos de uma rede de distribuição.

6.6.2.2 Chafarizes

Os chafarizes (ou torneiras públicas) são muito utilizados para o fornecimento de água para consumo humano no País, especialmente nos municípios de população pequena. Nesse tipo de suprimento, a água é distribuída por meio de torneira pública, na qual as pessoas retiram a água e armazenam em baldes ou outro recipiente para abastecer as suas residências.

6.6.2.3 Cisternas

A construção de cisternas para acumulação de água de chuva visando ao consumo humano é outra alternativa muito utilizada no semiárido brasileiro, onde existem grandes dificuldades em se obter água de mananciais superficiais e subterrâneos, sendo a chuva praticamente a única forma de acesso a água.

Na ausência de chuvas, embora não seja a alternativa mais adequada, as cisternas têm sido utilizadas para o armazenamento de água proveniente de carros-pipa, sendo importante que se verifique a procedência da água fornecida dessa maneira para evitar a contaminação da água da cisterna.

6.6.3 Carro-pipa

A distribuição de água por meio de veículos transportadores, denominados “caminhão-pipa” ou “carros-pipa”, é também muito utilizada no País, principalmente em regiões com elevada escassez hídrica. Nessa modalidade de distribuição, a água é transportada até os moradores por intermédio desses veículos e, muitas vezes, seu uso está associado a reservatórios domiciliares ou cisternas onde a água é armazenada para uso durante um dado período.

A Seção VI da Portaria GM/MS n.º 888/2021, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 5 de 2017, normatiza as atribuições do responsável pela distribuição e transporte de água potável por meio do carro-pipa, conforme o art. 16.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211**: Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BRASIL. Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei n.º 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n.º 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 135, n. 6, p. 470-474, 9 jan. 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 635, de 26 de dezembro de 1975. Aprova normas e padrões sobre fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento, destinada ao consumo humano. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 113, n. 249, p. 16835, 30 dez. 1975.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boas práticas no abastecimento de água**: procedimentos para a minimização de riscos à saúde. Brasília, DF: MS, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação n.º 5, de 28 de setembro de 2017. Consolida as normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Anexo XX – Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 189, p. 68-84, 3 out. 2017. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html#ANEXOXX. Acesso em 13 maio 2025

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS n.º 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 85, p. 112-144, 7 maio 2021a. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em 13 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS n.º 2.472, de 28 de setembro de 2021. Altera dispositivos da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 5, de 28 de setembro de 2017, referente às ações e aos serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 186, p. 163, 30 set. 2021b. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt2472_30_09_2021.html. Acesso em 13 maio 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução Conama n.º 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: MMA, 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?id=450&option=com_sisconama&task=arquivo.download. Acesso em: 23 nov. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução Conama n.º 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, DF: MMA, 2008. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?id=545&option=com_sisconama&task=arquivo.download. Acesso em: 23 nov. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução Conama n.º 410, de 04 de maio de 2009**. Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, e no art. 3.º da Resolução n.º 397, de 3 de abril de 2008. Brasília, DF: MMA, 2009. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=584. Acesso em: 7 maio. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução Conama n.º 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Brasília, DF: MMA, 2011. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627. Acesso em: 7 maio. 2025.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaios de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: Rima, 2002.

FERREIRA FILHO, S., S.; PIVELI, R., P. **Material das aulas de PHD2411 – Saneamento I**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica de São Paulo, 2016.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento.** 4. ed. Brasília, DF: Funasa, 2015.

HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 3. ed. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2006.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: DESA, Ed. UFMG, 2005. v. 1.

HEALTH CANADA. FEDERAL PROVINCIAL TERRITORIAL COMMITTEE ON DRINKING WATER. **Guidelines for Canadian drinking water quality**: Guideline Technical Document – Turbidity: Water and Air Quality Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada, Ottawa, Ontario, 2012. (Catalogue No H144-9/2013E-PDF). Disponível em: https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy-canadians/publications/healthy-living-vie-saine/water-turbidity-turbidite-eau/alt/water-turbidity-turbidite-eau-eng.pdf. Acesso em: 23 nov. 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Membrane Filtration Guidance Manual**: EPA 815-R-06-009: Office of water, Washington, DC: USEPA, 2005. Disponível em: https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/901V0500.PDF?Dockey=901V0500.PDF. Acesso em: 23 nov. 2018.

Conte-nos o que pensa sobre esta publicação.
Clique aqui e responda a pesquisa.

Biblioteca Virtual em Saúde do Ministério da Saúde
bvsms.saude.gov.br

Ouv SUS 136
Ouvidoria-Geral do SUS

SUS

MINISTÉRIO DA SAÚDE

Governo Federal