

MANUAL



REMOÇÃO DO
EXCESSO DE
FLÚOR
EM ÁGUAS
NATURAIS

MANUAL

ADILSON BEN DA COSTA
Doutor em Química

RONALDO BASTOS DOS SANTOS
Acadêmico do Curso de Química Industrial

GISELE STEIL RODRIGUES
Acadêmica do Curso de Química Industrial

ALCIDO KIRST
Mestre em Desenvolvimento Regional

EDUARDO A. LOBO
Doutor em Ciências Aquáticas

Vol. 1
Santa Cruz do Sul - RS

Lupa  Graf

2018

REMOÇÃO DO EXCESSO DE FLÚOR EM ÁGUAS NATURAIS



AUTORES

ADILSON BEN DA COSTA
Doutor em Química

RONALDO BASTOS DOS SANTOS
Acadêmico do Curso de Química Industrial

GISELE STEIL RODRIGUES
Acadêmica do Curso de Química Industrial

ALCIDO KIRST
Mestre em Desenvolvimento Regional

EDUARDO A. LOBO
Doutor em Ciências Aquáticas



UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
Departamento de Biologia e Farmácia
Programa de Pós-graduação em Sistemas e Processos Industriais
Av. Independência, 2293 - CEP 96815-900
Santa Cruz do Sul - RS. Telefone: +55 51 3717 7519
adilson@unisc.br





Esta obra é disponibilizada nos termos da Licença Creative Commons – Atribuição – Não Comercial – Compartilhamento pela mesma licença 4.0 Internacional. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte.

Este manual é um dos produtos da pesquisa "Sistemas de tratamento para desfluoretação parcial de águas subterrâneas com presença de flúor superior à estabelecida na Portaria MS nº 2914/2011", desenvolvida com recursos do Programa de Pesquisa em Saúde e Saneamento da Funasa. A coleção institucional do Ministério da Saúde pode ser acessada, na íntegra, na Biblioteca Virtual em Saúde do Ministério da Saúde: <www.saude.gov.br/bvs>.

Tiragem: 1ª edição – 2018 – 1.000 exemplares

Elaboração, distribuição e informações:

Departamento de Engenharia de Saúde Pública (Densp)
Coordenação Geral de Cooperação Técnica em Saneamento (Cgcot)
Coordenação de Informação e Tecnologia em Saneamento (Codet)
Edifício PO 700 - Setor de Rádio e Televisão Norte (SRTVN)
Quadra 701 - Lote D - 2º andar - Asa Norte
Brasília/DF - CEP: 70.719-040 - Telefone: (61) 3314-6233 - 3314-6518
Email: codet.pesquisa@funasa.gov.br

Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)

Departamento de Biologia e Farmácia
Programa de Pós-graduação em Sistemas e Processos Industriais
Av. Independência 2293, CEP 96815-900, Santa Cruz do Sul – RS
Tel: +55 (51) 3717-7519

Elaboração de Texto:

Adilson Ben da Costa
Ronaldo Bastos dos Santos
Gisele Steil Rodrigues
Alcido Kirst
Eduardo A. Lobo

Projeto gráfico, diagramação e impressão:

Ana Paula Junkherr



Impresso no Brasil / Printed in Brazil

Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde.
Manual para remoção do excesso de flúor em águas naturais / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde; Universidade de Santa Cruz do Sul – Santa Cruz do Sul : UNISC, 2018.

ISBN: 978-85-98355-15-3

1. Tratamento da Água. 2. Qualidade da Água.
3. Água Potável I. Título.

CDD : 628.1

Catálogo na fonte – Divisão de Museu e Biblioteca – Funasa

Sumário

APRESENTAÇÃO	9
O FLÚOR NA ÁGUA DE ABASTECIMENTO	10
SISTEMA DE DESFLUORETAÇÃO	11
SISTEMA DE DESFLUORETAÇÃO POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO DE OSSO Materiais Dimensionamento Montagem e instalação Manutenção	11/14
SISTEMA DE DESFLUORETAÇÃO POR PRECIPITAÇÃO POR CONTATO Materiais Dimensionamento Montagem e instalação Manutenção	15/20
CUIDADOS ESPECIAIS E PRECAUÇÕES	20
CUSTOS DE MONTAGEM E MANUTENÇÃO	20
QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA	21
DISPOSIÇÃO FINAL DO CARVÃO ATIVADO DE OSSO	21
REFERÊNCIAS	22

Lista de Tabelas

Tabela 1. Dimensionamento do sistema de adsorção _____	13
Tabela 2. Descrição dos componentes do sistema de adsorção _____	13
Tabela 3. Dimensionamento do sistema de precipitação por contato _____	17
Tabela 4. Descrição dos componentes do sistema de precipitação por contato _____	18

Lista de Figuras

Figura 1. Sistema de desfluoretação instalado em um bebedor escolar _____	11
Figura 2. Sistema de desfluoretação por precipitação por contato _____	15
Figura 3. Sistema de desfluoretação por precipitação por contato, com 235 kg de carvão ativado de osso _____	17

APRESENTAÇÃO

Este manual reúne os principais resultados do projeto de pesquisa intitulado “Sistemas de tratamento para desfluoretação parcial de águas subterrâneas com presença de flúor superior à estabelecida na Portaria MS nº 2914/2011”.

O projeto teve como tema principal o estudo de sistemas de tratamento para a desfluoretação parcial de águas subterrâneas, utilizando carvão ativado de osso bovino como meio adsorvente. Nesse escopo, foi dada ênfase ao desenvolvimento de sistemas coletivos de abastecimento de água, para atender às necessidades de pequenas comunidades e unidades escolares.

Financiado pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), por meio do Edital 01/2011 e convênio FUNASA Nº 0388/2011, seu desenvolvimento ocorreu na Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), por meio dos grupos de Pesquisa em Limnologia e em Sistemas e Processos Industriais, ambos cadastrados no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Assim, neste manual estão descritas as instruções de montagem, instalação e utilização de dois sistemas de desfluoretação de águas naturais.

O primeiro sistema de desfluoretação atua pelo processo de adsorção em carvão ativado de osso bovino, e é recomendado para o tratamento de água em pontos de uso, tais como em bebedouros, torneiras de cozinha e demais locais onde o uso da água seja para consumo direto. O segundo sistema, atua pelo processo de precipitação por contato que, devido a sua maior eficiência e pelo uso de reagentes químicos, é mais adequado para o tratamento da água distribuída em pequenas redes de abastecimento.

No Brasil, a Portaria Nº 2914/2011, do Ministério da Saúde, determina como 1,5 mg.L⁻¹ o limite máximo de fluoreto na água para abastecimento público. No estado do Rio Grande do Sul, a Secretaria Estadual da Saúde, através da Portaria Nº 10/1999, definiu em 0,8 mg.L⁻¹ a concentração ideal de fluoreto na água destinada ao consumo humano.

O FLÚOR NA ÁGUA DE ABASTECIMENTO

A concentração de flúor na água de abastecimento é um parâmetro muito importante para a saúde da população, pois, quando em concentração adequada, é um importante agente inibidor da cárie dental. No entanto, em níveis elevados, pode provocar uma doença denominada fluorose dental.

A fluorose dental origina-se da exposição do germe dentário, durante o seu processo de formação, a altas concentrações de flúor. Como consequência, ocorre uma mineralização defeituosa do esmalte, diretamente associada à quantidade ingerida (FEJERSKOV et al., 1988; CANGUSSU, 2002). As formas mais leves de fluorose exibem linhas finas, geralmente opacas, que atravessam toda a superfície do esmalte. No entanto, em casos mais graves, a estrutura dental adquire uma coloração acastanhada resultante de um esmalte poroso (FEJERSKOV et al., 1988).

A portaria nº 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) estabelece procedimentos e responsabilidades, que são relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. Essa legislação determina que o limite máximo de flúor nas águas de abastecimento seja de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$. No entanto, a concentração ideal de flúor na água de consumo depende do clima de cada região. Em locais de clima quente, por exemplo, devido ao maior consumo de água, a concentração de flúor presente nesta deve ser inferior à determinada para regiões de clima frio.

No estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, a Secretaria Estadual da Saúde, por meio da Portaria Nº 10/1999 (RIO GRANDE DO SUL, 1999), com base em estudos específicos, definiu em $0,8 \text{ mg.L}^{-1}$ a concentração ideal de flúor na água destinada ao consumo humano, devido a sua ação na inibição da cárie dental, e teores de $0,6$ e $0,9 \text{ mg.L}^{-1}$ como limite mínimo e máximo, respectivamente.

A ocorrência de fluorose dental, associada ao consumo de água subterrânea com concentração excessiva de flúor, já foi comprovada em diferentes países, e no Brasil essa realidade não é diferente. Por exemplo, nos Vales do Rio Pardo e Rio Taquari, RS, estudos desenvolvidos em 500 poços tubulares profundos identificaram dezenas de sistemas de abastecimento utilizando água com concentração excessiva de flúor (LOBO e COSTA, 1998; LOBO et al., 2000).

SISTEMAS DE DESFLUORETAÇÃO

Os sistemas de desfluoretação descritos neste manual caracterizam-se pela fácil montagem e operação. Eles são adequados à qualidade das águas de consumo humano e seguem os parâmetros estabelecidos pela portaria n° 2914/2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Serão descritos, a seguir, os seguintes sistemas de desfluoretação:

- Sistema de desfluoretação por adsorção em carvão ativado de osso;
- Sistema de desfluoretação por precipitação por contato.

SISTEMA DE DESFLUORETAÇÃO POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO DE OSSO

Este sistema foi projetado para o tratamento da água no ponto de consumo, ou seja, em bebedouros, torneiras de cozinha, ou em outros locais de uso para consumo humano, de forma que possa ser determinado um consumo diário de 2 litros por pessoa ao dia. Em unidades escolares, pode ser admitido o consumo de 0,5 L por estudante ao dia (WHO, 2006).



Figura 1. Sistema de desfluoretação instalado em um bebedor escolar

MATERIAIS

A maioria dos materiais necessários para a montagem do filtro de desfluoretação podem ser facilmente adquiridos nas lojas de materiais hidráulicos, contudo, para aquisição do carvão ativado de osso e dos tanques de fibra de vidro, recomendamos os seguintes fornecedores:

- Bonechar Carvão Ativado do Brasil. Rua Pioneira Maria Cavalcanti Ruy, 980. Parque Industrial II, Maringá, PR, CEP 87065-090 (www.bonechar.com.br).
- Pentair Hidro Filtros do Brasil Ind. e Com. de Filtros Ltda. Rua Gérson Andréis, 621 - Distrito Industrial, Caxias do Sul, RS, CEP 95112-130 (<http://www.pentairhidrofiltros.com.br/>).

Por se tratar de um produto de origem animal, é aconselhável a aquisição do carvão ativado de osso apenas de empresas especializadas no fornecimento desse material para sistemas de tratamento de água, devido à garantia de controle sanitário desse produto.

DIMENSIONAMENTO

A seguir, são apresentadas as características de um sistema de desfluoretação por adsorção em carvão ativado de osso e seu dimensionamento para aplicação em escolas e residências. Para isso, foram consideradas as seguintes condições de compromisso:

- Carvão ativado de osso com tamanho de partícula 20 x 60 mesh, e com capacidade de adsorção mínima de 1.200 mg.kg^{-1} , obtido em testes laboratoriais com tempo de equilíbrio mínimo de 240 min;
- Concentração máxima de flúor na água natural de $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$;
- Tempo de contato no processo de filtração de 60 min e 230 min para uso doméstico e escolar, respectivamente.

ATENÇÃO: Demais modelos de dimensionamento podem ser produzidos utilizando o software Defluridation (www.unisc.br/ppgspi).

Tabela 1. Dimensionamento do sistema de adsorção.

VARIÁVEIS	MODELO DOMÉSTICO	MODELO ESCOLAR
Concentração inicial de flúor, mg.L ⁻¹	4,0	4,0
Concentração final de flúor, mg.L ⁻¹	0,5	0,5
Consumidores, p	6	72
Consumo, L.p ⁻¹ .dia ⁻¹	2,0	0,5
Vazão máxima	6,0 L.h ⁻¹ (12 L.dia ⁻¹)	1,5 L.h ⁻¹ (36 L.dia ⁻¹)
Tempo de operação, dia	180	90
Volume de água tratada, L	2.160	3.240
Massa de carvão, kg	6,0	6,0
Capacidade mínima do filtro principal, L	11,0	11,0

Tabela 2. Descrição dos componentes do sistema de adsorção.

COMPONENTES	FUNÇÃO	
Carvão ativado de osso	Adsorver o flúor da água	
Filtro auxiliar, com elemento filtrante de 5 µm	Minimizar o risco de arraste de materiais particulados	
Filtro principal	Conter o carvão ativado de osso e permitir uma distribuição uniforme da água no leito filtrante	
Hidrômetro	Monitorar o volume de água tratada	
Válvula de três vias de acionamento manual	Controlar o fluxo da água nas funções: filtração, retrolavagem e lavagem	
Crepina inferior e superior	Impedir o arraste de carvão nos processos de filtração e retrolavagem	
Tubo de PVC	Conectar a válvula com a crepina inferior	

Assim, um sistema de desfluoretação por adsorção, utilizando 6 kg de carvão ativado de osso, consegue atender às necessidades de consumo de uma família de 6 pessoas por um período de 180 dias. Esse mesmo equipamento, quando instalado em uma escola, atende uma demanda de 72 alunos por um período de 90 dias.

MONTAGEM E INSTALAÇÃO

1. Conectar o tubo de PVC de 1" à crepina inferior.
2. Colocar o tubo de PVC de 1" com a crepina no interior do filtro principal.
3. Transferir a massa de carvão determinada na etapa de dimensionamento para o filtro principal.
4. Conectar a extremidade superior do tubo de PVC na válvula com a crepina superior, previamente conectada.
5. Rosquear a válvula e conectar à rede de abastecimento.
6. Conectar o filtro auxiliar com o elemento filtrante de 5 µm.
7. Colocar a válvula na posição de enxágue e abrir o registro da rede de abastecimento para efetuar o enxágue da coluna de carvão.
8. Retornar a válvula para a posição de filtração.

ATENÇÃO: O volume de água consumida no enxágue equivale a duas ou três vezes o volume do filtro (neste caso 22 a 33 litros). Um condutivímetro portátil pode ser utilizado para comparar a concentração de sólidos totais dissolvidos na água natural e filtrada, para definir o término do processo de enxágue.

MANUTENÇÃO

A manutenção desse sistema de desfluoretação compreende a substituição do carvão ativado de osso, quando atingido o tempo de operação definido no seu dimensionamento.

Contudo, é necessário verificar periodicamente (uma ou duas vezes ao mês) a limpeza do filtro auxiliar. Caso estiver sujo, deve-se proceder a limpeza com água e sabão e enxaguar bem. Água sanitária também pode ser utilizada nesse procedimento. Para isso, preparar uma solução de limpeza, diluindo 50 mL de água sanitária em 500 mL de água.

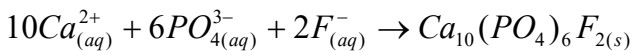
Recomenda-se também que, nos primeiros ciclos de operação do sistema, seja feito um monitoramento periódico da concentração de flúor na água tratada, de forma a certificar que o dimensionamento do sistema está atendendo à demanda.

SISTEMA DE DESFLUORETAÇÃO POR PRECIPITAÇÃO POR CONTATO

Este sistema de desfluoretação utiliza o carvão ativado saturado (usado), que atua como catalisador da reação. Dessa forma, o carvão não precisa ser substituído, como ocorre no processo de adsorção.

O mecanismo de precipitação está fundamentado na reação do flúor com os reagentes cálcio e fósforo, adicionados à água, que formam a fluorapatita, um precipitado de cor branca.

A estequiometria da reação química permite determinar que, na remoção de 1 mg de flúor da água, é necessário adicionar 10,548 e 14,994 mg de Ca^{2+} e PO_4^{3-} , respectivamente.



MATERIAIS

Da mesma forma que para os processos de adsorção, a maioria dos materiais necessários para o sistema de precipitação por contato podem ser facilmente adquiridos nas lojas de materiais hidráulicos. Contudo, para aquisição do carvão ativado de osso e dos tanques de fibra de vidro, recomendamos fornecedores específicos.

Além disso, no processo de precipitação por contato são adicionados dois reagentes químicos. As soluções de cálcio e fósforo podem ser preparadas na concentração de, por exemplo, 4.000 mg.L^{-1} (expresso em massa de Ca^{2+} e PO_4^{3-}) utilizando dihidrogenofosfato de potássio anidro (KH_2PO_4) e cloreto de cálcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), de grau USP (United States Pharmacopeia).

Figura 2. Sistema de desfluoretação por precipitação por contato.



DIMENSIONAMENTO

Esse sistema foi projetado para o abastecimento de redes residenciais, escolares ou de pequenas comunidades. Dessa forma, são apresentadas a seguir as características de dois sistemas de desfluoretação por precipitação por contato (com 25 e 235 kg de carvão), e seu dimensionamento. Para isso, foram consideradas as seguintes condições de compromisso:

- Carvão ativado de osso, com as mesmas características do processo de adsorção, porém este deve estar saturado com flúor. Um procedimento prático é utilizar o sistema inicialmente no mecanismo de adsorção e, após a saturação, iniciar com o mecanismo de precipitação por contato.
- Consumo de água por habitante determinado em 200 L.dia⁻¹.
- Concentração máxima de flúor na água natural de 4,0 mg.L⁻¹.
- Tempo de contato no processo de filtração de ao menos 4,75 minutos.
- Concentração dos reagentes do sistema de 25 kg de carvão = 4.000 mg.L⁻¹.
- Concentração dos reagentes do sistema de 235 kg de carvão = 8.000 mg.L⁻¹.
- A vazão dos reagentes é determinada a partir das seguintes equações:

$$Q_{Ca} = \frac{((Fi - Ft)xQ)x10,548}{C_{Ca}} \quad Q_{PO_4} = \frac{((Fi - Ft)xQ)x14,994}{C_{PO_4}}$$

Onde:

Q_{Ca} – Vazão da solução de cálcio (L.h⁻¹)

Q_{PO_4} – Vazão da solução de fosfato (L.h⁻¹)

Fi – Concentração de flúor na água subterrânea natural (mg.L⁻¹)

Ft – Concentração de flúor (desejável) na água tratada (mg.L⁻¹)

Q – Vazão do sistema de abastecimento (L.h⁻¹)

C_{Ca} – Concentração de cálcio na solução (mg.L⁻¹ de Ca²⁺)

C_{PO_4} – Concentração de fosfato na solução (mg.L⁻¹ de PO₄³⁻)

ATENÇÃO: Demais modelos de dimensionamento podem ser produzidos utilizando o software Defluridation (www.unisc.br/ppgspi).

Figura 3. Sistema de desfluoretação por precipitação por contato, com 235 kg de carvão ativado de osso.

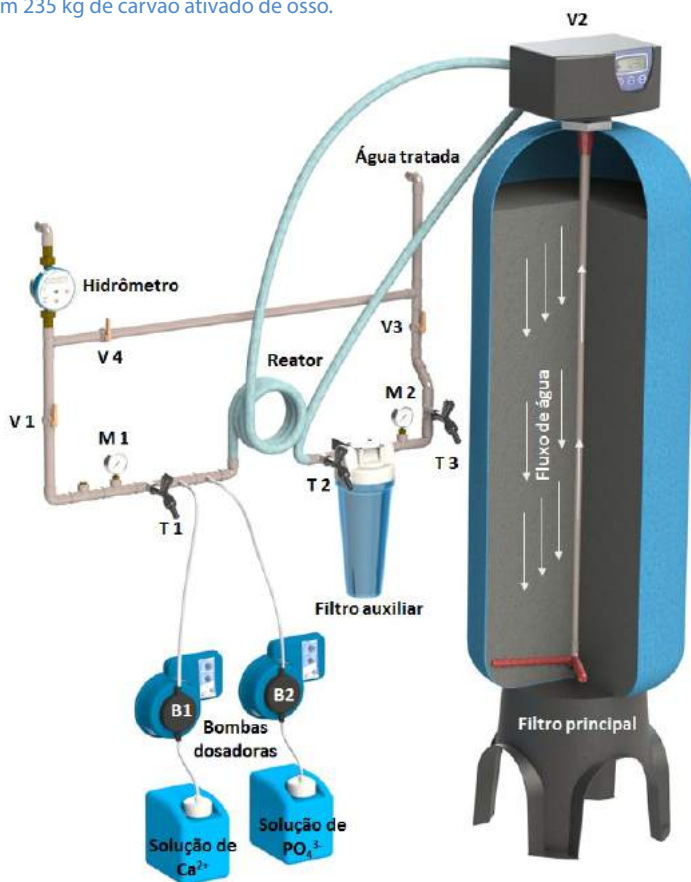


Tabela 3. Dimensionamento do sistema de precipitação por contato.

VARIÁVEIS	MODELO 25	MODELO 235
Concentração inicial de flúor, mg.L ⁻¹	4,0	4,0
Concentração final de flúor, mg.L ⁻¹	0,5	0,5
Consumidores, p	36	343
Consumo, L.p ⁻¹ .dia ⁻¹	200	100
Vazão máxima, L.h ⁻¹	304	2.860
Massa de carvão, kg	25	235
Capacidade mínima do filtro principal, L	44	420
Vazão da Bomba B1, L.h ⁻¹	2,8 ^A	13,2 ^B
Vazão da Bomba B2, L.h ⁻¹	4,0 ^A	18,8 ^B

Onde: A – concentração de 4.000 mg.L⁻¹; B – concentração de 8.000 mg.L⁻¹.

Tabela 4. Descrição dos componentes do sistema de precipitação por contato.

COMPONENTE	DESCRIÇÃO	FUNÇÃO
Bomba dosadora B1	Bomba dosadora de vazão variável (Q: 0-5 L.h ⁻¹)	Dosar a solução de cálcio (Ca ²⁺)
Bomba dosadora B2	Bomba dosadora de vazão variável (Q: 0-5 L.h ⁻¹)	Dosar a solução de fosfato (PO ₄ ³⁻)
Carvão ativado de osso	20 x 60 mesh, saturados	Catalisador do processo de precipitação
Filtro auxiliar	Filtro auxiliar elemento filtrante de 5 a 50 µm	Reduzir o risco de arraste de materiais particulados
Filtro principal	Tanque de fibra de vidro com carvão ativado de osso	Responsável pelo processo de desfluoretação por adsorção e precipitação por contato
Hidrômetro	Hidrômetro vazão mín. de 30 L.h ⁻¹	Monitorar o volume de água tratada
Manômetro M1	Sensor manométrico de glicerina, (0-5 Bar)	Monitorar a pressão da rede de abastecimento para identificar obstruções no sistema de filtração
Manômetro M2	Sensor manométrico de glicerina, (0-5 Bar)	Monitorar a pressão da rede de abastecimento para identificar obstruções no sistema de filtração
Reator	Mangueira flexível KM 1" (3,0 m)	Misturar os reagentes no processo de precipitação por contato
Solução de Ca ²⁺	Reservatório de 10 ou 20 litros com solução de CaCl ₂	Reagente para o processo de precipitação por contato
Solução de PO ₄ ³⁻	Reservatório de 10 ou 20 litros com solução de KH ₂ PO ₄	Reagente para o processo de precipitação por contato
Torneira T1	Torneira tipo jardim (1/2")	Coletar amostras de água natural
Torneira T2	Torneira tipo jardim (1/2")	Coletar amostra da água tratada, antes do filtro de polipropileno. Durante procedimentos de retrolavagem e enxágue do filtro principal, a torneira deve permanecer aberta para a drenagem de resíduos
Torneira T3	Torneira tipo jardim (1/2")	Coletar amostras de água tratada
Válvula V1	Válvula tipo esfera (1")	Controlar a entrada de água para o processo
Válvula V2	Válvula de três vias de acionamento manual ou automático	Controlar o fluxo de água nas funções: filtração, retrolavagem e enxágue
Válvula V3	Válvula tipo esfera (1")	Controlar a saída de água tratada
Válvula V4	Válvula tipo esfera (1")	Permite a manutenção do fluxo de água na rede quando o sistema estiver em manutenção.

Assim, um sistema de desfluoretação por precipitação por contato, utilizando 25 kg de carvão ativado de osso, atende às necessidades de consumo de 36 pessoas, fornecendo 200 L de água por pessoa ao dia. No entanto, um sistema com 235 kg, atende à demanda de uma rede de abastecimento de 343 consumidores.

MONTAGEM E INSTALAÇÃO

1. Conectar o tubo de PVC de 1" ao sistema de distribuição inferior.
2. Colocar o tubo de PVC de 1" com a crepina no interior do filtro principal.
3. Transferir a massa de carvão determinada na etapa de dimensionamento para o filtro principal.
4. Conectar a extremidade superior do tubo de PVC na válvula com a crepina superior, previamente conectada.
5. Rosquear a válvula e conectar à rede de abastecimento.
6. Conectar o filtro auxiliar de polipropileno, com elemento filtrante de 5 a 50 µm.
7. Colocar a válvula na posição de enxágue e abrir o registro da rede de abastecimento para efetuar o enxágue da coluna de carvão.
8. Retornar a válvula para a posição de filtração.

ATENÇÃO: O volume de água consumida no enxágue equivale a 2 ou 3 vezes o volume do filtro (neste caso 22 a 33 litros). Um condutímetro portátil pode ser utilizado para comparar a concentração de sólidos totais dissolvidos na água natural e filtrada, e assim definir o término do processo de enxágue.

MANUTENÇÃO

A manutenção desse sistema de desfluoretação compreende fundamentalmente dois procedimentos. O primeiro diz respeito ao preparo dos reagentes, assim, após dimensionado o sistema de tratamento, é importante manter um estoque das soluções de cálcio e fósforo compatíveis com o volume de água tratada.

Outro fator importante é o monitoramento da pressão da rede de distribuição. O aumento da pressão no filtro e a conseqüente redução da vazão do sistema podem indicar a obstrução do filtro, provocada pelos precipitados formados. Caso isso ocorra, será necessário realizar a retrolavagem do filtro. Proceder do seguinte modo:

1. Fechar a válvula V3, impedindo o fornecimento de água para a rede de distribuição.
2. Posicionar a válvula principal (V2) na posição de retrolavagem e abrir a torneira T2.

3. Monitorar a turbidez da água de retrolavagem.
4. Quando a água estiver novamente translúcida, posicionar a válvula V2 na posição de enxágue. Esse procedimento deve consumir o equivalente a 1 ou 2 vezes o volume do filtro.
5. Terminado o processo, fechar a torneira T2, retornar a válvula V2 para a posição de filtração e abrir a válvula V3.

Recomenda-se que o monitoramento periódico da concentração de flúor da água tratada seja mantido, a fim de certificar se o dimensionamento do sistema está atendendo à demanda.

CUIDADOS ESPECIAIS E PRECAUÇÕES

O carvão ativado de osso é um excelente adsorvente de cloro livre, assim, quando o sistema for instalado em redes de abastecimento de água, deve-se prever a cloração da água após a desfluoretação.

CUSTOS DE MONTAGEM E MANUTENÇÃO

O custo de instalação do sistema de desfluoretação por adsorção pode variar entre R\$ 560,00 e R\$ 850,00, para sistemas com capacidade para 6 e 25 kg de carvão, respectivamente. Nesses sistemas, o custo de manutenção, que corresponde à substituição do carvão, é de aproximadamente R\$ 0,01 por litro de água tratada.

O sistema de precipitação por contato, apresenta um custo de instalação entre R\$ 2.814,00 e R\$ 11.000,00, para sistemas com capacidade para 25 e 235 kg de carvão, respectivamente. O custo de manutenção, que corresponde ao suprimento dos reagentes químicos, é de aproximadamente R\$ 0,20 por metro cúbico de água tratada.

ATENÇÃO: Nesses valores não estão incluídos custos com transporte, mão de obra e energia elétrica.

QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA

Durante o desenvolvimento do projeto de pesquisa que deu origem a este manual, nenhum dos resultados analíticos compromete a qualidade da água para o abastecimento público, de acordo com a Portaria N° 2914/2011 (BRASIL, 2011).

Contudo, devido às características químicas do carvão ativado de osso, bem como do processo de precipitação por contato, pode ocorrer dissolução de sódio, potássio, fósforo e carbonatos na água tratada, principalmente no início do funcionamento do sistema. No entanto, se for seguido o procedimento de enxágue do carvão, antes de ligar o sistema na rede de abastecimento, nenhuma alteração significativa da qualidade da água deve ocorrer.

DISPOSIÇÃO FINAL DO CARVÃO ATIVADO DE OSSO

O carvão ativado de osso é um produto biodegradável de origem natural, composto por cerca de 9-11% de carbono, 70-76% de fosfato tricálcico ou hidroxapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) e carbonato de cálcio (9-11%) (WHO, 2006). Assim, quando saturado, pode ser reaproveitado convenientemente para a fertilização do solo em lavouras, hortas ou jardins.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial União, Brasília, v. 239, p. 39-46, Seção 1, 14 dez. 2011.

CANGUSSU, M. C. T.; NARVAI, P. C.; FERNANDEZ, R. C.; DJEHIZIAN, V. A fluorose dentária no Brasil: uma revisão crítica. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 18 n. 1, p. 7-15, jan-fev, 2002.

COSTA, A. B. Água & Saúde. 1. Ed. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2010.

FEJERSKOV, O.; MANJI, F.; BAELUM, V. Dental Fluorosis: A Handbook for Health Workers; Munksgaard: Copenhagen, Denmark, p. 123, 1988.

LOBO, E. A.; COSTA, A. B. Análise descritiva da concentração de íons fluoreto em poços artesianos da região do Vale do Rio Pardo e Rio Taquari, RS, Brasil. Revista Tecnológica, Santa Cruz do Sul, p. 29-35, 1998.

LOBO, E. A.; COSTA, A. B.; KIRST, A. Qualidade das águas subterrâneas, em relação à concentração de íons fluoretos, na região do vale do Rio Pardo e Rio Taquari, RS, Brasil. In: I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas – ABAS Fortaleza – CE, 2000.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual da Saúde. Portaria Nº 10 de 16 de agosto de 1999. Define teores de concentração do íon fluoreto nas águas para consumo humano fornecidas por sistemas públicos de abastecimento. Diário Oficial do Estado, Porto Alegre, 27 agosto, 1999.

WHO – World Health Organization. Fluoride in drinking-water. London, p. 134, 2006.



 **UNISC**
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL



Ministério da Saúde
Fundação Nacional de Saúde