

# Tratamento de água no ponto de uso por meio da associação de filtro biosand e adsorção com carvão de osso e alumina ativada visando a remoção de microrganismos, turbidez e fluoreto



*Drinking water treatment at point of use through the association of biosand filter and adsorption with bone carbon and activated alumina for removal of microorganisms, turbidity and fluoride*

- **Data de entrada:** 08/12/2022
- **Data de aprovação:** 21/02/2024

Viviana Parada Reina<sup>1\*</sup> | Maria Cristina de Almeida Silva<sup>1</sup> | Antônio Domingues Benetti<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.048>

## ORCID ID

Reina VP  <https://orcid.org/0000-0003-4155-9516>  
Silva MCA  <https://orcid.org/0000-0002-1104-8355>

Benetti AD  <https://orcid.org/0000-0002-5940-8866>

## Resumo

Muitas habitações no Brasil não têm acesso à água segura para consumo, e fluoretos estão presentes em concentrações altas nas águas de poços de várias localidades do Rio Grande do Sul. Nestes casos, o tratamento de água no ponto de uso é uma alternativa para reduzir riscos associados ao consumo de água contaminada. Foi realizado um experimento usando filtros biosand (BSF), para redução de microrganismos e turbidez, seguidos de filtros de carvão de osso (BCF) ou alumina ativada (AAF), para remoção de fluoreto. Os efluentes dos filtros biosand-alumina ativada ou carvão de osso não apresentaram *E. coli* e coliformes totais ao longo do período. As eficiências de remoções de turbidez pelos filtros BSF e AAF foram próximas a 96%. Os filtros de carvão de osso e alumina ativada removeram, respectivamente, 97% e 70% de fluoreto, e os valores de pH aumentaram para 10-12 após passagens por eles. Foi observado o crescimento de biofilmes na superfície do filtro biosand e no fundo dos filtros de AAF e BCF.

**Palavras-chave:** Tratamento de água no ponto de uso. Remoção de flúor da água. Filtro de alumina ativada. Filtro de carvão de osso. Filtro biosand. Remoção de microrganismos. Remoção de turbidez.

## Abstract

*Many households in Brazil lack access to safe drinking water, with fluorides found in high concentrations in well water throughout Rio Grande do Sul. In these cases, point-of-use water treatment is an alternative to reduce risks associated with consumption of contaminated water. An experiment was conducted using biosand filters (BSF) to remove microorganisms and turbidity followed by bone carbon (BCF) or activated alumina filters (AAF) for fluoride removal. Effluents from the biosand-activated alumina or bone carbon showed no *E. coli* and total*

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil.

\* **Autor correspondente:** [vivi.par@hotmail.com](mailto:vivi.par@hotmail.com)

*coliforms during the experiment. Turbidity removal by the BSF and AAF filters showed efficiency close to 96%. Bone carbon and activated alumina filters removed 97% and 70% of fluoride, respectively. pH values increased to 10-12 after application of the BCF and AAF filters. Biofilm grew on the biosand filter surface and on the bottom of the AAF and BCF filters.*

**Keywords:** Point-of-use drinking water treatment. Fluoride removal from water. Activated alumina filter. Bone carbon filter. Biosand filter. Microorganism removal. Turbidity removal.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) reconheceu que todas as pessoas têm direito ao acesso à água potável e ao saneamento para o pleno gozo de vida saudável e digna (*United Nation General Assembly* [UNGA], 2010). Contudo, no Brasil, 35 milhões de pessoas não têm acesso à água tratada, sendo que 30 milhões residem em áreas rurais (Funasa, 2012).

No estado do Rio Grande do Sul (RS), os sistemas de abastecimento de água se limitam às áreas urbanas na maioria dos municípios. A população das zonas rurais usam sistemas alternativos coletivos ou individuais para abastecimento, os quais provêm de fontes naturais e poços freáticos ou artesianos. A qualidade da água dessas fontes deve apresentar características físicas, químicas e biológicas dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação brasileira (Brasil, 2021).

Muitos sistemas de abastecimento de água no Brasil adicionam fluoreto (F<sup>-</sup>) à água potável como estratégia de proteção às cáries dentárias. Entretanto, a ingestão prolongada e contínua de altas concentrações de flúor provoca doenças como fluorose dentária e esquelética, além de diversos tipos de cânceres, danos ao sistema nervoso central e alterações na tireoide e no sistema reprodutor (Fawell *et al.*, 2006; Funasa, 2012).

A Portaria GM/MS n. 888/2021 dispõe que a concentração de fluoreto em águas de abastecimento não ultrapasse 1,5 mg/L (Brasil, 2021), mesma recomendação da Organização Mundial da Saúde

(WHO, 2017). No estado do RS, a Secretaria de Saúde estabelece 0,8 mg/L como a concentração ideal de fluoreto na água destinada ao consumo humano, não devendo estar abaixo ou acima de, respectivamente, 0,6 e 0,9 mg/L (Rio Grande do Sul, 1999). Um estudo realizado pelo Centro Estadual de Vigilância em Saúde do RS, em 2016, avaliou que cerca de 17 mil pessoas que usavam soluções alternativas coletivas ou individuais consumiam água com concentrações de flúor acima do permitido. Para os sistemas de abastecimento de água, esse número era de 435 mil pessoas (CEVS-RS, 2016)

Com relação aos padrões microbiológicos, a Portaria n. 888/2021 estabelece que *Escherichia coli* e coliformes totais devam estar ausentes da água para consumo humano (Brasil, 2021). Contudo, cerca de dois terços dos sistemas de abastecimento de água, que servem até 2.000 pessoas no RS, apresentavam riscos de contaminação fecal (Debiasi; Benetti, 2019).

Tecnologias de tratamento de água no ponto de uso (POU) têm sido recomendadas para aplicações em regiões ou locais onde as famílias não têm acesso aos sistemas convencionais de abastecimento de água potável. Uma dessas tecnologias que têm sido adotadas é o filtro biosand (BSF). O conceito do BSF é semelhante ao do filtro lento, que tem sido usado por comunidades para filtrar a água por mais de 200 anos. É adaptado para operar no ponto de uso e com fluxo intermitente (CAWST, 2012). Vários estudos demonstram que os BSF são eficientes e podem remover pelo menos uma, duas e duas unidades logarítmicas de, respectivamente, vírus,

bactérias e protozoários, além de mais de 95% de turbidez (Loo *et al.*, 2012; Freitas *et al.*, 2022).

A desfluoretação deve ser usada quando a água apresenta concentrações de flúor que podem ser prejudiciais à saúde. Águas subterrâneas em contato com minerais ricos em fluoretos frequentemente apresentam concentrações altas desses íons (WHO, 2017). Existem diversos métodos de desfluoretação da água, como a troca iônica, a osmose inversa, a eletrodialise, a precipitação por contato e a adsorção. Entre as metodologias descritas para uso doméstico, destacam-se a utilização de carvão de osso (CO) e a alumina ativada (AA) como materiais adsorventes (Feenstra; Vasak; Griffioen, 2007).

Este trabalho descreve estudos de três tecnologias de tratamento de água que podem ser usadas no POU. O BSF foi utilizado para a remoção de microrganismos e turbidez. Para fluoreto, foram selecionados o filtro de carvão de osso (BCF) e o filtro de alumina ativada (AAF). A aplicação dessas tecnologias permitiria o acesso de muitas famílias em áreas rurais a uma água mais segura para consumo com impactos positivos na manutenção da saúde

## 2 OBJETIVOS

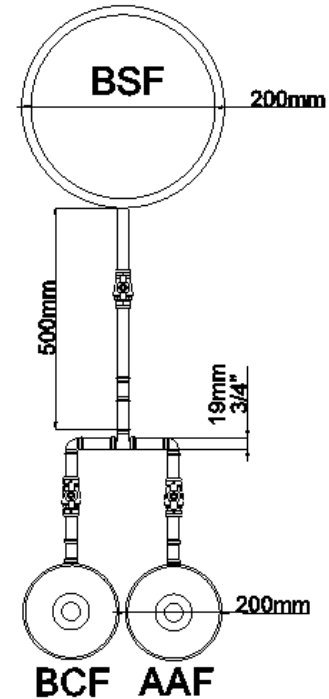
O objetivo do estudo foi avaliar a eficiência do tratamento da água no ponto de uso por filtro biosand, associado a adsorção em carvão de osso e alumina ativada para a remoção conjunta de microrganismos, turbidez e fluoreto. Também foi avaliar as eficácias das sequências de tratamento constituídas por filtro biosand com filtros de alumina ativada ou de carvão de osso.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Desenho e instalação do sistema de tratamento

O sistema de tratamento foi composto por um filtro biosand (BSF) conectado em série aos filtros de carvão de osso (BCF) e alumina ativada (AAF),

instalados em paralelo. A Figura 1 mostra a vista superior da instalação. Os sistemas foram construídos em duplicata, mantendo características idênticas em termos de materiais, dimensionamento, instalação, tempo e metodologia de operação dos sistemas.



**Figura 1** – Vista superior do sistema de tratamento de água formado pelos filtros biosand (BSF), carvão de osso (BCF) e alumina ativada (AAF).

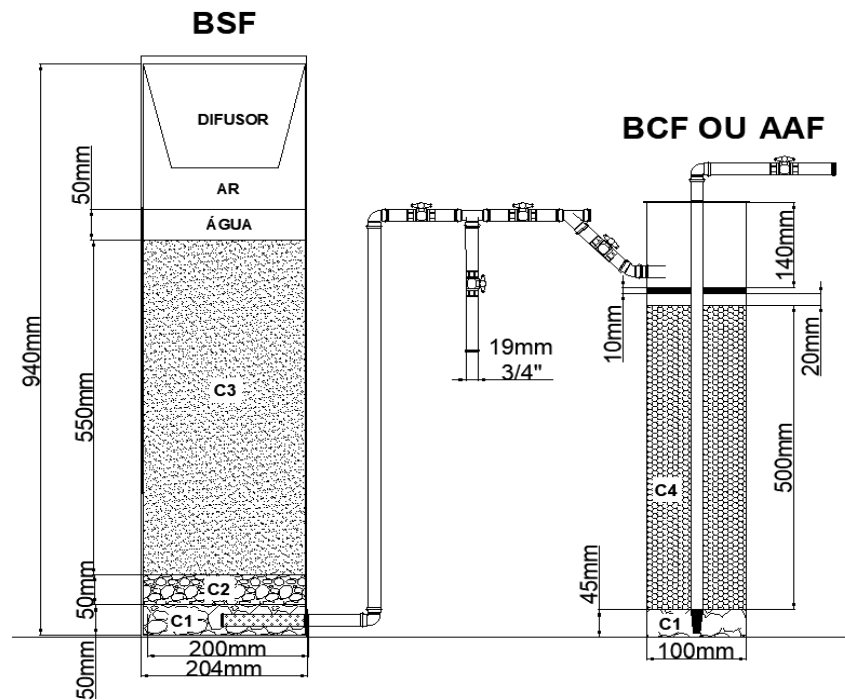
A instalação do BSF se baseou na metodologia proposta pelo *Center of Affordable Water and Sanitation Technology* (CAWST). No entanto, o sistema teve duas pequenas modificações quanto aos materiais e dimensões do desenho recomendados pelo CAWST. A areia e o cascalho utilizados nos filtros foram passados, separadamente, por peneiras de 12,50 mm ( $\pm 1/2''$ ) e de 6,35 mm ( $\pm 1/4''$ ). O cascalho que permaneceu na superfície dessa peneira foi armazenado para ser utilizado como cascalho de drenagem. Na sequência, o restante do material foi passado pela peneira de 0,7 mm ( $\pm 0,03''$ ). O material

retido por essa granulometria foi utilizado como cascalho de separação, enquanto aquele passou pela peneira foi utilizado como areia de filtração. A Figura 2 apresenta a vista lateral do sistema construído, especificando as dimensões no desenho do sistema completo e as respectivas camadas internas do BSF, BCF e AAF.

Após obter as três camadas do material filtrante do BSF, foi realizado o processo de lavagem com água da torneira. A mistura de areia e água foi submetida a agitação manual, seguindo-se o

repouso por 1 minuto. Posteriormente, a água sobrenadante era descartada. Esse processo foi realizado em 9 repetições, até se obter o resultado necessário para cumprir com as características descritas por CAWST (2012).

Os dois materiais adsorventes, AA e CO, foram lavados com água deionizada antes de serem colocados nos filtros. A lavagem tinha o objetivo de remover partículas finas e possíveis impurezas acumuladas desde a sua produção e transporte até o local de utilização dos materiais.



**Figura 2** – Vista lateral das camadas internas e as características do desenho nos filtros, biosand (BSF), carvão de osso (BCF) e alumina ativada (AAF).

C1: camada de cascalho de drenagem; C2: camada de cascalho de separação; C3: camada de areia de filtração; C4: camada de filtração de alumina ativada ou carvão de osso.

Os filtros AAF e BCF tinham filtração descendente, com fluxo da água tratada ascendente. Foram instalados de forma independente, sem mistura dos dois materiais adsorventes, e construídos dois conjuntos em paralelo, cada um recebendo os filtrados do BSF. Na parte inferior de cada um dos AAF e BCF foram instaladas crepinas visando

impedir a passagem de sólidos. As crepinas eram da marca Pluvitec, da empresa Hidro Solo.

O carvão de osso utilizado foi adquirido da empresa Bonechar Carvão Ativado do Brasil, localizada em Maringá, Paraná. Este carvão é manufaturado a partir de ossos bovinos e tinha

diâmetro de partícula de 0,85 mm x 0,30 mm. A alumina ativada foi adquirida da empresa Aquapro Purificação de Águas Eireli Me, de Campo Largo, Paraná. A granulometria utilizada foi de 1,0 mm a 1,6 mm.

### 3.2 Preparação da água afluenta ao filtro biosand

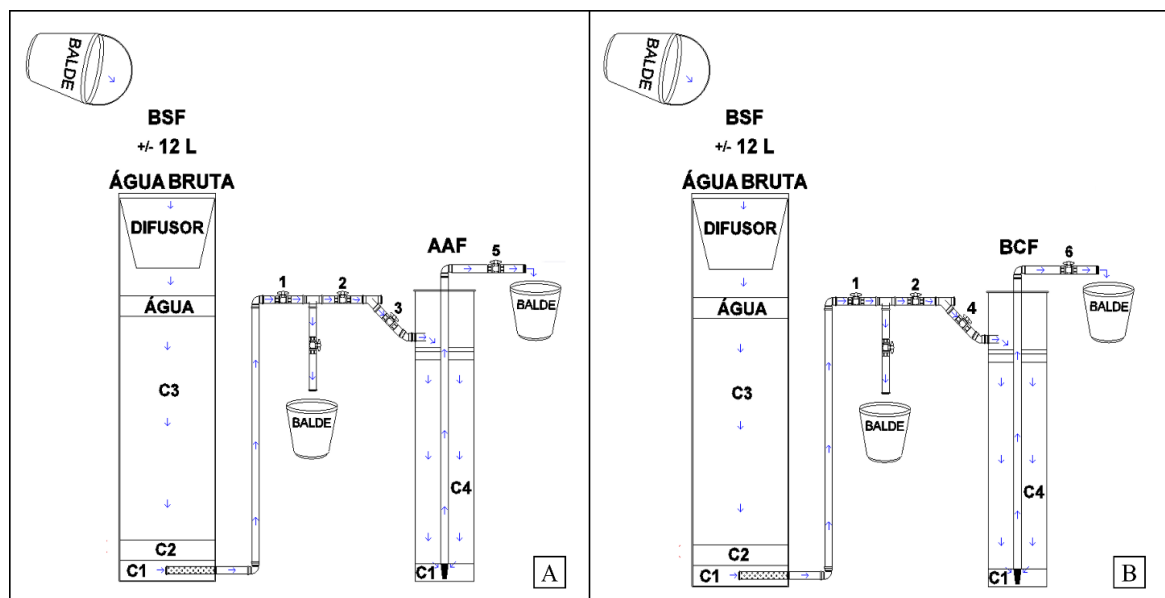
A água afluenta ao BSF foi preparada semanalmente, utilizando-se água de torneira e seguindo quatro etapas: 1º) decloração da água, que corresponde à análise da concentração de cloro na água e sua neutralização com a adição de Tiosulfato de Sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ); 2º) adição de microrganismos de esgotos, em que foi misturado esgoto coletado no vertedor do decantador secundário de estação de tratamento de esgoto localizada na cidade de Porto Alegre (RS), utilizando a proporção 20:80 de efluente e água declorada; 3º) adição de turbidez, na qual foi utilizada caulinita na água para atingir turbidez de 25 NTU e, no dia da preparação da água, eram realizados ensaios com massas de caulinita entre 0,01 g e 0,1 g, uma vez que a turbidez do efluente secundário variava; e 4º) adição de

fluoreto, etapa em que fluoreto de sódio (NaF) foi adicionado à água de modo a se alcançar a concentração de 20 mg/L de fluoreto, valor que pode ser encontrado em alguns poços no estado do Rio Grande do Sul.

### 3.3 Operação do sistema completo de tratamento

Foram construídos dois sistemas em paralelo, constituídos por um BSF seguido por um AAF e um BCF. A Figura 3 apresenta as vistas laterais e as sequências de fluxos dos sistemas de filtros BSF/AAF e BSF/BCF.

A operação do sistema de tratamento tinha início no BSF com a alimentação de 12 L de água bruta, previamente preparada conforme descrito na seção 3.2. A coleta dos efluentes dos BSF aos BCF e AAF era realizada a partir da abertura dos registros 2, 3 e 4 (Figura 3). Os registros 5 e 6 eram regulados para controlar as velocidades de filtração. Amostras dos filtrados dos BSF, AAF e BCF eram coletadas, respectivamente, após os registros 1, 5 e 6. Os filtros foram operados durante 89 dias, com tempos de pausas semanais de 24 horas entre sábado e domingo.



**Figura 3** – Vistas laterais e fluxos de filtração dos sistemas de tratamento completos: a) filtros BSF e AAF, b) filtros BSF e BCF.

BSF: filtro biosand; AAF: filtro de alumina ativada; BCF: filtro de carvão de osso; C1: camada de cascalho de drenagem; C2: camada de cascalho de separação; C3: camada de areia de filtração; C4: camada de filtração de alumina ativada ou carvão de osso.

### 3.4 Monitoramento do sistema de tratamento

Foram feitas análises de pH, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, fluoreto, coliformes totais, *Escherichia coli*, alcalinidade e carbono orgânico total (COT) nos efluentes dos filtros BSF, AAF e BCF. As análises seguiram as metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2017). Todas foram feitas em duplicata. A Tabela 1 mostra os métodos

analíticos e equipamentos usados para cada parâmetro.

O monitoramento de *E. coli* e coliformes totais somente pode iniciar no dia 53 de operação devido a problemas laboratoriais, especificamente de defeito na autoclave. A partir desse dia, foram feitas análises semanais até o fim do experimento, no dia 89. Ao final, foram coletadas amostras de areia, alumina ativada e carvão de osso para análises com Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

**Tabela 1** – Parâmetros, métodos analíticos e equipamentos utilizados nas análises de monitoramento dos sistemas de filtração.

Parâmetro	Método analítico	Equipamento
Alcalinidade	2320 B – Método de Titulação	pHmetro DM-22 da DIGIMED, bureta volumétrica e ácido sulfúrico padronizado
Biofilme	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	Microscópio da marca FEI modelo Inspect F50
Coliformes Totais	9223 B – Teste de substrato enzimático	Colilert, Quanti-Tray/2000
Condutividade	2510 B – Método Laboratorial	Condutímetro de campo KASVI, modelo K53-001
Carbono Orgânico Total	5310 B – Método de Combustão de Alta Temperatura	TOC-LCPH da SHIMADZU
<i>E. coli</i>	9223 B – Teste de substrato enzimático	Colilert, Quanti-Tray/2000
Fluoreto	4110 B – Cromatografia Iônica com Supressão Química da Condutividade do Efluente	Eco IC da Metrohm-Cromatógrafo iônico e ICS-3000 da DIONEX
pH	4500-H+B – Método Eletrométrico	pHmetro de campo KASVI, modelo K39-0014PA
Temperatura da água	2550 B – Métodos Laboratoriais e de Campo	pHmetro de campo KASVI, modelo K39-0014PA
Turbidez	2130 B – Método Nefelométrico	Turbidímetro 2100N da HACH

## 4 RESULTADOS

Os valores médios e desvios padrões das análises realizadas para o monitoramento dos sistemas de filtração são apresentados na Tabela 2.

A Figura 4 apresenta os valores dos parâmetros alcalinidade, condutividade, pH, temperatura da água e

carbono orgânico dissolvido ao longo do período do experimento. Os eixos das abscissas estão em dias ou semanas, dependendo da periodicidade das análises.

A Figura 5 mostra as remoções nas concentrações de *E. coli*, coliformes totais, fluoreto e turbidez nas saídas dos BSF, AAF e BCF ao longo do experimento.

**Tabela 2** – Valores médios e desvios padrões das análises de monitoramento no afluente e efluentes dos filtros biosand (BSF), alumina ativada (AAF) e carvão de osso (BCF).

Parâmetro	Água bruta	BSF	AAF	BCF
<b>Alcalinidade (mg CaCO<sub>3</sub>/L)</b>				
n	13	13	13	13
Média aritmética	8,2	7,8	27,5	50,9
Desvio padrão	0,4	0,4	1,2	2,2

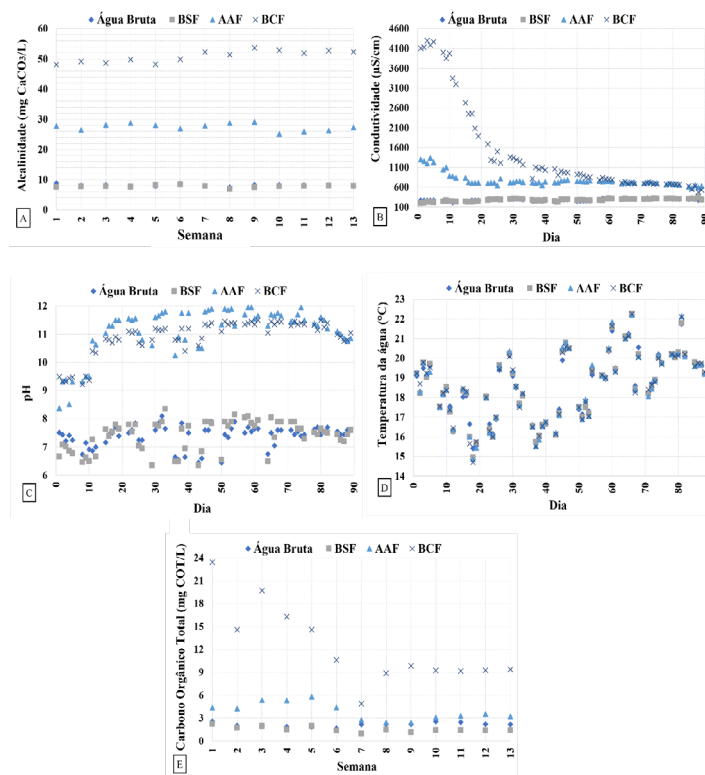
continua...

Tabela 2 - Continuação...

Parâmetro	Água bruta	BSF	AAF	BCF
<b>Condutividade (µS/cm)</b>				
n	89	89	89	89
Média aritmética	288	282	757	1009
Desvio padrão	27	33	166	1158
<b>pH</b>				
n	89	89	89	89
Média aritmética	7,4	7,4	11,1	10,9
Desvio padrão	0,4	0,5	0,9	0,6
<b>Temperatura da água (°C)</b>				
n	89	89	89	89
Média aritmética	18,5	18,5	18,5	18,5
Desvio padrão	1,6	1,7	1,7	1,7
<b>Carbono Orgânico Total (mg COT/L)</b>				
n	10	10	10	10
Média aritmética	2,1	1,5	3,6	11,2
Desvio padrão	0,3	0,4	1,3	10,8
<b>Escherichia Coli (NMP/100 mL)</b>				
n	18	18	18	18
Média geométrica	2862	76	0	0
Desvio padrão	737	46	0	0
<b>Coliformes Totais (NMP/100 mL)</b>				
n	18	18	18	18
Média geométrica	4212	13	5	5
Desvio padrão	1352	159	0	0
<b>Fluoreto (mg/L)</b>				
n	89	89	89	89
Média aritmética	21,1	16,8	4,9	0,8
Desvio padrão	2,9	4,6	2	0,3
<b>Turbidez (NTU)</b>				
n	89	89	89	89
Média aritmética	24,9	0,9	0,9	1,3
Desvio padrão	1,2	0,2	0,2	3,3

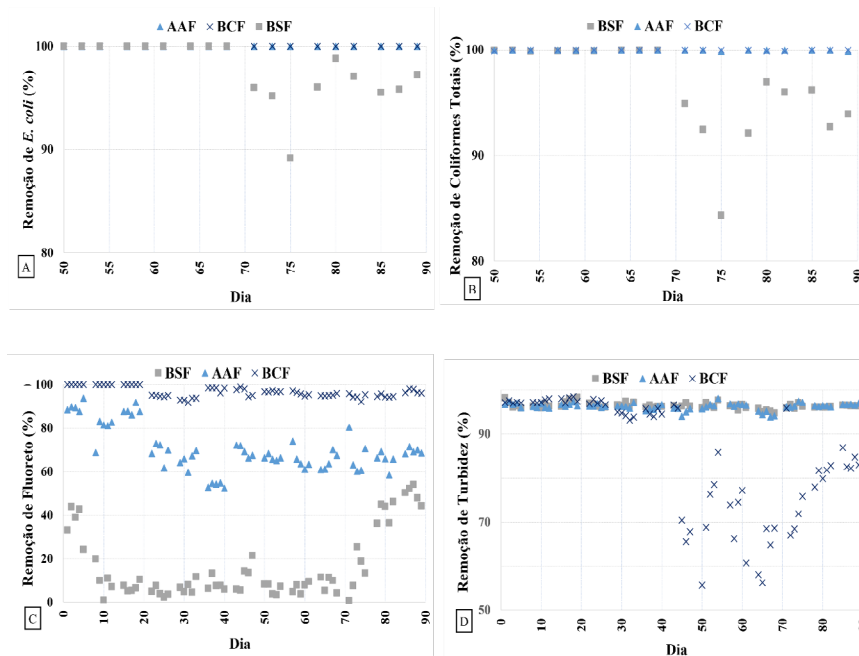
Legenda: n=número de análises





**Figura 4** – Valores medidos dos parâmetros alcalinidade, condutividade, pH, temperatura e carbono orgânico total ao longo do experimento.

Legenda: A – alcalinidade; B – condutividade; C – pH; D – temperatura e E – carbono orgânico total. BSF: filtro biosand; AAF: Filtro de alumina ativada; BCF: filtro de carvão de osso.



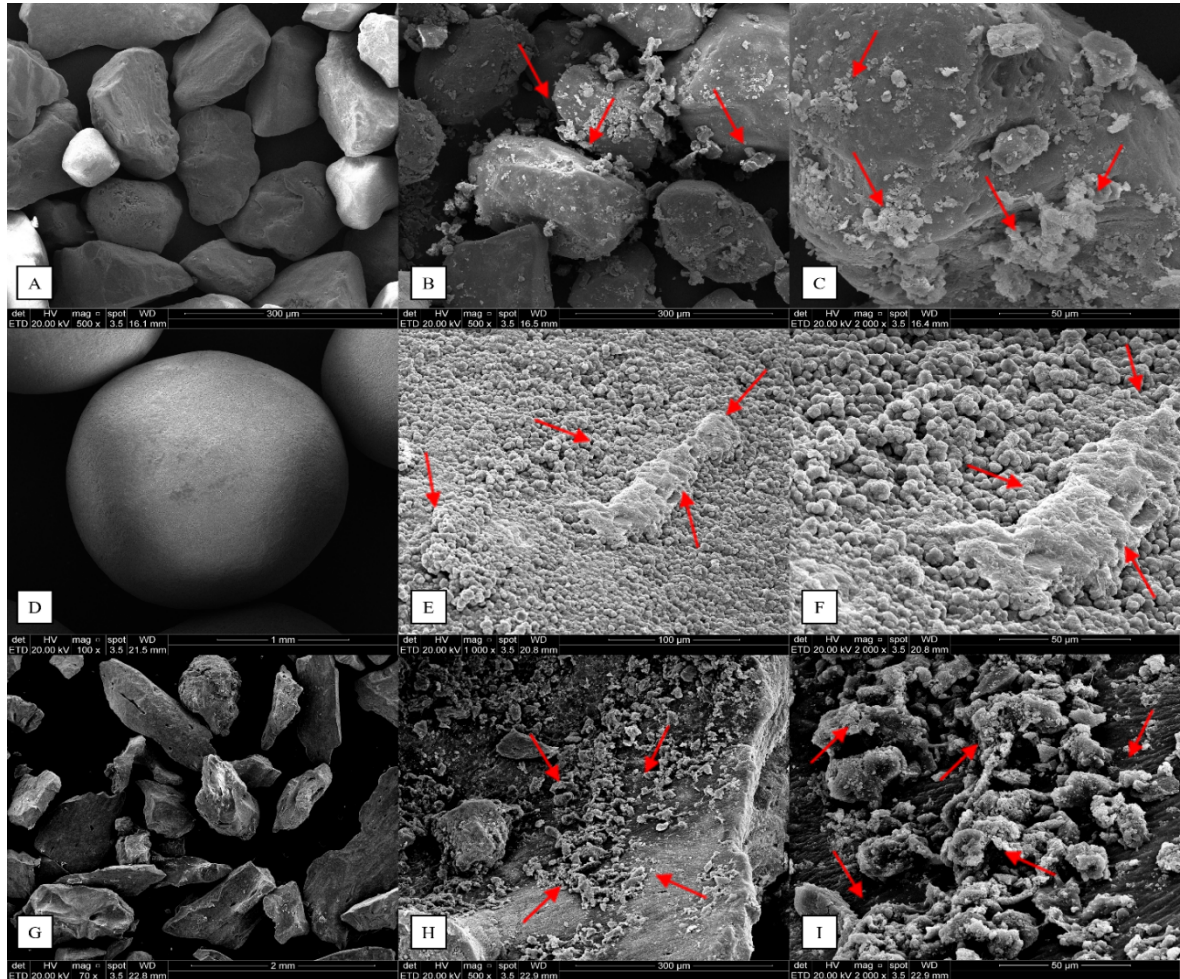
**Figura 5** – Eficiências de remoções de *E. coli*, coliformes totais, fluoretos e turbidez nos filtros biosand (BSF), alumina ativada (AAF) e carvão de osso (BCF), ao longo dos 89 dias de operação do sistema de tratamento.

Legenda: Remoções de *E. coli* (A), coliformes totais (B), fluoreto (C) e turbidez (D). BSF: filtro biosand; AAF: Filtro de alumina ativada; BCF: filtro de carvão de osso.



Amostras de areia (MEV1), da alumina ativada (MEV3) e do carvão de osso (MEV5) limpos foram observados com microscopia eletrônica de varredura. Ao final do experimento, amostras de areia da superfície do filtro BSF (MEV2) e dos fundos dos

filtros AAF (MEV4) e BCF (MV6) foram analisadas no microscópio eletrônico para observação dos biofilmes formados. As fotomicrografias dessas amostras em diferentes magnitudes são apresentadas na Figura 6.



**Figura 6** – Fotomicrografias e magnitudes das amostras analisadas: A) MEV1 em 500 x, B) MEV2 em 500 x, C) MEV2 em 2000 x, D) MEV3 em 100 x, E) MEV4 em 1000 x, F) MEV4 em 2000 x, G) MEV5 em 70 x, H) MEV6 em 500 x e I) MEV6 em 2000x.

MEV1: amostra de areia limpa; MEV2: amostra de areia da superfície do filtro biosand ao final do experimento; MEV3: amostra de alumina ativada limpa; MEV4: amostra de alumina ativada coletada no fundo do filtro ao final do experimento; MEV5: amostra do carvão de osso limpo; MEV6: amostra do carvão de osso coletada no fundo do filtro ao final do experimento.

## 5 DISCUSSÃO

Os valores de pH e as concentrações de alcalinidade no afluente e filtrado do biosand foram praticamente iguais. Contudo, houve aumentos substanciais de alcalinidade nos efluentes dos filtros de alumina ativada e carvão de osso, respectivamente 3,5 e 6,5 vezes maiores que as do

afluente. Os valores de pH também se elevaram, passando de 6,5-7,5 para 10 e 12. Uma possível explicação seria a liberação para o líquido de íons hidroxilas presentes nas superfícies dos materiais (Shinzato et al., 2018). Isso é compatível com os aumentos na alcalinidade. Testes realizados com água destilada passando em filtros preenchidos

com alumina ativada e carvão de osso resultaram em aumentos de pH da mesma ordem., portanto esse incremento de pH esteve ligado aos materiais alumina ativada e carvão de osso. Esse problema foi relatado aos fabricantes da alumina ativada (AguaPro) e do carvão de osso (Bonechar), mas eles indicaram não ter conhecimento sobre as razões para aumentos de pH após passagens pelos filtros.

O filtro biosand não alterou os valores de condutividade elétrica do afluente. Entretanto, como na alcalinidade e pH, houve aumentos de valores nos efluentes dos filtros de alumina ativada e de carvão de osso. Isso significa que esses materiais estavam liberando íons para a água. Ao final do período do experimento, os valores de condutividade nos efluentes dos filtros AAF e BCF eram equivalentes, mas ainda cerca de três vezes acima do filtrado do BSF.

Os filtros operaram sem controle de temperatura, que variou, na maior parte do tempo, entre 16 e 21°C. Os valores de temperatura no afluente e efluentes dos filtros BSF, AAF e BCF foram próximos entre si.

As concentrações de carbono orgânico total (COT) no efluente do filtro biosand foram cerca de 30% menores que no afluente. Houve elevação de concentrações nos filtros de alumina ativada e de carvão de osso, com 9 efluente desse chegando a ter concentrações seis vezes acima daquelas medidas no afluente. Isso pode ser um problema se a água tiver tratamento complementar com cloro, devido ao potencial de formação de subprodutos indesejáveis pela reação com a matéria orgânica presente. O filtro de carvão de osso utilizado tinha cerca de 12% de carbono, segundo o fabricante. O aumento no COT pode ter origem na presença desse carbono, se houve liberação para a água. A alumina ativada é composta por óxidos de alumínio e não há razão para aumento de matéria orgânica no efluente, exceto por impurezas. Contudo, a AA foi lavada antes de ser colocada nas colunas.

As Figuras 5A e 5B mostram que as remoções de *E. coli* e coliformes totais foram altas nos filtrados das colunas de carvão de osso e alumina ativada, mantendo-se próximas a 100%. As remoções nos efluentes dos filtros biosand também foram próximas a 100% até o dia 70 de operação, entretanto, diminuíram a partir daí, permanecendo em torno de 95% até o final do experimento no dia 89. Não houve uma razão específica para essa redução, não havendo mudanças na perda de carga e na velocidade de filtração. Ela também não esteve relacionada a turbidez, cuja remoção esteve acima de 95% ao longo do experimento. A turbidez do efluente do filtro de carvão de osso aumentou após o dia 45, indicando a perda de materiais constituintes do carvão.

O filtro de carvão de osso manteve remoção consistente do íon fluoreto, ficando acima de 95%, enquanto o de alumina ativada esteve na faixa de 60-80%. O filtro biosand reteve cerca de 20% das concentrações de fluoreto do afluente.

O monitoramento dos filtros biosand seguidos por alumina ativada ou carvão de osso permitiu as seguintes observações: 1º) as remoções de *E. coli* e coliformes totais foram próximas a 100% após a passagem nos filtros de AA e CO; 2º) os valores de pH e concentrações de alcalinidade aumentaram substancialmente após os filtros de AA e CO; 3º) os valores de turbidez aumentaram no filtro de CO após 45 dias de operação; 4º) as concentrações de carbono orgânico total no efluente do filtro de CO foram muito superiores àquelas do afluente e efluente do filtro biosand; 5º) O filtro de carvão de osso apresentou maior eficiência na remoção de fluoreto quando comparado ao filtro de alumina ativada.

As fotomicrografias de areia, alumina ativada e carvão de osso tomadas antes do início de operação do sistema de tratamento, respectivamente, A, D e G da Figura 6, mostram morfologias diferentes, com a alumina ativada sendo a mais

regular na forma de esfera. As micrografias B e C mostram o desenvolvimento de biofilmes nas amostras tomadas na superfície do filtro biosand. Biofilmes também se desenvolveram nas amostras de alumina ativada (E e F) e carvão de osso (H e I), tomadas ao fundo dos filtros. Isso é compatível com as concentrações de carbono orgânico total medidas nos efluentes dos filtros de alumina ativada e, especialmente, dos de carvão de osso.

## 6 CONCLUSÕES

Os sistemas de tratamento de água no ponto de uso se destinam, principalmente, as áreas não servidas por redes de abastecimento, como as habitações em zonas rurais. Eventualmente, também podem ser usadas em situações de desastres e emergências, onde ocorre o comprometimento do abastecimento de água. O tratamento de água no ponto de uso permite melhorar a qualidade dela para consumo humano, reduzindo os riscos de aquisição de doenças.

O sistema formado por filtros biosand, seguidos de carvão de osso ou alumina ativada, removeram próximos a 100% de *E. coli* e coliformes totais presentes na água afluente. O filtro biosand sozinho iniciou com remoções próximas a 100%, mas a partir do dia 70, *E. coli* e coliformes totais apareceram no filtrado. As remoções da turbidez da água afluente foram altas, superiores a 95%. Entretanto, ela aumentou no efluente do filtro de carvão de osso a partir do dia 45, possivelmente pela liberação de partículas associadas ao material.

Houve aumento significativo nos valores de pH e concentrações de alcalinidade após passagem pelos filtros de alumina ativada e carvão de osso, chegando a alcançar pH 12. Esse aumento pode ter sido consequência de liberação de íons hidroxilas, sendo compatível com os incrementos medidos na alcalinidade. Também houve aumentos nos valores de condutividade dos filtros de AA e CO, indicando a liberação de íons para a solução.

O filtro de carvão de osso pode remover o fluoreto, consistentemente, em acima de 95% da concentração afluente. Foi mais eficiente que o filtro de alumina ativada, que reduziu entre 60% e 80% de fluoreto. As concentrações de carbono orgânico dissolvido no efluente do filtro de carvão de osso foram muito superiores às do biosand, indicando a liberação de matéria orgânica na água. O que também ocorreu no filtro de alumina ativada, mas em menor grau. Isso é compatível com as observações no microscópio eletrônico da presença de biofilme associado as partículas coletadas nos fundos dos filtros de AA e CO.

Os resultados deste trabalho permitem concluir que houve redução no risco microbiológico da água tratada. Da mesma forma, os íons fluoreto tiveram remoções significativas, especialmente no filtro de carvão de osso, onde o filtrado apresentou concentrações inferiores às estabelecidas pela legislação. Contudo, alguns aspectos foram desfavoráveis, como o aumento excessivo no pH tanto no filtro de alumina ativada quanto no de carvão de osso. Dessa forma, cabe investigar com mais profundidade o aumento do pH nos efluentes dos filtros de CO e AA, assim como a origem das altas concentrações de carbono orgânico dissolvido medidos no filtrado do carvão de osso.

## 7 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

**Conceituação:** Reina VP; **Metodologia:** Reina VP; **Redação – primeira versão:** Reina VP; **Redação – revisão e edição:** Silva MCA, Benetti AD; **Supervisão:** Silva MCA, Benetti AD

## 8 REFERÊNCIAS

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF – WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23rd ed. Washington, DC: APHA, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre

os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ed. 96, sec. 1, p. 69, 2021.

CAWST – CENTER OF AFFORDABLE WATER AND SANITATION TECHNOLOGY. **Biosand filter manual design, construction, installation, operation and maintenance**. Alberta: Creative Commons, 2012.

DEBIASI, R; BENETTI, A. D. A Methodology to Assess Vulnerability in Small Communities Drinking Water Systems. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 24, e44, 2019.

FAWELL, J. et al. **Fluoride in Drinking-Water**. London: IWA Publishing, 2006.

FEENSTRA, L; VASAK, L; GRIFFIOEN, J. **Fluoride in Groundwater**: Overview and Evaluation of Removal Methods. Utrecht: International Groundwater Resources Assessment Centre (Igrac), 2007.

FREITAS, B. L. S. et al. A Critical Overview of Household Slow Sand Filters for Water Treatment. **Water Research**, Oxford, v. 208, 117870, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117870>

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de fluoretação da água para consumo humano**. Brasília, DF: Ministério da Saúde; Fundação Nacional de Saúde, 2012. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/mnl\\_fluoretacao\\_2.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/mnl_fluoretacao_2.pdf). Acesso em: 9 mai. 2021.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR)**. Brasília, DF: Ministério da Saúde; Fundação Nacional de Saúde 2019. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/>

MNL\_PNSR\_2019.pdf/08d94216-fb09-468e-ac-98-afb4ed0483eb. Acesso em: 9 mai. 2021.

LOO, S-L. et al. Emergency Water Supply: A Review of Potential Technologies and Selection Criteria. **Water Research**, Oxford, v. 46, n. 10, p. 3125-3151, 2012.

RIO GRANDE DO SUL. Portaria N. 10/99, de 16 de agosto de 1999. Define Teores de Concentração do Íon Fluoreto nas Águas para Consumo Humano Fornecidas por Sistemas Públicos de Abastecimento. **Secretaria da Saúde**, p. 67, 1999.

RIO GRANDE DO SUL. **Sistema de Vigilância do Teor de Fluoreto na Água Para Consumo Humano no Estado Do Rio Grande Do Sul (vigiflúor)**: relatório anual – 2015. Porto Alegre: Secretaria de Saúde, 2016. Disponível em: <https://www.cevs.rs.gov.br/upload/arquivos/201705/10122236-vigiagua-relatorio-anual-fluor-2015.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2024.

SHINZATO, M. C. et al. Métodos de remoção de íons fluoreto em água. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 39, n. 2, p. 71-89, 2018.

SOBSEY, M. D. **Managing Water in the Home**: Accelerated Health Gains from Improved Water Supply.. Geneva: World Health Organization (WHO), 2002. Disponível em: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/67319/WHO\\_SDE\\_WSH\\_02.07.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/67319/WHO_SDE_WSH_02.07.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em 9 dez. 2020.

UNGA – UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY. Resolution 64/292. **The Human Right to Water and Sanitation**. Geneva: UNGA, 2010.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 4h ed. Geneva: World Health Organization (WHO), 2017.