

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

NÚBIA MALÚ MEDEIROS RODRIGUES

**TRATAMENTO DE ÁGUA COM FILTRAÇÃO LENTA DOMICILIAR
INTERMITENTE**

CERRO LARGO

2022

NÚBIA MALÚ MEDEIROS RODRIGUES

**TRATAMENTO DE ÁGUA COM FILTRAÇÃO LENTA DOMICILIAR
INTERMITENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária

Orientadora: Prof. Dra. Juliana Marques Schöntag

Co-orientador: Ailton Borges Rodrigues

CERRO LARGO

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Rodrigues, Núbia Malú Medeiros
TRATAMENTO DE ÁGUA COM FILTRAÇÃO LENTA DOMICILIAR
INTERMITENTE / Núbia Malú Medeiros Rodrigues. -- 2022.
78 f.:il.

Orientadora: Prof. Dra Juliana Marques Schöntag
Co-orientador: Msc Ailton Borges Rodrigues
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Cerro
Largo, RS, 2022.

I. Schöntag, Juliana Marques, orient. II. Rodrigues,
Ailton Borges, co-orient. III. Universidade Federal da
Fronteira Sul. IV. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

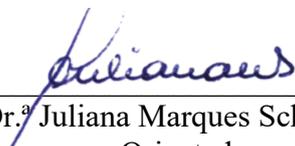
NÚBIA MALÚ MEDEIROS RODRIGUES

**TRATAMENTO DE ÁGUA COM FILTRAÇÃO LENTA DOMICILIAR
INTERMITENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 23/03/2022.

BANCA EXAMINADORA

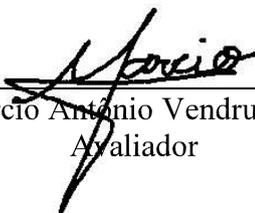

Prof.^a Dr.^a Juliana Marques Schöntag – UFFS
Orientador



Documento assinado digitalmente
Ailton Borges Rodrigues
Data: 06/04/2022 22:09:35-0300

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Ailton Borges Rodrigues – UFSC
Co-orientador


Prof. Dr Márcio Antônio Vendruscolo – UFFS
Avaliador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero manifestar minha gratidão a Deus que torna todas as coisas possíveis e me fortalecendo sempre para superar todas as dificuldades.

A minha mãe Sandra Medeiros por ter sido meu maior apoio, ajudando a superar e nunca desistir dos meus sonhos.

As minhas irmãs Kaciebe e Mauani, pela união e suporte sempre que necessário.

Ao meu companheiro e grande amigo e incentivador Leandro Pellenz por sempre apoiar e crescer juntos.

Agradeço a professora Juliana Marques Schöntag pelas oportunidades, ensinamentos, paciência e pela disposição e orientação.

Ao meu co-orientador Ailton Borges Rodrigues pela paciência, amizade e ensinamentos durante esta etapa.

A Universidade Federal da Fronteira Sul, pela oportunidade da realização da Graduação no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária e pelo suporte fornecido.

Ao Laboratório de Potabilização das Águas (LAPOÁ) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pela disponibilidade dos laboratórios e equipamentos.

As minhas colegas e amigas que fiz nesta caminhada, Stefani Sulzbacher Souza, Bruna Ferreira de Oliveira e Ingrid de Camargo Soffner, que sempre tiveram ao meu lado e principalmente uma apoiando a outra.

A todos que de alguma forma contribuíram ao longo desta minha jornada. Muito Obrigada.

Gratidão

RESUMO

O acesso à água potável ainda é um desafio importante em comunidades isoladas no Brasil. Diante disto, a busca e o aprimoramento de tecnologias alternativas para enfrentar este desafio se apresenta como um tema relevante de pesquisa. A filtração lenta é uma tecnologia antiga de tratamento da água e é caracterizada por ser de simples construção, operação e manutenção, além de não necessitar de mão de obra especializada. Devido a estes aspectos, o processo de filtração lenta para o tratamento de água possui um bom potencial para aplicação em pequenas comunidades isoladas no Brasil, que possuam dificuldades de acesso à água potável. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho de um filtro lento de fluxo intermitente (*BioSand Filters- BSF*) visando o tratamento de água para residências isoladas, utilizando materiais simples e de baixo custo. O filtro foi constituído em uma estrutura de cano de PVC com diâmetro de 250 mm e a altura de 1,0 m. O meio filtrante foi composto por areia, e alimentado intermitentemente duas vezes ao dia com água proveniente do Rio do Meio, localizado no Bairro Trindade, Florianópolis - SC. Para a avaliação da eficiência do filtro lento foram analisados alguns parâmetros de qualidade como: cor aparente e verdadeira, turbidez, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e coliformes totais e fecais. As análises foram realizadas visando a comparação da água bruta com a água filtrada. Os resultados obtidos nesta pesquisa foram satisfatórios, considerando-se assim o *Biosand-filter* eficiente para a remoção significativa da turbidez, cor aparente, coliformes totais e fecais, sem considerar a desinfecção, além disso foi observado que a água filtrada com maior tempo de intermitência aproximadamente 16 horas e 30 minutos, teve mais eficiência de remoção nos resultados obtidos. Esse estudo salienta a eficiência do *Biosand-filter* como uma tecnologia promissora para tratamento e abastecimento de água em comunidades isoladas.

Palavras-chave: Filtro lento; Filtro intermitente; Biosand-filter; Tratamento de água.

ABSTRACT

The access to drinking water is still an important challenge in isolated communities in Brazil. In face of that, the search and improvement of alternative technologies to overcome this challenge emerges as a relevant research topic. The slow filtration is an old water treatment technology, characterized by being simple to build, operate and maintain, in addition to not requiring specialized labor. Due to these aspects, the slow filtration process for water treatment presents a good potential for application in small isolated communities in Brazil, that have difficulties in accessing drinking water. In this context, the present work intends to assess the performance of an intermittent slow filter (*BioSand Filters- BSF*), aiming the water treatment for isolated households, using simple and low-cost materials. The filter was made of a PVC pipe with 250 mm in diameter and 1.0 m in height, with a filtering medium composed of sand, and was fed intermittently twice a day with water from Meio River, located at Bairro Trindade, Florianópolis – SC. For efficiency evaluation of the slow filter some water quality parameters were analyzed, namely: apparent and true color, turbidity, temperature, pH, dissolved oxygen, electric conductivity, total dissolved solids, total and fecal coliforms. The results obtained in this research were satisfactory and it can be considered that the *Biosand-filter* was efficient, with significant removal of turbidity, apparent color, total and fecal coliforms without considering the disinfection, besides that, it was observed that the water filtered with a higher intermittence time, approximately 16 hours and 30 minutes, had a higher removal efficiency in the obtained results. In conclusion, the present work highlights the efficiency of *Biosand-filter* as a promising technology for water treatment and supply in isolated communities. The analyzes were carried out in order to compare the raw water with the filtered water.

Keywords: Slow filter, Intermittent filter, Water treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes do filtro lento doméstico convencional.	28
Figura 2 – Curva Granulométrica Típica de um Material Filtrante.....	33
Figura 3 – Localização do Rio do Meio	36
Figura 4 – Ponto de coleta e água bruta coletada	37
Figura 5 – Esquema do sistema piloto construído.....	38
Figura 6 – Detalhe do Sistema Piloto	39
Figura 7 – Curva granulométrica.....	40
Figura 8 – Granulometrias das Camadas Suportes.....	41
Figura 9 – Antes e depois da limpeza da areia	42
Figura 10 – Método da filtração simples para determinar a cor verdadeira da AB e AF.....	45
Figura 11 – Turbidez.	53
Figura 12 – Oxigênio Dissolvidos	55
Figura 13 – Temperatura	57
Figura 14 – PH.....	59
Figura 15 – Condutividade Elétrica.....	61
Figura 16 – Sólidos Totais Dissolvidos.....	63
Figura 17 – Cor Aparente	65
Figura 18 – Cor verdadeira.....	67
Figura 19 – Coliformes Totais e <i>E. Coli</i>	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Situação do Saneamento Básico no Brasil.....	16
Tabela 2 – Classificação de águas naturais para abastecimento público.....	19
Tabela 3 – Tratamento Requerido em função da Classificação da Água Doce.	20
Tabela 4 – Características de algumas técnicas de tratamento de água.....	21
Tabela 5 – Qualidade da água bruta recomendável para tratamento por filtração lenta.	25
Tabela 6 – Padrões de Potabilidade da água pós-filtração lenta.	25
Tabela 7 – Vantagens e Desvantagens do BSF	29
Tabela 8 – Parâmetros físico, químico e bacteriológico analisados.	44
Tabela 9 – Valores médios e desvio padrão dos parâmetros analisados no processo de tratamento da água comparados aos padrões de potabilidade da água conforme portaria n° 888/2021.	48
Tabela 10 – Eficiência de remoção de turbidez, cor aparente e cor verdadeira do filtro lento	49
Tabela 11 – Eficiência de remoção de coliformes totais e E.Coli do filtro lento	50
Tabela 12 – Resultados quantitativa das análises de coliformes totais e E. Coli (NMP/100 ml).	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Água Bruta
AB 1	Coletada na manhã e colocada no filtro
AB 2	Coletada a tarde e colocada no filtro
AF	Água filtrada
AF 1	A tarde
AF 2	Na manhã do dia seguinte
BSF	Biosand-filters
Cm	Centímetro
C.T	Coliformes Totais
C.u	Coefficiente de uniformidade
D ₁₀	Diâmetro Efetivo
ETA	Estação de Tratamento de Água
FL	Filtração Lenta
FIME	Filtração em Múltiplas Etapas
LAPÓÁ	Laboratório de Potabilização das Águas
LIMA	Laboratório Integrado de Meio Ambiente
L	Litro
m	Metro
mg/L	Miligramas por Litros
mm	Milímetro
MS	Ministério da Saúde
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadora
Nm	Nanómetro
OD	Oxigênio dissolvido
OE	Condutividade Elétrica
OMS	Organização Mundial de Saúde
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO	14
1.1.1	OBJETIVO GERAL	14
1.1.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL	15
2.1.1	Abastecimento de água potável	17
2.2	TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO	18
2.3	FILTRAÇÃO	20
2.3.1	Mecanismo de filtração em relação à taxa de filtração	22
2.3.2	Filtração lenta	23
2.4	<i>BIOSAND FILTER</i> (BSF)	26
2.4.1	Mecanismo de remoção de impurezas do BSF	29
2.4.2	Limpeza e manutenção	31
2.4.3	Tempo e Amadurecimento	31
2.5	MATERIAL FILTANTE	32
2.5.1	Areia	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	35
3.2	QUALIDADE DA ÁGUA DE ESTUDO	35
3.3	DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO	38
3.3.1	Meios Filtrantes	40
3.3.2	Camada suporte	41
3.4	LIMPEZA E MANUTENÇÃO	41
3.5	PARÂMETROS MONITORADOS	42
3.5.1	Parâmetros físicos, químico e bacteriológicos	43
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA DO EXPERIMENTO	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	QUALIDADE DA ÁGUA FILTRADA	47
4.1.1	Influência do meio filtrante na qualidade da água produzida	50

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e a expansão das cidades cresceram também as buscas por água de qualidade para o consumo humano. O tratamento da água de abastecimento público é essencial, visando garantir seu fornecimento com qualidade e quantidade adequadas, de forma a atender as necessidades da população e garantindo a saúde e bem estar de cada indivíduo (TSUTIYA, 2014). De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), cerca de 35 milhões de brasileiros, que corresponde a 16,4% da população, não são atendidos com abastecimento da água tratada e 46,8% não tem o acesso a coleta de esgoto, o que corresponde quase 100 milhões de brasileiros (SNIS, 2019).

A Organização das Nações Unidas (ONU) definiu em 2015, os objetivos para o desenvolvimento sustentável global, de forma a serem cumpridos até o ano de 2030. O objetivo principal é propor a disponibilidade e gestão sustentável de água e saneamento para todos. Para que isso seja possível, foram propostas algumas metas, como o alcance e o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos, melhorar a qualidade de água e aumentar a quantidade substancialmente de abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e diminuir o número de pessoas que sofrem com a falta de água até 2030 (ONU, 2015).

No meio rural os dados referentes ao saneamento básico são alarmantes. Segundo a base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE, 2021), o acesso ao sistema de abastecimento de água de fonte segura nas áreas rurais no ano de 2015, era apenas 35% dos domicílios de rede geral. Desta maneira, a população do meio rural não atendida com água em qualidade e quantidade não apropriada ao consumo humano é de 65%, sendo assim expostos as doenças de veiculação hídrica.

Atualmente, no Brasil o tipo de tratamento utilizado nas Estações de Tratamento de Água é o convencional, que engloba todas as fases necessárias para esse tratamento na maioria dos casos (clarificação e desinfecção), há também os tratamentos com simples desinfecção, simplificado, convencional e o tratamento avançado. Diante do cenário brasileiro, onde há a falta de água tratada em comunidades isoladas, se tornaram relevantes os estudos e a busca por técnicas de tratamento, a fim de possibilitar que as populações nestas áreas afastadas tenham acesso a uma água potável.

A filtração lenta é uma técnica de tratamento antiga que vem sendo aplicada desde o século XIX, nos sistemas públicos, sendo assim, é amplamente utilizada ao redor do mundo (NAKAMOTO; GRAHAM; GIMBEL, 2014). Diversos autores como, Logsdon *et al.*, (2002);

Medina; Duarte, (2011); Murtha; Heller; Libânio, (1997) consideram o filtro lento uma excelente alternativa para o fornecimento de água potável em áreas rurais em escala domiciliar ou para comunidades isoladas, quando há um manancial próximo as residências. A filtração lenta é de simples construção, operação e manutenção, e apresenta custos acessíveis ao produtor rural e para as comunidades isoladas que irão utilizar essa alternativa de tratamento de água (NASCIMENTO; PELEGRINI; BRITO, 2012). Nessa técnica não há necessidade de aplicação de produtos químicos e devido a isso, a mão de obra necessária para realizar a operação não necessita ser especializada. (GIMBEL; GRAHAM; COLLINS, 2006; SÁ, 2006)

Em 1990, o Dr. David Manz desenvolveu o *BioSand Filter* (BSF) em escala doméstica, na Universidade de Calgary no Canadá (CAWST, 2012). O BSF é adaptado para uso de operação intermitente, tornando-o adequado para o uso doméstico, o recipiente pode ser feito de concreto ou plástico e preenchido com camadas de areias e cascalho selecionados e preparados para o sistema de filtração (CAWST, 2009).

A água bruta é introduzida na parte superior do filtro, passando pela camada de areia e por fim saindo do sistema de filtração com uma qualidade melhor. O sistema de filtração lenta se torna eficiente devido a formação da camada biológica nos primeiros centímetros da camada filtrante, chamada de *Schmutzdecke*. É no *Schmutzdecke* onde ocorrem os principais processos biológicos de remoção de impurezas que estão presentes na água bruta (LIBÂNIO, 2010). Segundo Manz; Eng, (2007) o BSF é capaz de remover aproximadamente 90% a 99% de vírus e bactérias e 100% de parasitas, contribuindo assim para a diminuição e incidência de doenças de veiculação hídrica. Os filtros lentos são capazes de remover cerca de 50 a 60% de cor verdadeira, deixando a desejar neste parâmetro, o que pode prejudicar a estética da água (PIZZOLATTI, 2010).

Assim, esse estudo visa adaptar um sistema de filtro lento de fluxo intermitente em escala piloto, contendo como material filtrante a areia a fim de, verificar a eficácia desse filtro em produzir água de boa qualidade, comparando os parâmetros de qualidade obtidos após o tratamento, com os que são recomendados pela Portaria n° 888/2021 pelo Ministério da Saúde, para o consumo humano.

O estudo foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina, *campus* Florianópolis. O BSF teve como camada filtrante a areia e pedras britas na camada suporte. A intenção desse estudo foi avaliar o desempenho da tecnologia do BSF com o objetivo para que se obtenha água adequado ao consumo humano seguro e eficiente.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem por objetivo a aplicação e monitoramento de um filtro lento doméstico de fluxo intermitente – *BioSand-filter* (BSF), visando o tratamento de água para consumo humano, utilizando materiais simples e acessíveis, com baixo custo de operação e manutenção.

1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Avaliar o desempenho hidráulico de um filtro lento fluxo intermitente (*BioSand-Filters*- BSF);
- Analisar a qualidade da água obtida após a aplicação do tratamento por BSF, para os seguintes parâmetros: cor aparente, cor verdadeira, turbidez, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e coliformes totais e *E. Coli*;
- Avaliar a qualidade da água obtida após a aplicação da tecnologia e comparar com os padrões recomendados pela Portaria n° 888/2021 do Ministério da Saúde;

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), o saneamento básico responde pelo controle de fatores físicos, que quando não gerenciados, podem exercer efeitos nocivos aos humanos, afetando negativamente, o bem-estar, social, econômico, físico ou mental do homem. O saneamento básico constitui em um conjunto de serviços públicos e de infraestrutura, isto é, as instalações operacionais de drenagem, manejo das águas pluviais urbanas, abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos, segundo a Política Nacional do Saneamento Básico (BRASIL, 2020).

O Brasil está na 9^o posição na economia mundial, mas o país ocupa a posição 112^o no ranking de infraestrutura de saneamento básico quando comparada a outros países do mundo (CEBDS, 2019). Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) o acesso ao saneamento básico adequado impacta positivamente na economia, na qualidade de vida, e na saúde das pessoas de um país, pois favorece um ambiente saudável e adequado diminuindo gastos na área da saúde pública. Os investimentos demandados pela área da saúde devido à ausência de saneamento poderiam ser redirecionados a outras áreas como a educação, por exemplo (LIBERATO, 2016).

A jornada para que toda a população tenha o acesso ao saneamento básico adequado no Brasil é lenta. A lei Federal nº 14.026/2020 atualiza o marco legal Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e cria os comitês interministeriais de saneamento básico (BRASIL 2020). A atualização do novo marco do saneamento básico no Brasil através da Lei Federal nº 14.026 conhecida como Lei Federal do Saneamento Básico, estabelece metas, como no Art.11-B, que determina o atendimento de 99% da população com água potável e 90% da população com coleta e tratamento de esgoto até o dia 31 de dezembro de 2033 (BRASIL 2020).

Na Tabela 1 é apresentado o percentual médio dos índices de atendimento de rede de água e esgoto distribuídos entre as macrorregiões geográficas, além de apresentar a média brasileira (SNIS, 2019). Segundo esse painel de informações do Sistema Nacional de Informações sobre saneamento (SNIS), apresentado em 2019, o índice total do Brasil referente ao abastecimento de água é de 83,7% e de coleta de esgoto 54,1%. Comparando as macrorregiões brasileiras, o Norte apresenta índices inferiores à média nacional tanto para

abastecimento de água, quanto coleta de esgoto, sendo esses índices de 57,5% e 12,3% respectivamente. Já o Sudeste tem os índices maiores, ou seja, de 91,1% para abastecimento de água e 79,5% para coleta de esgoto.

Tabela 1 – Situação do Saneamento Básico no Brasil.

Macrorregião	Índice de atendimento com rede (%)			
	Água		Coleta de Esgoto	
	Total	Urbano	Total	Urbano
Norte	57,5	70,4	12,3	15,8
Nordeste	73,9	88,2	28,3	36,7
Sudeste	91,1	95,9	79,5	83,7
Sul	90,5	98,7	46,3	53,1
Centro-Oeste	89,7	97,6	57,7	63,6
Brasil	83,7	92,9	54,1	61,9

Fonte: SNIS (2019)

Como aponta Saiani e Toneto Júnior, (2010), o déficit ao acesso à serviços de saneamento básico está associado à renda média mensal de cada consumidor. À medida que a renda mensal se eleva, há uma tendência de aumento de acesso dos domicílios ao saneamento. De acordo com o IBGE, para a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios no ano base de 2015 (IBGE, 2019) em relação aos dados, verificou-se que apenas 35% dos domicílios que estão localizados em zona rural tem acesso a uma fonte de água potável e segura e 5,3% tem acesso a rede de coleta de esgoto.

A existência do Saneamento é de extrema importância para a saúde coletiva, com ele evitam-se casos de doenças graves e morte de indivíduos. Além disso, existe uma parcela da população que habita lugares inapropriados e com condições sanitárias inadequadas, como por exemplo, populações que ocupam as margens de rios e encostas de morros, que estão vulneráveis e susceptíveis a doenças infectocontagiosas (de Menezes & Uchoa, 2011).

2.1.1 Abastecimento de água potável

O planeta terra é composto por 70% de água. Dos quais, 97,5% são água salgada, o que é imprópria para o consumo humano e animais e os outros 2,5% são de água doce disponível para a utilização nas diversas atividades animais e humanas (GAIO, 2016). A água é um recurso natural de extrema importância para a humanidade, ela é indispensável para o abastecimento público. As populações necessitam da água fundamentalmente para a dessedentação e atividades de higiene pessoal. (TSUTIYA, 2006). Segundo Gomes (2016), a água em todo o momento influenciou e acompanhou a crescente trajetória da humanidade, até mesmo no assentamento das populações ao longo de nossa história, sendo assim utilizada para atender as necessidades das pessoas.

A Política Nacional de Saneamento Básico, a lei nº 14.026, estabelece o abastecimento de água potável, que é formado pela atividade, disponibilidade e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais que são necessárias ao abastecimento, desde a captação da água até as ligações prediais e os seus instrumentos de medição. A mesma estabelece no Art. 3-A, que os serviços públicos de abastecimento de água constituem desde a captação da água bruta, adução, reservação, tratamento, distribuição, e ligação predial, incluindo também os instrumentos de medição de vazões (BRASIL, 2020).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) para assegurar as necessidades básicas e minimizar os problemas de saúde são necessários cerca de 50 a 100 litros de água por dia por pessoa, além disso a OMS informa que a fonte de água deve estar localizada a uma distância de 1.000 metros da residência e o tempo para a realização da coleta não deverá ultrapassar 30 minutos (OHCHR; UM-HABITAT; WHO,2010). O serviço público de abastecimento de água é indispensável para as pessoas, pois garante o direito de acesso à água potável. Deve-se entender, além disso, que a prestação dos serviços de abastecimento deve ser contínua e não podendo ser paralisada ou interrompida. (COSTA, I. G. Da; MELLO, 2021).

O sistema convencional de abastecimento de água é composto por unidades operacionais que são responsáveis pela captação, transporte, tratamento, reservação e a distribuição da água (ABNT,2017). Através de diferentes registros e pesquisa foi observado o desenvolvimento de técnicas do abastecimento e aumento da consciência em relação à qualidade da água que é distribuída para as pessoas (HELLER; DE PADUA, 2006). No sistema de abastecimento público, geralmente, os mananciais superficiais são utilizados como fonte de fornecimento de água. Devido à contaminação desses mananciais superficiais, devem ser

levados em conta aspectos específicos sobre a qualidade dessas águas, como o tipo de tratamento que estas devem receber antes de ser distribuída para a população. (TCHOBANOGLIOUS et al., 2016). Essas águas contaminadas podem conter microrganismos patogênicos, que podem causar doenças, como por exemplo, a cólera, amebíase, hepatite infecciosa, entre outras (VON SPERLING, 2005).

2.2 TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

É sabido que a destinação de água não tratada ao abastecimento público pode ocasionar uma série de doenças nos seres humanos, e por isso o tratamento da água é essencial (GOMES, 2016). Segundo a portaria de nº 888, de 4 de maio de 2021, que dispõe sobre o controle e a vigilância da qualidade da água para o consumo humano e os padrões de potabilidade no Art. 14, indica que cabe ao responsável pelo Sistema de Abastecimento de água (SAA), a operação e manutenção das instalações destinadas ao abastecimento da água potável, de forma adequado e respeitando as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e outras normas pertinentes (BRASIL, 2021).

O tratamento de água é constituído por processos de remoção das partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos patogênicos, entre outras substâncias que podem estar presentes na água e afetar a saúde humana (LIBÂNIO, 2010). Para a definição das tecnologias a serem empregadas no tratamento é necessária uma avaliação das características físicas, químicas e biológicas da água bruta (LIBÂNIO, 2010). De acordo com Duarte (2011), as tecnologias de tratamento de água são classificadas em dois grupos: de ciclos completo ou convencional, ou seja, inclui todas as etapas do processo de coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração e a desinfecção; e as de filtração direta, onde a filtração será ascendente e/ou descendente, dupla filtração e filtração lenta e posteriormente seguida por desinfecção, e não serão necessárias as etapas de coagulação, flotação e floculação.

De acordo com a NBR 12216 (ABNT, 1992), a qualidade de água bruta a ser tratada pelo filtro lento é do tipo B, águas subterrâneas ou superficiais provenientes de bacias que possam se enquadrar no padrão de potabilidade mediante o processo de tratamento que não exija coagulação químicos. A Tabela 2 apresenta a Classificação de águas naturais para o abastecimento público.

Tabela 2 – Classificação de águas naturais para abastecimento público.

Características	Tipo			
	A	B	C	D
DBO₅ (mg/L)				
Média	Até 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 4,0	> 4,0
Máxima, (qualquer amostra)	1- 3	3- 4	4 - 6	> 6,0
Coliformes (NMP/100 mL)				
Média mensal	50 - 100	100 - 5000	5000 - 20000	> 20000
Máximo	> 100 cm menos de 5% das amostras	> 5000 cm menos de 20% das amostras	> 20000 cm menos de 5% das amostras	-
pH	5 - 9	5 - 9	5 - 9	3,8 - 10,3
Cloretos	< 50	50 - 250	250 - 600	600
Fluoretos	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0	-

Fonte: NBR 12216, (1992).

Segundo a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de águas e as diretrizes ambientais para o enquadramento como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e outras providências. Nesta Resolução, além de classificar os corpos hídricos, são estabelecidos os tratamentos a serem empregados a cada tipo de água. A Tabela 3 apresenta o tratamento determinado pela Resolução, de acordo com a classificação das águas doces. Há basicamente 4 classes e a indicação de tratamento.

Tabela 3 – Tratamento Requerido em função da Classificação da Água Doce.

Classificação	Tratamento requerido
Classe especial	Desinfecção
Classe 1	Tratamento simplificado
Classe 2	Tratamento convencional
Classe 3	Tratamento convencional ou avançado
Classe 4	Águas destinadas a usos menos exigentes

Fonte: Conama nº 357/2005.

Além das tecnologias existentes para o tratamento de água, existe a filtração em múltiplas etapas (FIME), ela se baseia em combinação de um pré-filtro dinâmico ou em leito de pedregulho posteriormente seguindo de um filtro lento (Di BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999). Segundo Léo Heller; Valter Lúcio de Pádua, (2010), o método de FIME é aplicado em manancial com pior qualidade de água (física, química e microbiológicas), devido às chuvas intensas e frequentes haverá uma variação de turbidez ou mananciais com elevadas concentração de algas.

Para a implementação de filtros lentos em ETAs, em decorrência dos filtros serem operados com baixa taxa de filtração, requerem um espaço maiores do que as demais técnicas de tratamento de água que também utilizam a filtração em areia, por isso pode se tornar difícil a construção desse sistema em áreas urbanas (LÉO HELLER; VALTER LÚCIO DE PÁDUA, 2010).

2.3 FILTRAÇÃO

Segundo Richter (2009), a filtração é a etapa de maior relevância para os processos de tratamento de água, pois tem a função de remover as partículas em suspensão. A remoção dessas partículas ocorre quando há a passagem da água por um meio poroso, e geralmente esse elemento filtrante é a areia (BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999). O processo de filtração é indispensável no tratamento de água, pois remove partículas que agregam cor e turbidez. A presença dessas partículas diminuiria a eficiência da desinfecção e conseqüentemente a remoção de patógenos. Também nas estações de tratamento convencional, a filtração tem a função de corrigir falhas que ocorreram nas etapas de

coagulação, floculação e sedimentação, finalizando o tratamento de forma mais confiável e garantindo uma água de boa qualidade para o abastecimento público (LIBÂNIO, 2010).

Os processos de filtração podem ser classificados em dois tipos diferentes: filtração rápida e filtração lenta. A rápida apresenta uma taxa de filtração entre 150 e 600 m³/m².d, já a lenta apresenta taxas inferiores a 6 m³/m².d. (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

Para utilizar a filtração rápida e a mesma ser eficiente, a água bruta deve passar primeiro pelas etapas de pré-tratamento que são os processos de coagulação química, floculação ou flotação, decantação e sedimentação (LIBÂNIO, 2010). A necessidade de implementação dessas etapas no tratamento dependerá da qualidade inicial da água bruta que será tratada (BÁSICO *et al.*, 1999). Os filtros rápidos são empregados geralmente nas Estações de Tratamento de Água (ETA) Convencionais (KERRY HOWE, DAVID HAND, JOHN CRITTENDEM, R. RHODES, TRUSSELL, 2016).

Na Tabela 4 é apresentada uma comparação de diferentes técnicas de tratamento de água, juntamente com as vantagens e desvantagens de cada uma delas.

Tabela 4 – Características de algumas técnicas de tratamento de água

Parâmetro	Técnica de tratamento			
	Filtração lenta	Filtração direta descendente	Filtração direta ascendente	Tratamento convencional
Operação	Simples	Especializada	Especializada	Especializada
Consumo de coagulantes	Nulo	Baixo	Baixo	Alto
Resistência a variação da qualidade da água	Baixa	Baixa	Moderada	Alta
Limpeza dos filtros	Raspagem da camada superficial	Fluxo ascendentes	Fluxo ascendentes	Fluxo ascendentes
Porte da estação	Usual limitar a pequenas instalações	Sem limitações	Sem limitações	Sem limitações
Custo de implantação (US\$/hab.)	10 a 100	2 a 30	5 a 45	10 a 60
Necessidade de área	Grande	Pequena	Pequena	Media

Fonte: Adaptado de BARROS et al (1995).

De acordo com Vianna (2002) a filtração lenta geralmente não apresenta a necessidade de pré-tratamento, como na filtração rápida, pois somente é indicada para o tratamento de águas com boa qualidade. Os filtros lentos (FL) são de fácil operação, basta que o operador entenda o funcionamento deles (LOGSDON; FOX, 1982).

2.3.1 Mecanismo de filtração em relação à taxa de filtração

De acordo com Libânio (2010), a filtração rápida é constituída por um conjunto de mecanismos de transporte e de aderência. Os mecanismos de transportes são responsáveis por carregarem as partículas que estão presentes na água para a filtração. Estas partículas são carregadas até a superfície dos grãos, ocorrendo então o mecanismo de aderência, que é quando as partículas estão bem próximas aos grãos. As partículas ficam retidas pelos grãos do elemento filtrante e são removidas da água. Na sequência do processo de filtração as partículas que foram aderidas se acumulam na superfície dos grãos e conseqüentemente diminuem o espaço entre eles. À medida que aumenta a velocidade da água nos interstícios, aumenta também o cisalhamento e por conseqüência o desprendimento destas partículas. Estas partículas soltas são novamente arrastadas para outras camadas mais profundas do filtro, onde são aderidas novamente (LÉO HELLER; VALTER LÚCIO DE PÁDUA, 2010).

Já a filtração lenta permite que três mecanismos atuem na remoção das partículas durante o tratamento da água: transporte, aderência e atividade biológica. No processo de filtração lenta a água passa pelo meio filtrante sendo filtrada. Ao entrar em contato com a superfície dos grãos do elemento filtrante essas impurezas ficam retidas (SÁ, 2006). De acordo com Heller; Padua (2006), são utilizadas pequenas granulometrias de areia, pois assim ocorre uma melhor retenção das impurezas pela camada filtrante.

Segundo Huisman; Leendert; WOOD, (1974), os filtros lentos normalmente apresentam fluxo descendente, na filtração lenta descendente a água bruta entra na parte superior do filtro e flui para a parte de baixo do filtro por gravidade, sendo filtrada pelo meio. Na parte superior do meio filtrante forma a camada sobrenadante, onde ocorrem os processos biológicos e a decantação. Essa camada biológica formada na superfície do elemento filtrante é chamada de *schmutzdecke*. O *schmutzdecke*, é constituído por diversas espécies microbianas, ou seja, bactérias, protozoários e algas, que podem ter interação biológicas, como por exemplo, a competição pelo espaço (SÁ, 2006). Para que a filtração lenta ocorra com eficiência, o processo dependerá da camada biológica, que necessita de um certo tempo para a sua formação, em

outras palavras, leva dias ou semanas para se formar. O tempo de maturação para a formação do *Schmutzdecke* depende fundamentalmente das características da água bruta que é utilizada para a filtração (HELLER; DE PADUA, 2006).

2.3.2 Filtração lenta

Como já mencionado, a filtração lenta é uma tecnologia antiga de purificação da água, que é estudada durante anos, pois tem eficiência de remoção de microrganismo, turbidez e outros parâmetros de qualidade. Segundo Costa, R. H. R. (1980) e Hespanhol (1969), em 1804 na cidade Paisley, na Escócia John Gibbs construiu o primeiro filtro lento experimental. No mesmo ano de 1804, não eram conhecidos os processos e mecanismos da filtração lenta, ou seja, este processo era conhecido apenas por remover as impurezas da água, através do processo natural de peneiramento, produzindo uma água sem gosto, cor e turbidez (DI BERNARDO, 1989).

A primeira vez que o método de filtração lenta foi usado como um processo de tratamento de água foi em 1828, construído por James Simpson, para o abastecimento público na cidade de Londres (DA COSTA, R. H. R., 1980; HESPANHOL, 1969). Mas, esse processo somente foi comprovado no ano de 1892, na Alemanha, nas cidades vizinhas Hamburgo e Altona, em virtude da contaminação que aconteceu no Rio Elbe. Comprovou-se também que de fato, a filtração lenta era eficiente na remoção de microrganismos patogênicos, visto que, em ambas as cidades captavam água do rio e naquele ano ocorreu uma epidemia de cólera, que acarretou em óbitos em ambas. Porém, cerca de 7582 pessoas morreram na cidade Hamburgo, enquanto apenas 328 morreram em Altona. Destaca-se que naquele período o único tratamento utilizado em Hamburgo era sedimentação simples, já em Altona a água captada no rio Elbe era filtrada por meio de filtros lentos (HUISMAN, L, 1982).

A filtração lenta foi utilizada até a década de 60, em algumas cidades brasileiras, entretanto, a maioria destas instalações precisou ser reformada e transformada em sistemas de tratamento convencional, com uso de coagulantes químicos (DI BERNANRDO, 2005). Com o passar dos anos, foi observado que as águas dos mananciais de captação estavam ficando cada vez mais poluídas e precisavam ser implementadas em áreas menores. Com isso foram surgindo novas tecnologias para o tratamento de água, e conseqüentemente os sistemas de filtração lenta foram perdendo espaço, principalmente para o tratamento de água por processo convencional,

com coagulação, floculação, decantação e filtração rápida (BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

Basicamente a filtração lenta exige para o seu bom funcionamento uma água bruta de boa aparência e qualidade. Essa água passa por um meio poroso (normalmente areia), para remover as impurezas, e esse processo envolve fenômenos físicos, químicos e biológicos (DI BERNARDO; DANTAS, 1993). A técnica é caracterizada por ser uma tecnologia simples, eficiente e de fácil construção e operação (NAKAMOTO; GRAHAM; GIMBEL, 2014), não necessitando de mão de obra qualificada, e sendo economicamente viável, além de não empregar coagulantes ou produtos químicos (GIMBEL; GRAHAM; COLLINS, 2006).

De acordo com Libânio (2010), a filtração lenta tem uma taxa de filtração entre 2 a 6 m³/m³.d. A técnica de filtração lenta para tratamento de água produz uma menor quantidade de lodo (MARRARA, 2005). O filtro lento é uma ótima alternativa a ser aplicada em pequenas comunidades e também em escala domiciliar das áreas rurais, pois nestas comunidades, muitas vezes, há a negligência no abastecimento de água tratada (LOGSDON *et al.*, 2002).

Segundo Pizzolatti (2010), para que a filtração lenta tenha uma boa eficiência é necessário que a água bruta tenha características específicas, o filtro lento é bastante eficiente em reduzir os níveis de turbidez e microrganismos patogênicos.

De acordo com Bernardo; Brandão; Heller (1999), para o filtro lento ter um bom desempenho na remoção de microrganismo depende da:

- Taxa de filtração, quanto menor, maior a remoção;
- Temperatura, quanto maior, maiores serão os índices de remoção;
- Granulometria da areia, quanto menor, maior será a remoção;
- Espessura do meio filtrante, quanto mais espesso o meio, mais eficiente será maturação da camada biológica.

Conforme mencionado anteriormente, a atividade biológica possui grande importância para filtração, pois o filtro depende diretamente desta camada para que seja eficiente. Os mecanismos que atuam na camada biológica estão relacionados na atuação dos microrganismos. Essa camada biológica se desenvolve nos primeiros centímetros da camada de areia, no topo do meio filtrante e é chamado de *schmutzdecke* (BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

Conforme apresentado na Tabela 5, alguns critérios de qualidade da água bruta recomendáveis para a aplicação do tratamento por filtração lenta.

Tabela 5 – Qualidade da água bruta recomendável para tratamento por filtração lenta.

Características da água	Valores Máximos Recomendáveis	
	Di Bernardo (1993)	Cleasby (1991)
Turbidez (uT)	10	5
Cor verdadeira (uC)	5	-
Ferro (mg Fe/l)	1	0,3
Manganês (mg Mn/L)	0,2	0,05
Algas	250 UPA/mL	5 µg clorofila-a/L
Coli. Totais (NMP/100ml)	1000	-

Fonte: Di Bernardo, Brandão e Heller (1999).

A Portaria de nº 888, de maio de 2021 do Ministério da Saúde, estabelece que os padrões de potabilidade da água após a filtração lenta apresentem os valores indicados na Tabela 6.

Tabela 6 – Padrões de Potabilidade da água pós-filtração lenta.

Parâmetro	Padrões de potabilidade da água (Portaria de Consolidação nº 888/2021 do Ministério da Saúde)
Turbidez (uT)	1
Cor aparente (uH)	15 (VMP)
pH	6,0 – 9,5
Coliformes totais (NMP/100 ml)	Ausente em 100 mL
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	Ausência em 100 mL

VMP = Valor máximo permitido

Fonte: Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde.

Com o passar do tempo realizando a técnica de filtração lenta deve-se observar a necessidade de realizar a limpeza periódica do filtro lento, pois a camada de *Schmuzdecke* cresce e dificulta a filtração da água bruta, e a qualidade da água filtrada tende a piorar e, além do que há redução das taxas de filtração. Assim, deverá ser feita a limpeza do filtro, e para isso geralmente é utilizado o método de raspagem. Inicialmente são fechadas as tubulações que levam água até o filtro, a água que está presente no meio filtrante é drenada até abaixo da superfície, depois disto, é retirado cerca de um a dois centímetros do topo da camada do elemento filtrante. Após a raspagem será necessário um curto período de amadurecimento da

areia remanescente, pois ela já possui os microrganismos (Di BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999). O elemento filtrante retirado do filtro, no caso a areia, deverá ser lavado com a água corrente, e esta areia será reposta quanto a altura do meio filtrante estiver entre 50 a 60 centímetros de altura (BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

Segundo Summers; Shimabuku; Zearley (2014), recentemente a filtração lenta vem sendo reconhecida por sua capacidade de remover contaminantes emergentes como agrotóxicos, produtos farmacêuticos e higiene pessoal e cuidados.

2.4 *BIOSAND FILTER (BSF)*

Este modelo de filtro lento doméstico foi desenvolvido pelo Dr. David Manz em 1990 na universidade de Calgary no Canadá. O BSF é uma tecnologia que trabalha em regime intermitente de alimentação e foi adaptado ao uso doméstico em detrimento a filtração lenta tradicional, com inúmeras inovações. Segundo o relatório do ano de 2017 de CAWST mais de 10 milhões de pessoas foram beneficiadas por instalação de filtro lentos domiciliar (CAWST,2017). Os *Biosand filters* (BSF) são uma alternativa de filtração de grande relevância para obter uma água apropriada ao consumo humano, pois o filtro tem a característica de remover vírus e bactérias cuja técnica é viável principalmente para comunidades isoladas que não tem acesso á água tratada (JENKINS; TIWARI; DARBY, 2011).

De acordo com BRASIL, (2019), os filtros de fluxo intermitente são aqueles com fluxos não constantes, isso quer dizer que há uma pausa no abastecimento de água no filtro, de no máximo de 48 horas, pois pausas maiores não são recomendáveis, devido à necessidade de circulação da água, trazendo oxigênio e nutrientes, de forma a garantir a eficiência da atividade biológica no filtro.

O BSF é utilizado para fornecer água potável a indivíduos que se encontram em áreas isoladas, como por exemplo, áreas rurais ou comunidades que o fornecimento e o abastecimento da água tratada não são eficientes. O sistema pode ser aplicado a comunidades pequenas, quando a água que o alimentará seja proveniente das chuvas, rios, lagos, águas subterrâneas e águas superficiais, principalmente àquelas residências que não estão conectadas a uma rede de abastecimento público. Este sistema de tratamento é um meio de tratar a água em escala doméstica (CAWST, 2012). Pode se construir um BSF eficiente para o tratamento de água domiciliar, pois há facilidade no uso, mínima manutenção e disponibilidade de acesso aos elementos de construção (NAPOTNIK; BAKER; JELLISON, 2021).

Segundo Guan *et al.*, (2020), o BSF é um sistema de tratamento de água aplicável à domicílios, e é constituído por areia (elemento filtrante) e pedregulhos (camada suporte), podem ser confeccionados em concreto ou de plástico, como por exemplo o PVC. Dentro destes recipientes é aplicado o elemento filtrante, normalmente areia fina, além da camada suporte.

O BSF é capaz de remover aproximadamente 100% de partículas grandes e 90% a 99% de remoção de bactérias e vírus (MANZ; ENG, 2007)

De acordo com Cawst (2012), o BSF foi planejado para poder operar em regime intermitente, pois permite que o elemento filtrante permaneça submerso em água, basta que se eleve o ponto de saída do filtro a uma posição acima do elemento filtrante. Como aponta CAWST, (2009) o tempo de intermitência se refere ao intervalo em que o filtro é alimentado, ou seja, é realizado uma pausa entre cada adição da água bruta. O tempo recomendado entre as alimentações por água bruta é de 1 a 48 horas de intermitência. Esse intervalo entre as alimentações ou intermitência é adequada, de forma que os microrganismos presentes no *schmutzdecke* tenham mais tempo para consumir os patógenos e partículas presentes na água.

Dentro do filtro se desenvolve a camada biológica que atinge entre 2 a 5 cm de espessura acima do meio filtrante. Esta camada forma um filme biológico em torno dos grãos do meio filtrante e então auxilia na purificação da água que está sendo filtrada (LIBÂNIO, 2010).

Uma lâmina de água inferior a 5 cm acima do meio filtrante pode evaporar rapidamente em dias quentes causando o secamento na camada biológica e, prejudicando a eficiência do filtro (CAWST, 2009). A camada biológica é formada naturalmente e pode levar até 30 dias para o amadurecimento do filtro (MANZ; ENG, 2007). Segundo o Di Bernardo; Brandão; Heller, (1999) o *Schmutzdecke* é formado por partículas inertes de matéria orgânica e diversos microrganismos, tais como bactérias, algas, protozoário,s entre outros.

O BSF exige algumas características da água bruta, como por exemplo, a água bruta que será inserida no filtro deve conter boa qualidade e baixa turbidez, uma vez que apresentar níveis de turbidez elevado haverá rápida colmatação e a carreira de filtração se encerrará rapidamente, pois o filtro necessitará de limpeza (CAWST, 2009).

Segundo Cawst (2009) são removidos os patógenos e sólidos suspensos por ação conjunta da camada biológica e de processos físicos que ocorrem dentro da camada filtrante de areia, e estes processos incluem a captura mecânica e o consumo dos patógenos pelos microrganismos presentes no *Schmutzdecke*. Os sólidos em suspensão são retidos nos espaços entre os grãos de areia, e os microrganismos consomem os patógenos presentes. Há também a adsorção desses patógenos, que se une aos sólidos suspensos na água e aos grãos de areia, e por

fim, a morte natural dos microrganismos patogênicos porque finalizaram seu ciclo de vida ou acabam morrendo por não haver comida ou oxigênio para eles sobreviverem (CAWST, 2009)

De acordo com a Figura 1, os componentes do BSF são: **tampa** (prato), que é ajustada corretamente para evitar a contaminação por pragas que são indesejadas para o filtro; **difusor**, que evita a perturbação da camada de areia e protege a camada biológica, tendo a função de distribuir a água bruta de maneira uniforme quando ela é colocada no filtro; **material filtrante**, que é a camada de areia que remove os patógenos e sólidos em suspensão; o **tubo de saída**, da água filtrada que é responsável por conduzir a água drenada da base para o exterior do filtro; **estrutura de concreto ou de plástico do filtro**, ou seja, o corpo de filtro que sustenta areia e a camada suporte composta por cascalho ou brita; **camada suporte de brita ou pedregulho**, que drena a água e suporta a camada filtrante.

Figura 1 – Componentes do filtro lento doméstico convencional.



Fonte: Adaptado CAWST (2009).

De acordo com Cawst (2009), não é recomendável ingerir água sem que ela tenha passado por algum tipo de tratamento, mesmo que ela apresente boas características físicas, pois ela pode conter diversos microrganismos, micróbios e insetos, alguns deles podem ser inofensivos, mas outros podem causar doenças. O BSF é uma tecnologia de tratamento de água

que tem boa eficiência na remoção de patógenos, como por exemplo, as bactérias, vírus, protozoários além de diminuir a turbidez (CAWST, 2009).

Na Tabela 7, são apresentadas as principais vantagens e desvantagens do BSF.

Tabela 7 – Vantagens e Desvantagens do BSF

Vantagens	Desvantagens
Nenhum produto químico requerido	Eficiência de desinfecção afetada pela turbidez
Simples de usar	Longo tempo de arranque (amadurecimento do filtro)
Pode ser construído usando materiais locais (de baixo custo)	Baixa taxa de filtração
Redução documentada de protozoários e bactérias	Manutenção regular
	Pouca remoção de vírus
Redução documentada de risco diarreicos	Difícil implantação rápida

Fonte: (LOO *et al.*, 2012)

Segundo o manual *Biosand Filter*, projeto, construção, instalação, operação e manutenção desenvolvido pela organização CAWST (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology), o qual traz que a taxa de carregamento do filtro ou a taxa de filtração não deve ser superior a 400 L/ h/ m² e o volume do reservatório e até 12 litros e geralmente leva-se pelo menos 1 hora após a água ter parado de fluir e o tempo de intermitência no máximo 48 horas CAWST (2009)

2.4.1 Mecanismo de remoção de impurezas do BSF

Os filtros lentos tradicionais e os intermitentes possuem diferenças. Enquanto o filtro lento tradicional é operado continuamente e suas taxas de filtração são constantes, o BFS é operado intermitentemente com uma taxa filtração que varia durante a operação do mesmo

(STAUBER, 2007). De acordo com Cawst (2009) o funcionamento do BSF tem cinco zonas distintas, são elas:

1. **Zona do reservatório**, onde a água é despejada na entrada do filtro;
2. **Zona de água parada**, mantendo a areia úmida;
3. **Zona biológica**, onde se desenvolve no topo da superfície filtrante o *Schmuzdecke*, perfazendo cerca de 5 e 10 cm de espessura;
4. **Zona não biológica**, constitui a camada de elemento filtrante onde não haverá nenhum microrganismo vivo, pois não há nutrientes e oxigênio para o seu desenvolvimento;
5. **Zona da camada suporte composta por brita ou cascalho**, que mantém a camada de areia no lugar e protege (drena) a tubulação de saída da água filtrada de maneira a não entupir.

Basicamente o processo de filtração por BSF acontece quando a água bruta que será tratada passa lentamente pelo difusor e se infiltra na camada biológica, areia e camada suporte, e por fim, a água filtrada flui naturalmente pelo tubo de saída (CAWST, 2012). No início da filtração, as bactérias predadoras que são provenientes da água bruta crescem de uma forma seletiva nos primeiros centímetros da camada filtrante, e essa camada forma uma coloração castanha escura (PIZZOLATTI, 2010).

Como mencionado anteriormente, os mecanismos que influenciam na remoção de microrganismos são: coagem; predação dos microrganismos; adsorção e a morte desses microrganismos. No mecanismo de coagem observa-se que alguns patógenos e partículas que estão presente na água bruta ficam recolhidos por serem maiores que as partículas do meio filtrante (areia), a predação dos microrganismos consiste na etapa em que esses microrganismos presentes na água bruta servirão de alimento a outros microrganismos e inclusive a matéria orgânica que a água bruta contém. O mecanismo de adsorção consiste na etapa que os patógenos e as partículas coloidais ficam aderidas ao meio filtrante, e por fim, a morte natural ou por falta de oxigênio e alimentos dentro do BSF (CAWST,2009).

Segundo Cawst (2009), a camada biológica se adapta com o tempo e com a quantidade de contaminantes presentes na água bruta. Se for utilizada uma fonte de água distinta na mesma filtração, a camada biológica pode não ser capaz de remover todos os patógenos, e elevar o tempo de amadurecimento dessa camada biológica. Assim, é recomendado que a fonte de água bruta seja sempre a mesma de forma a garantir a eficiência do tratamento e do filtro.

A maturação completa do *schmutzdecke* pode levar cerca de 30 dias, ou seja, o processo de formação do *schmutzdecke* pode variar entre filtros, sendo mais curto ou mais longo os períodos de maturação, o que vai depender da quantidade e qualidade da água bruta que será tratada (CAWST, 2009).

2.4.2 Limpeza e manutenção

A limpeza do filtro lento é uma das etapas mais importantes no processo de tratamento por BSF. De acordo com Richter (2009) o filtro lento deve ser limpo corretamente, pois a limpeza interfere diretamente na qualidade da água filtrada, quando o filtro não é limpo corretamente, a eficiência é mínima e a qualidade da água filtrada diminui.

A limpeza do filtro é realizada de forma periódica. Segundo Pizzolatti (2010), a limpeza do filtro deve ser realizada quando a perda de carga estipulada for atingida, isso ocorre quando a lâmina de água acima da camada filtrante atinge determinada altura que é previamente definida em função da capacidade de armazenamento do filtro ou a taxa de alimentação do filtro é maior que a taxa de filtração.

De acordo com Manz; Eng, (2007) o processo de limpeza do BSF é simples. Recomenda-se que a água bruta seja inserida até a metade com o difusor no lugar, a partir disso, o difusor é removido com as mãos ou com o auxílio de algum material, tais como, colher ou espátula. Essa água sobrenadante deve ser agitada, fazendo com que este meio filtrante até os primeiros centímetros seja revolvido. Após isso, esta água pode ser removida com um copo. E por fim é nivelado o meio filtrante e repõe-se o prato difusor e continua-se a operação de filtração.

2.4.3 Tempo e Amadurecimento

Segundo Manz; Eng (2007) a camada biológica do filtro não está formada no início da operação, a eficiência de remoção é baixa, predominando os mecanismos de coagem e de aderência, até o momento que esteja estabelecido o *schmutzdecke*, o tempo de amadurecimento pode levar algumas semanas ou meses. Após esse período de amadurecimento o filtro é capaz de remover vírus, bactérias e parasitas.

O período de amadurecimento é estabelecido a partir do início da operação até o momento em que a qualidade da água filtrada atinja o seu melhor desempenho (maior remoção de parâmetros). A evolução da qualidade da água filtrada pode ser acompanhada através da relação tempo e turbidez por exemplo, que é indicada quando os índices de turbidez atingem os menores valores e mantêm-se estável por um período, até a necessidade da próxima limpeza. O *schmutzdecke* estará desenvolvido e ativo nesse período em que a água filtrada apresentará sua melhor qualidade, o que é chamado de início da carreira de filtração, ou período de vida útil do filtro (AGUILA; DI BERNARDO, 2003)

No meio filtrante, a taxa do crescimento dos microrganismos dependerá da quantidade de matéria suspensa que a água bruta carrega e da granulometria da areia. O tempo de desenvolvimento microbiológico em relação à qualidade da água produzida é conhecida como taxa de maturação biológica (NEVES, 1987).

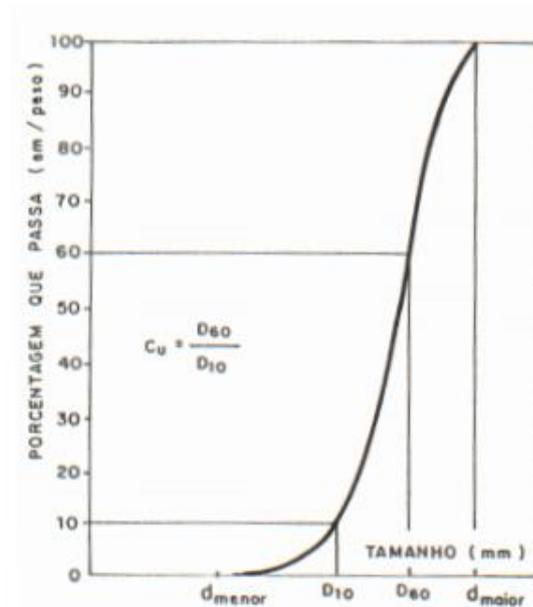
2.5 MATERIAL FILTANTE

Os materiais filtrantes usados em filtros lentos geralmente são areia e carvão ativado. O funcionamento de filtro lentos baseia-se na passagem da água pela camada filtrante que é areia. O uso do carvão ativado favorece ao filtro lento pois tem uma maior eficiência na remoção de sólidos suspenso, cor, turbidez e coliformes totais e *E.Coli*. (PATERNIANI; SILVA, 2011). Existem padrões pré-estabelecidos para a implantação de uma Estação de Tratamento de Água (ETA). A Norma Brasileira NBR 12.216/1992, determina os diâmetros específicos dos elementos filtrantes que compõe os filtros lentos de forma a garantir a eficiência do processo. Segundo Brinck (2009), é de extrema relevância as características dos materiais filtrantes, pois podem afetar a eficiência da filtração e a determinação da granulometria correta que constituirá o leito filtrante. Características como a granulometria do elemento filtrante granular, seu formato, densidade e a dureza.

O diâmetro específico e a distribuição do tamanho dos grãos são determinados a partir de curvas de distribuição granulométrica, conforme ilustra a Figura 2. O tamanho da peneira indicará os diâmetros dos grãos através do percentual de passagem por elas. A passagem de 10% do material filtrante pelas peneiras indicará o diâmetro efetivo (d_{10}), a relação do percentual de 10% e 60% indicará o coeficiente de uniformidade dos grãos (LIBÂNIO, 2010). Ainda de acordo com Libânio (2010) é sugerida a utilização de areias com pequenas granulometrias para

a filtração lenta, de modo que ocorre uma eficiência de retenção das impurezas no topo da camada filtrante.

Figura 2 – Curva Granulométrica Típica de um Material Filtrante.



Fonte: DI BERNARDO, 1991.

A escolha do material filtrante dependerá das características projeto para o filtro, como: taxa de filtração; carga hidráulica; qualidade da água; sistema de lavagem e espessura das camadas filtrantes. A geometria e a forma dos grãos, influenciará na perda de carga no meio filtrante, se a geometria for irregular existirá maiores deformações das linhas de correntes, aumentando a probabilidade de captura de partículas. Por fim, a dureza dos grãos é relevante para a durabilidade e vida útil do leito filtrante (BRINCK, 2009).

2.5.1 Areia

Nos filtros das ETA, a areia é utilizada como meio filtrante, pois remove os patógenos e sólidos em suspensão (CAWST, 2009). Entretanto, não pode ser utilizado qualquer tipo de areia nesses filtros. De acordo com Silva (2018) a areia utilizada para fins de tratamento de água deve ser do tipo quartzosa extraída do fundo dos rios. Este material é composto por quartzo e não pode conter magnésio ou carbonato de sódio.

De acordo com Cawst (2009), recomenda-se o emprego de areias específicas para a filtração, caso não houver essa areia disponível, a segunda opção deve ser por areias extraídas do alto das margens do rio, ou seja, que não teve contato imediato com água. A última opção seria o emprego de areias de praia. As areias de rios geralmente estão contaminadas por patógenos de animais ou humanos e contém matéria orgânica como folhas e gravetos, o que pode resultar em uma água tratada de pior qualidade, pois a matéria orgânica é fonte de alimentação para organismos patogênicos e permite o seu crescimento no filtro até que todos os alimentos sejam consumidos.

A seleção e o preparo da areia para a filtração são cruciais para o tratamento da água, ou seja, devendo ser seguidas as recomendações já relatadas. O mau preparo da areia pode acarretar em um desempenho abaixo do esperado (CAWST, 2009).

A qualidade da água bruta deve ser de boa aparência para alimentar o filtro lento intermitente, pois interfere na eficiência deste. O BSF pode ser utilizado para tratar águas subterrâneas, da chuva, de rios, de lagos e águas superficiais (Manz, 2007). Além do que, é necessária a desinfecção após a filtração, devido ao fato da remoção de coliformes totais não ser completa (BASTOS, 2007).

A granulometria varia de acordo com o filtro. De acordo com Manz; Eng, (2007) o meio filtrante empregado para o BSF é a areia com pequena granulometria, onde o diâmetro efetivo é recomendável ficar entre 0,15 a 0,35 mm,

3 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos nesse estudo, foi operado um filtro lento doméstico de fluxo intermitente (BSF) para o tratamento de água em escala residencial. O BSF foi composto por meio filtrante de areia e pedra brita como camada suporte. Foi utilizada água do Rio do Meio para a alimentação do filtro, sendo realizadas as análises de parâmetros físicos e químicos da água bruta e filtrada.

3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

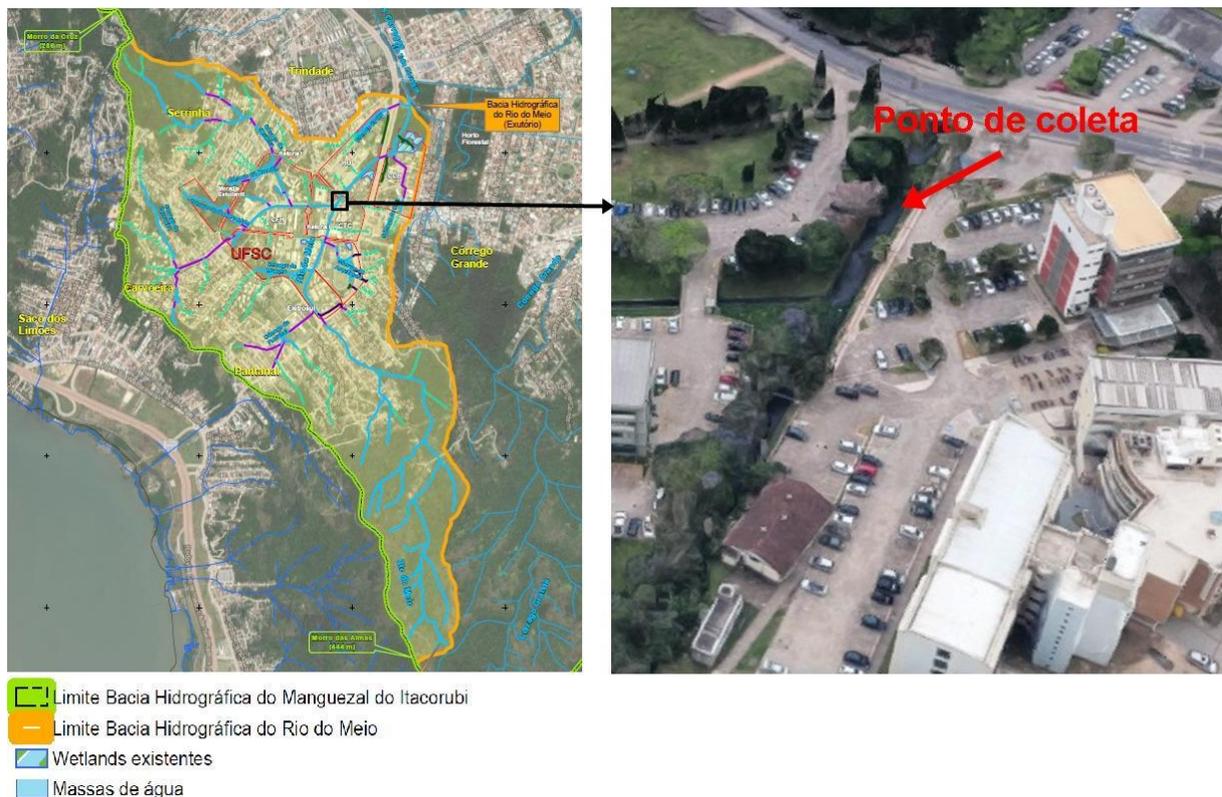
O experimento foi realizado nas instalações da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), *campus* Florianópolis. O monitoramento foi realizado nos laboratórios da instituição. O período de monitoramento iniciou no dia 07 de setembro de 2021 e finalizado em 19 de novembro de 2021, totalizando 52 dias. Para a realização desta pesquisa foi operado e monitorado o filtro lento descendente de fluxo intermitente (BSF) já instalado no Laboratório de Potabilização das Águas (LAPOÁ) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil.

3.2 QUALIDADE DA ÁGUA DE ESTUDO

A água de estudo foi coletada do Rio do Meio, que é o principal curso de água no *campus* da UFSC, localizado no Bairro Trindade, município de Florianópolis-SC (figura 3). O Rio do Meio é tributário do Rio Três Córregos, que por sua vez é tributário do Rio Córrego Grande, que é o principal curso de água da Bacia Hidrográfica do Manguezal do Itacorubi.

Os principais tributários do Rio do Meio são o Córrego da Carvoeira, Serrinha, Pantanal e Bosque da UFSC. Na Figura 3 é apresentada a localização dos cursos de água no Campus Trindade da UFSC, bem como o ponto de coleta utilizado para a realização desta pesquisa.

Figura 3 – Localização do Rio do Meio



Fonte: Adaptado Coordenadoria de Gestão Ambiental da UFSC (2019) e Google Maps (2021).

O Rio do Meio localizado em todo o entorno do *campus* da UFSC no bairro Trindade drena toda a água proveniente do mesmo o que favorece a ocorrência de inundações em decorrência de grandes eventos de precipitações, provocando alagamento em alguns pontos da instituição. Este curso de água recebe esgoto não tratado, poluição difusa lançada em torno dos cursos da água, descartes de resíduos sólidos irregulares, além de receber as águas pluviais das vias públicas da região, descarte de obras, entre outros (CGA, 2021).

Para a alimentação do BSF foi coletado o volume de 10 L de água bruta duas vezes ao dia (manhã e tarde), totalizando 20 L por dia e mais 250 ml para realizar as amostras. A coleta foi realizada manualmente por meio de recipientes adequados e equipamentos de segurança incluindo luvas, jaleco, frasco de plástico, corda e balde. Após a coleta a água foi transportada até o laboratório de potabilização de água (LAPOÁ) e então colocada no filtro lento intermitente BSF. 250 mL de cada amostra de água bruta (AB) coletada foram separados em um béquer para realização de análises. A água bruta não passou por tratamentos preliminares antes do processo de filtração. A Figura 4 mostra o ponto de coleta e a água bruta coletada, na Figura 4A apresenta o ponto de coleta da água bruta Figura 4 C a água bruta coletada.

Figura 4 – Ponto de coleta e água bruta coletada



Fonte: Elaborada pela autora (2021)

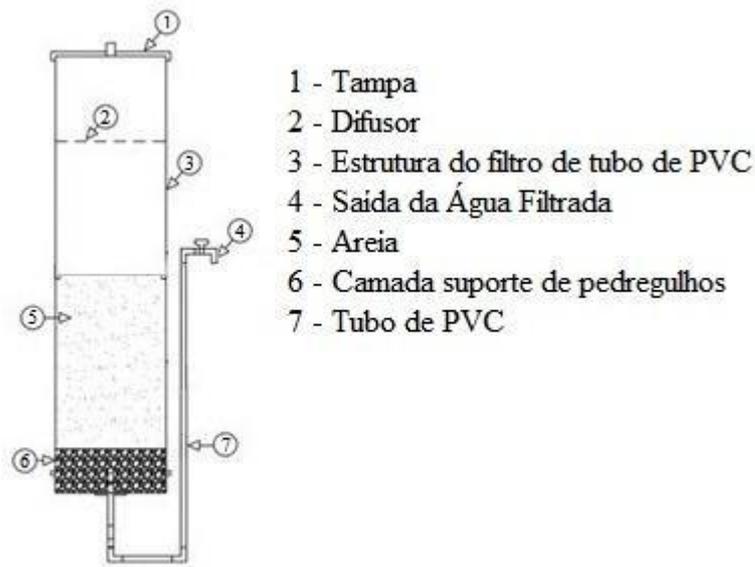
Para fazer a coleta da água filtrada, foi calculado o volume inicial aproximado de água filtrada que fica retido nas tubulações e na seção preenchida com pedras britas. Após a remoção deste volume de água filtrada, iniciava-se a coleta da água filtrada do BSF. Da mesma forma, foram retirados 250 ml de água filtrada para a realização das análises. Posteriormente foram realizadas comparações entre a AB e AF e observado o desempenho do filtro lento já instalado. As coletas e as análises foram realizadas de segunda a sexta com exceção dos finais de semana e feriados, as análises de cor verdadeira duas vezes na semana e coliformes torais e *E. Coli* uma vez na semana. As análises foram realizadas em triplicata a fim de obter valores médios para os seguintes parâmetros: turbidez, condutividade elétrica, pH, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvidos, cor aparente, cor verdadeira, coliformes totais e *E. Coli* e temperatura.

O horário de alimentação do BSF na parte da manhã foi aproximadamente às 9:30h. O tempo de filtração era aproximadamente de 1 hora. Foi respeitado um período de intermitência de aproximadamente 7 horas e 30 minutos. Na parte da tarde o filtro foi alimentado por volta das 17 horas, com um tempo de filtração de aproximadamente 1 hora. O período de intermitência até a próxima alimentação foi de em torno de 16 horas e 30 minutos.

3.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO

O sistema de filtração foi composto por um filtro lento de regime intermitente (BSF), já instalado no laboratório piloto LAPOÁ da UFSC e foi realizado algumas adaptações, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Esquema do sistema piloto construído



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

O sistema piloto do filtro lento doméstico, contou com um tubo de PVC de 250 mm de diâmetro, altura de 1,00 m, com um sistema de saída de água de tubos e conexões de PVC de 25 mm de diâmetro. O filtro ficou alocado sob uma estrutura de madeira.

A Figura 6, apresenta os detalhes do filtro já construído com algumas modificações. Na Figura 6A pode ser visualizada a altura do filtro sob a estrutura de madeira. A Figura 6B mostra os detalhes das conexões e a saída da AF na qual foi utilizado torneira. A Figura 6C exibe uma vista de cima do filtro com a tampa e o difusor a fim de evitar a formação de caminhos preferenciais e para a proteção da camada biológica, ilustrando os detalhes internos do filtro.

Figura 6 – Detalhe do Sistema Piloto



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

A camada suporte ou base do filtro foi composta por três camadas de brita, totalizando 10 cm de altura e para o leito filtrante foi utilizada areia com espessura de 40 cm. A lâmina d'água mínima sobre a areia foi de 5 cm.

Primeiro realizou-se o teste de estanqueidade para verificar se havia algum vazamento no filtro, preenchendo o mesmo com água potável. Posteriormente, iniciou-se o período de pré-operação do filtro, onde adicionou-se água potável no sentido descendente com baixa velocidade para que não ocorra a expansão do meio, com a finalidade de expulsar o ar retido no meio filtrante e para a remoção de impurezas que possam estar presentes no material filtrante (DE SOUZA, F. F, 2015).

Por um período de uma semana, o filtro foi alimentado com água potável, duas vezes ao dia para que os resíduos da pré-operação sejam removidos. Na sequência ao período de pré-operação, iniciou-se a alimentação de 10L de AB no filtro lento intermitente de forma diária, duas vezes ao dia, uma na parte da manhã e outra à tarde totalizando 20 L por dia. Neste período foi analisada apenas a turbidez da AF e AB para verificar um provável amadurecimento do filtro. A partir de duas semanas de experimento, observou-se uma remoção de turbidez que indica o amadurecimento do filtro lento, proporcionando o crescimento da camada biológica no filtro.

A partir da finalização deste período, o filtro lento continuou sendo abastecido com AB duas vezes ao dia, totalizando 20 L/dia. A taxa de filtração foi de 2 m³/m².d. Conforme mencionado anteriormente, AB foi introduzida no filtro lento duas vezes ao dia com tempos de

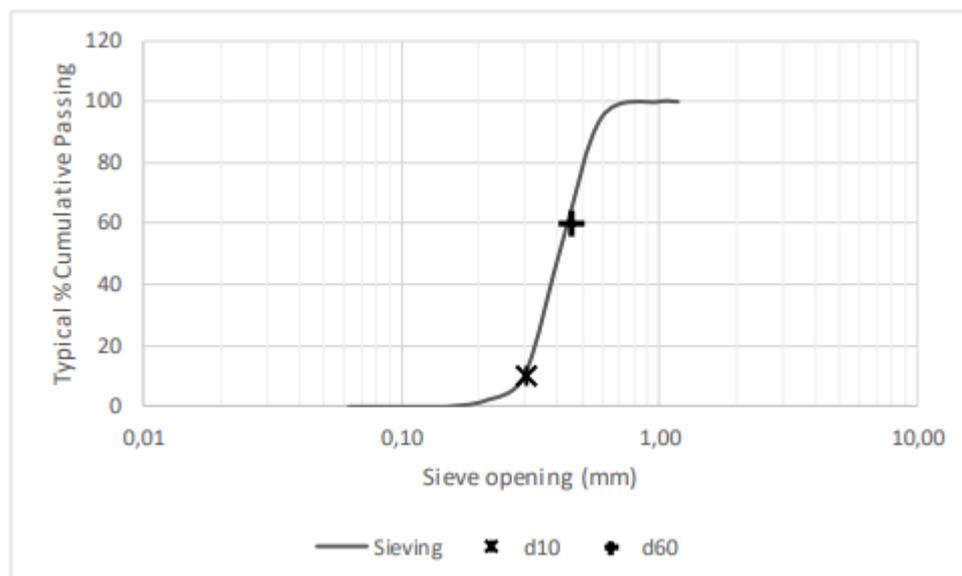
intermitências distintos. Os períodos de intermitência ocorrem da seguinte forma, após a primeira alimentação do filtro na parte da manhã, ocorreu um período de intermitência de aproximadamente 7 horas e 30 minutos. No período da tarde o filtro foi alimentado novamente e este tempo de intermitência durou aproximadamente 16 horas e 30 minutos, ou seja, até o dia seguinte. No processo foram analisadas amostras de água bruta e a filtrada para verificar a eficiência do filtro.

3.3.1 Meios Filtrantes

O meio filtrante utilizado no filtro lento foi areia, e o fluxo de escoamento foi descendente (convencional). A areia utilizada é proveniente de fornecedor, tendo sido adquirida para fins de pesquisas no LAPOÁ.

Para o leito filtrante de areia foi adotada uma espessura de 40 cm. O diâmetro efetivo (d_{10}) de 0,30 mm e coeficiente de uniformidade (cu) de 1,56 e a lâmina d'água mínima sobre a areia foi de 5 cm. A areia possui uma curva granulométrica elaborada pelo autor Souza, Fernando Hymnô (2020) conforme apresentado na Figura 7. A evolução da perda de carga no filtro não foi acompanhada.

Figura 7 – Curva granulométrica



Sieve opening (mm)=Diâmetro de peneira (mm)

Typical % Cumulative Passing = Percentual de passagem acumulativo

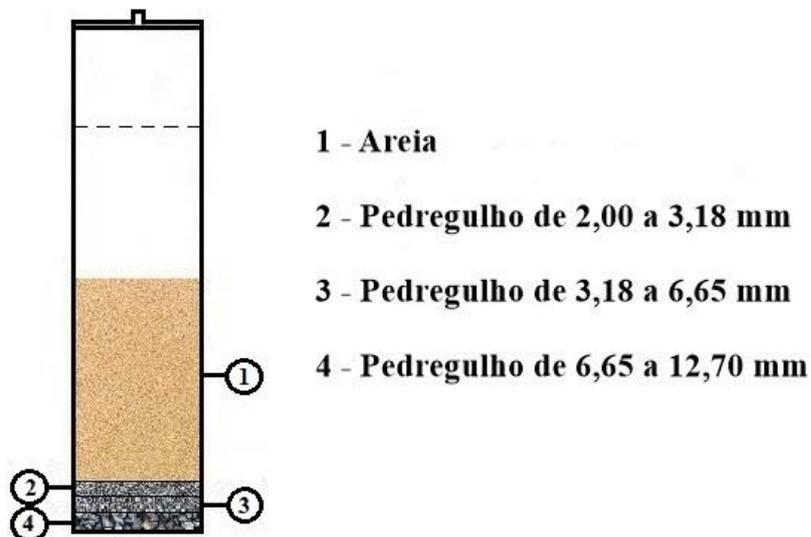
Sieving = Peneiramento

Fonte: Souza, Fernando Hymnô (2020).

3.3.2 Camada suporte

A camada suporte foi composta por três camadas de brita, perfazendo 10 cm de espessura. A granulometria das pedras britas que compõe a camada suporte foram de 2 a 3,18 mm, 2,18 a 6,65 a 6,65 a 12,7 mm, respectivamente. Na Figura 8, apresenta a camada suporte com as respectivas granulometrias das pedras britas e a areia do meio filtrante no filtro. As pedras britas utilizadas são disponibilizadas LAPOÁ para fins das pesquisas.

Figura 8 – Granulometrias das Camadas Suportes.



Fonte: Elaborado pela Autora, (2021).

3.4 LIMPEZA E MANUTENÇÃO

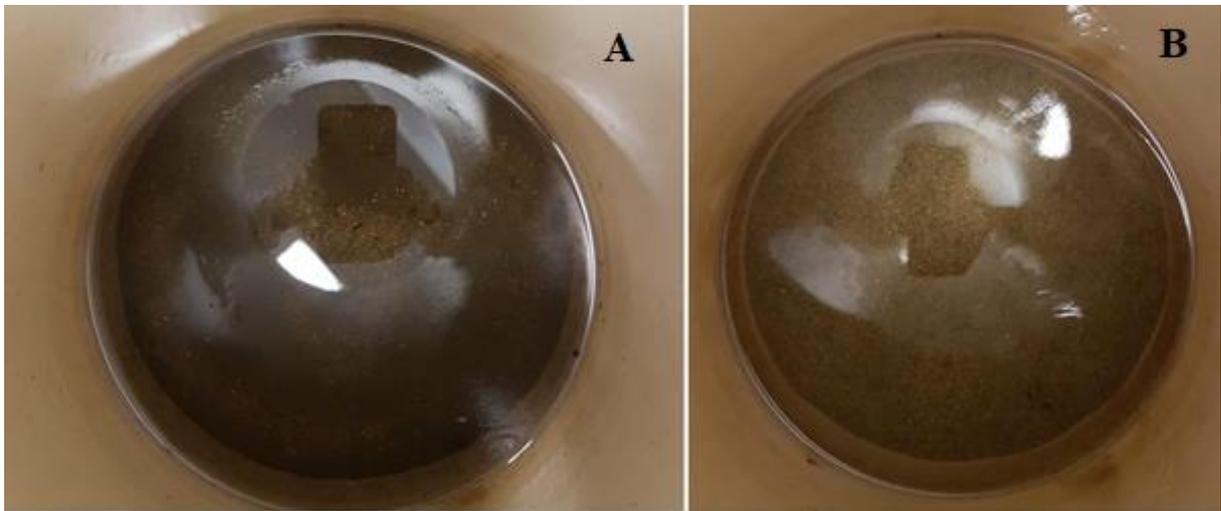
O filtro foi alimentado com 10 L de água bruta por etapa diária, ou seja, 10 litros na parte da manhã, mais 10 litros na parte da tarde, totalizando um volume diário de 20 litros. A taxa de filtração do sistema foi de 2 m³/m².d.

A limpeza do filtro foi realizada no último dia do experimento, após 52 dias de operação. A vazão inicial de operação do sistema foi de 1,18 m³/d. O encerramento da carreira de filtração ocorreu quando a vazão estava em 0,74 m³/d. Verificou-se uma redução de cerca de 37% da

vazão do filtro até o dia da limpeza. Após realizar a limpeza do filtro a vazão chegou a 1,01 m³/d.

Para realização do processo de limpeza do filtro foram removidos tampa e prato difuso, e a água que estava presente acima da camada filtrante foi drenada e posteriormente realizado o processo de raspagem para retirada dos primeiros centímetros do topo da camada filtrante. A areia dos primeiros centímetros foi retirada e colocada em um recipiente e posteriormente lavada em água potável. A Figura 9 apresenta o filtro antes e depois do processo de limpeza, na Figura 9A apresenta antes da realização da limpeza a Figura 9B depois de realização a limpeza.

Figura 9 – Antes e depois da limpeza da areia



Fonte: Elaborada pela autora, (2021)

3.5 PARÂMETROS MONITORADOS

As análises dos parâmetros de qualidade foram realizadas tanto para a água bruta quanto para a água filtrada. Alguns dos parâmetros de qualidade analisados neste estudo são indicados pela Portaria n° 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde (BRASIL 2021).

Para a avaliação da eficácia do filtro lento analisou-se os seguintes parâmetros: cor aparente, cor verdadeira, condutividade elétrica, temperatura, turbidez, pH, oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais dissolvidos e coliformes totais e *E. Coli*. As análises foram realizadas em triplicata para cada amostra que foi coletada, a fim de se obter o valor médio.

A água filtrada que foi utilizada para as análises dos parâmetros de qualidade, foi coletada após a saída do volume inicial que fica retida nas tubulações e na seção preenchida

com pedras britas. Este volume foi obtido conhecendo-se o diâmetro e comprimento da tubulação e da seção que contem a pedra brita. O volume coletado de água filtrada para as análises foi de 250 ml, diariamente duas vezes. Sendo coletados 250 ml após a filtração da manhã e 250 ml após a filtração da tarde. Também foi monitorada a vazão de água filtrada até o último dia do estudo, a fim de verificar a necessidade de limpeza do mesmo.

3.5.1 Parâmetros físicos, químico e bacteriológicos

As análises dos parâmetros físicos e químicos foram realizadas para a água bruta e para a água filtrada, a fim de verificar a eficiência do filtro e os padrões de Potabilidade conforme portaria. As análises de turbidez, condutividade elétrica, pH, sólidos totais dissolvidos foram realizados no laboratório de Potabilização das águas (LAPOÁ) da UFSC, já as análises cor verdadeira e aparente, coliformes totais e *E. Coli* foram realizadas no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) da UFSC, enquanto as análises de oxigênio dissolvido e a temperatura foram realizadas *in loco*.

As análises de coliformes totais e *E. Coli* foram realizadas uma vez por semana e na parte da manhã, tanto para água bruta como para a água filtrada. Os parâmetros que foram monitorados, unidades, equipamento e dias que foram realizados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Parâmetros físico, químico e bacteriológico analisados.

Parâmetro	Unidade	Equipamento	Frequência
Cor Aparente	uC	Espectrofotômetro Sperscord 50 Plus	Terça a sexta-feira
Cor Verdadeira	uC	Espectrofotômetro Sperscord 50 Plus	Terça e sexta-feira
CE	µS/cm	Condutivímetro MOD 8306 AZ	Segunda a sexta-feira
OD	mg/L	Sonda HACH multiparâmetros-HQ40d	Segunda a sexta-feira
pH	-	Sonda HACH multiparâmetros-HQ40d	Segunda a sexta-feira
Temperatura	°C	Condutivímetro MOD 8306 AZ	Segunda a sexta-feira
Turbidez	NTU	Turbidímetro HACH 2110N	Segunda a sexta-feira
CT e <i>E. Coli</i>	NMP/100 mL	COLILERT® COLILERT® + Luz UV	Terça-feira
STD	ppm	Condutivímetro MOD 8306 AZ	Segunda a sexta-feira

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Alguns dos parâmetros citados na Tabela 8 estão presentes na portaria nº 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde (BRASIL 2021), que estabelece os padrões de potabilidade no Brasil.

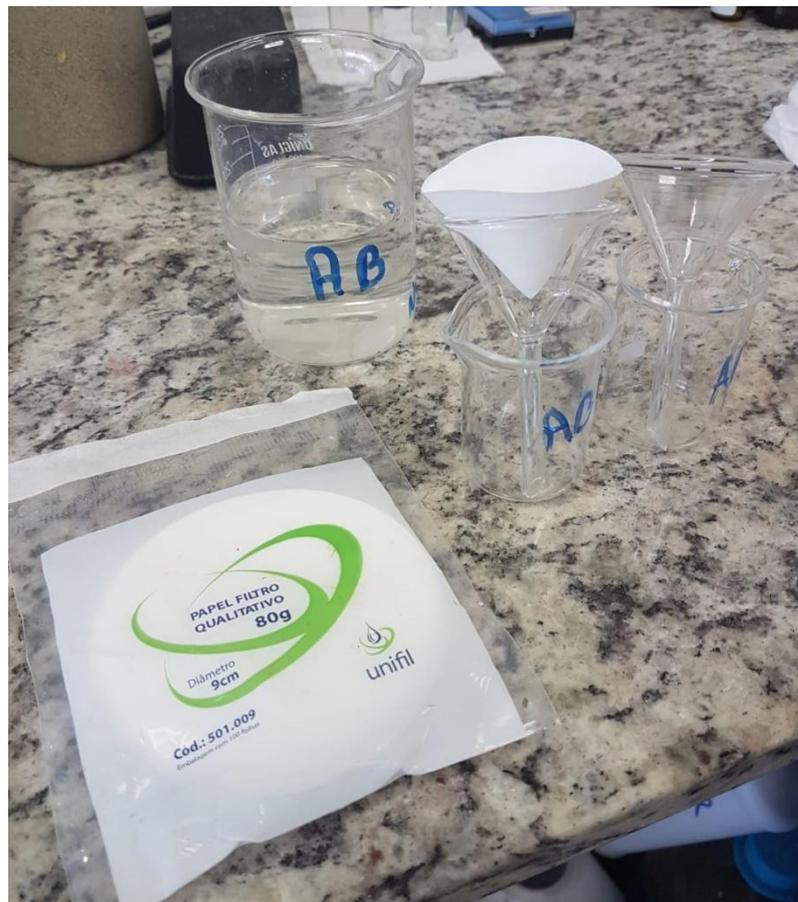
As análises de OD, temperatura, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e coliformes totais e *E. Coli* foram realizados após 14 dias de experimento, ou seja, após a formação do *Schmutzdecke*.

A determinação dos coliformes totais e *E. Coli* foi realizada pelo método *Colilert*, conforme descrito no Standard Methods (APHA, 2012). Inicialmente uma alíquota de 100 ml da amostra foi colocada em um frasco esterilizado com tampa e em seguida adicionou-se o reagente *Colilert*. O frasco foi fechado e agitado para homogeneização. A mistura foi despejada em uma cartela plástica aluminizada. A cartela foi selada mecanicamente e incubada a 36 °C durante 24 horas. Após este período caso a cor da mistura seja alterada para amarela indicará a presença de coliformes totais e se este apresentar fluorescência sob incidência de luz UV, indicará a presença do coliforme termotolerante *E. Coli*. A quantificação foi realizada através

de consulta na tabela do NMP (número mais provável). Em relação as análises dos parâmetros de coliformes totais e *E. Coli*, foram realizadas apenas 5 análises devido à limitação de material disponível no laboratório.

A cor aparente e verdadeira das amostras foi determinada por espectrofotometria, com comprimento de onda de 455 nm, conforme descrito no Standard Methods (APHA, 2012). Para a determinação da cor verdadeira as amostras foram submetidas a filtração simples. A Figura 10, ilustra os detalhes deste método, onde utilizou-se um papel filtro qualitativo 80 g com diâmetro 9 cm, porosidade 3 micras. O filtro qualitativo foi dobrado ao meio e inserido em um funil e realizado a filtração e posteriormente medida espectrofotometria com comprimento de onda 455nm o parâmetro de cor verdadeira. A cor aparente é medida a amostra sem filtração por papel filtro. As análises de cor foram realizadas imediatamente após a coleta e a filtração para as amostras de água bruta e filtrada, respectivamente, não sendo necessário procedimento de armazenamento.

Figura 10 – Método da filtração simples para determinar a cor verdadeira da AB e AF



Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Os parâmetros de turbidez, temperatura, condutividade elétrica, pH e sólidos totais dissolvidos foram realizados através de equipamentos em dias específicos como apresentado na tabela 8.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO EXPERIMENTO

Os dados extraídos das análises laboratoriais de parâmetros de qualidade foram analisados com o software Microsoft Excel, 2019 e demonstrados por meio de gráficos e tabelas. Foi analisada a eficácia de remoção dos parâmetros de cor aparente e verdadeira, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, além de coliformes totais e *E. Coli* e monitoradas os parâmetros de pH, temperatura e oxigênio dissolvido.

Os percentuais de remoção de turbidez, cor aparente, cor verdadeira, coliformes totais foram calculados pela Equação 1.

$$R = \left(\frac{P_B - P_F}{P_B} \right) 100 \quad (1)$$

Em que R é o percentual de remoção, P_B é parâmetro medido na água bruta e P_F é o parâmetro medido na água filtrada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para alcançar os objetivos propostos neste estudo foi utilizado um sistema de filtração lenta intermitente (BSF) já existente no laboratório LAPOÁ/UFSC. Neste item encontram-se descritos os resultados obtidos por meio da análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos através de análises estatísticas e comparações com parâmetros estabelecidos pela portaria n° 888/2021 do MS, de forma a avaliar se esta tecnologia é apropriada a potabilização de águas.

4.1 QUALIDADE DA ÁGUA FILTRADA

Neste tópico será abordado a qualidade da água filtrada pelo BSF. A qualidade da água tratada pelo filtro foi comparada aos padrões recomendados na Portaria n° 888/2021 do Ministério da Saúde (BRASIL 2021). Os demais parâmetros que não são estabelecidos pela portaria serão relacionados ao desempenho do filtro.

As análises da água bruta são importantes para poder avaliar a eficiência do filtro, bem como observar e concluir se houve eficiência do filtro lento. Na tabela 9, os parâmetros obtidos no processo de filtração lenta deste estudo são analisados, apresentados e comparados com os padrões de qualidade de potabilidade estabelecidos pela portaria n° 888/2021 do Ministério da Saúde (BRASIL 2021).

Observando a Tabela 9, verifica-se um aumento da turbidez da água bruta no período da tarde AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro), possivelmente pela ação antropológica no curso da água, devido ao deságue de esgoto durante o dia, o que na parte da manhã é menor AB 1 (coletada de manhã e colocada no filtro). Pode-se observar também que os dados obtidos da turbidez na água filtrada AF 1 (à tarde) não estão dentro do padrão exigido pela Portaria de potabilidade, já a água filtrada AF 2 (na manhã do dia seguinte) está dentro do padrão estabelecido pela portaria e ainda teve uma maior porcentagem de remoção de turbidez, provavelmente por ter maior tempo de intermitência.

De acordo com Manz, (2007) a água bruta que é utilizada na filtração lenta, deve apresentar o valor máximo de turbidez de 20 uT. Na Tabela 9 pode-se observar que a média dos valores de turbidez das águas brutas coletadas neste estudo ficaram dentro dos valores recomendados pelo autor.

Na tabela 9 apresenta a média da cor aparente da água bruta AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) teve um aumento significativo, possivelmente pela ação de descartes de esgoto e chuvas intensas durante o dia, comparada com a AB1 (coletada de manhã e colocada no filtro) os resultados obtidos foram inferiores.

A Portaria dos padrões de potabilidade da água n° 888/2021 estabelece a cor aparente em 15 mg/L. Os dados médios obtidos estão apresentados na tabela 9, pode-se observar que a AF 2 (água filtrada na manhã seguinte) está um pouco acima dos padrões recomendados pela portaria, já a AF 1 (à tarde) a média dos resultados obtidos apresentou aumento significativo, ou seja ambos resultados obtidos das médias das filtrações não estão dentro do recomentado pela portaria do parâmetro de cor aparente. Este aumento possivelmente ocorreu devido a ações antológicas que ocorreu nos parâmetros das águas brutas

Na tabela 9 é possível observar uma pequena redução dos valores de pH, após o processo de filtração, de acordo com a portaria n° 888/2021 a média dos resultados obtidos neste estudo do parâmetro de pH estão dentro do padrão recomentado pela Portaria.

A condutividade elétrica não tem um padrão de potabilidade estabelecido pela portaria da consolidação n° 888/2021. Contudo observa-se quanto menor o tempo de intermitência maior a eficiência do filtro quanto à redução deste parâmetro.

Tabela 9 – Valores médios e desvio padrão dos parâmetros analisados no processo de tratamento da água comparados aos padrões de potabilidade da água conforme portaria n° 888/2021.

Parâmetro	AB1 coletada de manhã e colocada no filtro	AF2 na manhã do dia seguinte	AB2 coletada a tarde e colocada no filtro	AF1 a tarde	Padrões de potabilidade da água
Turbidez (uT)	6,57 ± 2,37	0,86 ± 0,31	7,88 ± 4,63	1,48 ± 0,42	1
Cor aparente (Uh)	68,23 ± 19,87	15,26 ± 3,32	75,14 ± 8,58	20,03 ± 5,30	15
Cor verdadeira uH	52 ±11,57	13,72±2,08	54±7,09	16,94±1,47	-
Condutividade elétrica (µS/cm)	210,90 ± 26,24	211,40 ± 26,61	219 ± 32,69	206 ± 24,62	-

Parâmetro	AB1 coletada de manhã e colocada no filtro	AF2 na manhã do dia seguinte	AB2 coletada a tarde e colocada no filtro	AF1 a tarde	Padrões de potabilidade da água
pH	7,9 ± 0,19	7,8 ± 0,16	8,0 ± 0,20	7,9 ± 0,15	6,0 – 9,0
OD (mg/L)	6,91 ± 1,10	3,26 ± 1,23	6,50 ± 0,65	3,42 ± 1,53	-
CE (µS/cm)	211 ± 26,24	211 ± 26,61	219 ± 32,69	206 ± 24,63	-
Temperatura °C	21,5 ± 1,2	22,3 ± 1,60	21,8 ± 1,30	22,7 ± 1,44	15-30
STD (mg/L)	106 ± 11,50	106 ± 11,96	111 ± 14,66	105 ± 10,68	500

Fonte: Elaborado pela autora, (2021).

Na Tabela 10 é representada a eficiência de remoção em porcentagem dos parâmetros de turbidez, cor aparente e verdadeira da AF 1 (à tarde) e a AF 2 (na manhã do dia seguinte) pelo filtro lento intermitente (BSF). Observa-se de modo geral as eficiências de remoções, quanto maior o tempo de intermitência do filtro maior é o desempenho na porcentagem de remoção dos parâmetros.

Tabela 10 – Eficiência de remoção de turbidez, cor aparente e cor verdadeira do filtro lento

Parâmetros	Eficiência de remoção (%)	
	Água filtrada a tarde	Água filtrada de manha
Turbidez	76,9	87,2
Cor Aparente	69	77
Cor Verdadeira	66	74

Fonte: elaborada pela autora (2021)

A Tabela 11 apresenta a eficiência de remoção em porcentagem de coliformes totais e *E. Coli* na água filtrada, com o tempo de experimento. As análises de coliformes totais e *E. Coli* foi realizada apenas na parte da manhã uma vez na semana. Em média a eficiência de remoção de coliformes totais na AF foi de 89,16% e para *E. Coli* na AF foi de 89,39%.

A Tabela 12 ilustra os resultados obtidos das análises de coliformes totais e *E. Coli* das AB e AF, conforme o tempo de experimento, em dias (corridos) desde quando se iniciou a realização da filtração.

Tabela 11 – Eficiência de remoção de coliformes totais e *E.Coli* do filtro lento

Tempo de experimento (dias)	Coliformes totais	<i>E. Coli</i>
13	68,17%	87,24%
18	96,27%	94,41%
29	86,59%	89,23%
32	92,04%	91,09%
37	86,51%	90,12%

Fonte: Elaborado pela autora, (2021).

Tabela 12 – Resultados quantitativa das análises de coliformes totais e *E. Coli* (NMP/100 ml).

Tempo de experimento	AB C. totais	AB <i>E. Coli</i>	AF C. totais	AF <i>E.Coli</i>
13	24196	1956	7701	2495
18	92080	29870	3433	1670
29	68670	23100	9208	2489
32	77010	36540	6131	3255
37	72700	27550	9804	2723

Fonte: Elaborada pela autora, (2021).

4.1.1 Influência do meio filtrante na qualidade da água produzida

Neste item foram discutidas as análises dos resultados obtidos no experimento, a fim de analisar o desempenho da qualidade da água filtrada pelo BSF, e a influência do meio filtrante areia e a camada suporte. Os parâmetros discutidos foram turbidez, OD, CE, pH, temperatura, coliformes totais e *E. Coli*, cor verdadeira e aparente.

De acordo com Jenkins; Tiwari; Darby (2011); Young-Rojanschi; Madramootoo (2014) em geral os filtros lentos intermitente apresentam uma eficiência média de remoção de 75% ou mais, podendo ter remoções acima de 90% de turbidez.

As análises da turbidez neste estudo iniciaram no dia 6 de setembro de 2021, desde o primeiro dia em que iniciou a alimentação do filtro com a água bruta, para verificar um possível

amadurecimento. Após 8 dias de experimento observou-se um provável amadurecimento do filtro. Foram 204 dados analisados em 51 dias de análises.

LIBÂNIO (2010) recomenda que a característica da água bruta para o tratamento da tecnologia de filtração lenta seja de turbidez ≤ 10 uT. Conforme apresentado na tabela 9, as médias de turbidez das águas brutas foram inferiores ao recomendado, sendo menores ou iguais a 10 uT. É possível observar que o filtro de areia é eficiente para a remoção de turbidez após o período de amadurecimento da camada biológica.

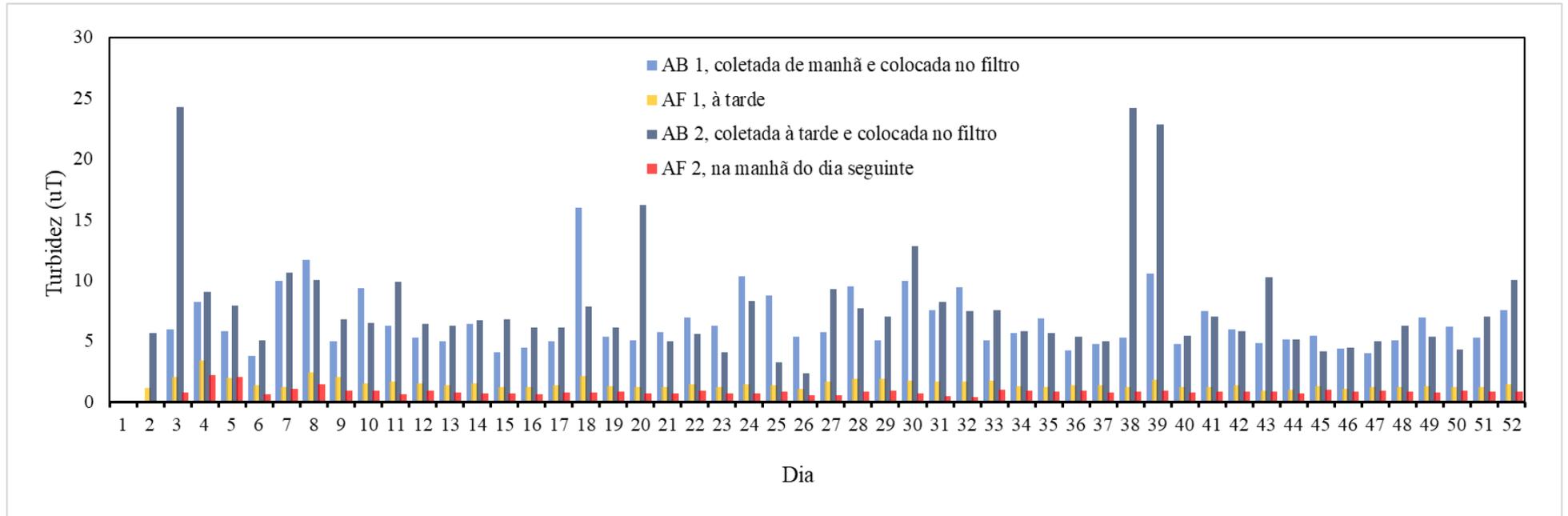
Os resultados de turbidez das amostras de AB 1 (coletada de manhã e colocada no filtro), AF 1 (água filtrada a tarde), AB 2 (coletada de tarde e colocada no filtro) e AF 2 (na água no dia seguinte), e as eficiência de remoção do filtro, estão apresentados na Figura 11.

Através da Figura 11, é possível notar que a partir do 8º dia de experimento, ocorre um aumento da remoção de turbidez ao longo do tempo, provavelmente devido ao do amadurecimento do filtro. Os valores da turbidez das AB 1 (coletada de manhã e colocada no filtro) após o 8º dia variaram de 16,0 uT a 3,97 uT e AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) a variação foi de 24,2 uT a 4,13 uT, observa-se também na Figura 11, na qual a água bruta em funcionamento nos dias, 18 AB 1 (coletada de manhã e colocada no filtro) foi de 16,00 uT, 24 AB 1 (coletada de manhã e colocada no filtro) foi de 10,33 uT, 20 AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) foi de 16,2 uT, 30 AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) foi de 12,80 uT, 38 AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) foi de 24,2 uT, 39 AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) foi de 22,8 uT, 43 AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) foi de 10,23 uT, e AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) 10,07 uT. Esses resultados elevados possivelmente ocorreram por conta de eventos de precipitação intensa o que sabidamente provoca o aumento da turbidez e também é perceptivo que este aumento é na maioria dos dados obtidos de turbidez na AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro), como mencionado anteriormente este aumento provavelmente é devido ao deságue de esgoto durante o dia.

Após o possível amadurecimento do filtro a turbidez da AF 2 variou de 0,98 uT a 0,37 uT, ou seja, estão dentro dos padrões de potabilidade recomendados pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde (BRASIL 2021). A média de remoção de turbidez da AB 2 para a AF 2 é de 87,2%. A turbidez da AF 1 variou de 2,44 uT a 0,91 uT, um pouco acima do recomendado pela Portaria, a média de remoção de turbidez de AB 1 para AF 1 foi de 76,9 %, possivelmente esta media foi inferior pelo menor tempo de intermitência do filtro, pois foi apenas 7 horas e 30 minutos (Figura 11).

Nota-se que a média de remoção em conformidade com os padrões recomendados pelos autores (JENKINS; TIWARI; DARBY, 2011; YOUNG-ROJANSCHI; MADRAMOOTOO, (2014).

Figura 11 – Turbidez.



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

As análises de OD foram consideradas a partir do dia 20 de setembro de 2021, e foram realizadas *in loco*, totalizando 42 dias de análises. Na Figura 12 são apresentados os valores medidos de OD para AB 1 (coletada de manhã e colocada no filtro) AF 1 (à tarde), AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) e AF 2 (na manhã do dia seguinte).

É necessário que a água bruta tenha níveis de oxigênio dissolvido significativo, para obter a remoção dos vírus e bactérias (MANZ, 2007).

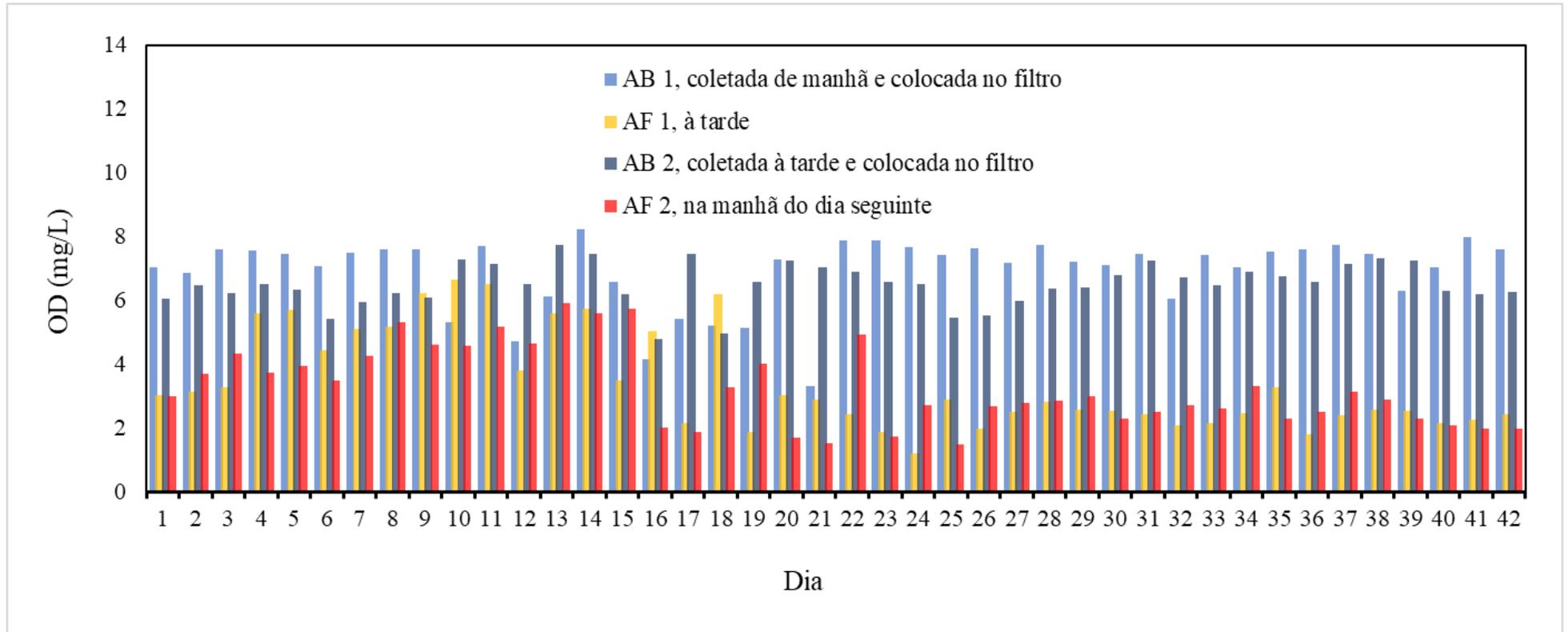
Na Figura 12, verifica-se que o oxigênio dissolvido da AB 1 (coletada na manhã e colocada no filtro) variou de 8,22 mg/L a 3,23 mg/L e a média de 6,91 mg/L, e na AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) variou de 7,74 mg/L a 4,77 mg/L e a média foi de 6,5 mg/L. Possivelmente esta variação nos resultados das águas brutas está associado ao armazenamento da água antes da alimentação do filtro. Em dias de precipitação a água do rio do Meio fica turva, e nestes dias os valores obtidos dos parâmetros não ficavam nos padrões recomendados para a utilização da técnica de filtração lenta, o que poderia prejudicar o funcionamento do filtro. Em razão disso, nestas ocasiões, a água bruta foi armazenada por algumas horas, para que o filtro tivesse boa eficiência, respeitando-se o tempo de intermitência estabelecido para cada uma das filtrações.

O oxigênio dissolvido na AF 1, variou de 5,74 mg/L a 1,47 mg/L e a média foi de 3,26 mg/L. E na AF 2, variou de 6,17 mg/L a 1,18 mg/L e a média foi de 3,42 mg/L. (Figura 12).

De acordo com Cawst (2009), a demanda de oxigênio dissolvido aumenta à medida que a camada biológica cresce e também a atividade biológica dentro dos materiais filtrantes (areia) ocasionando-se o consumo de oxigênio.

Observa-se de modo geral na Figura 12, houve um grande consumo de OD no filtro lento.

Figura 12 – Oxigênio Dissolvidos



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

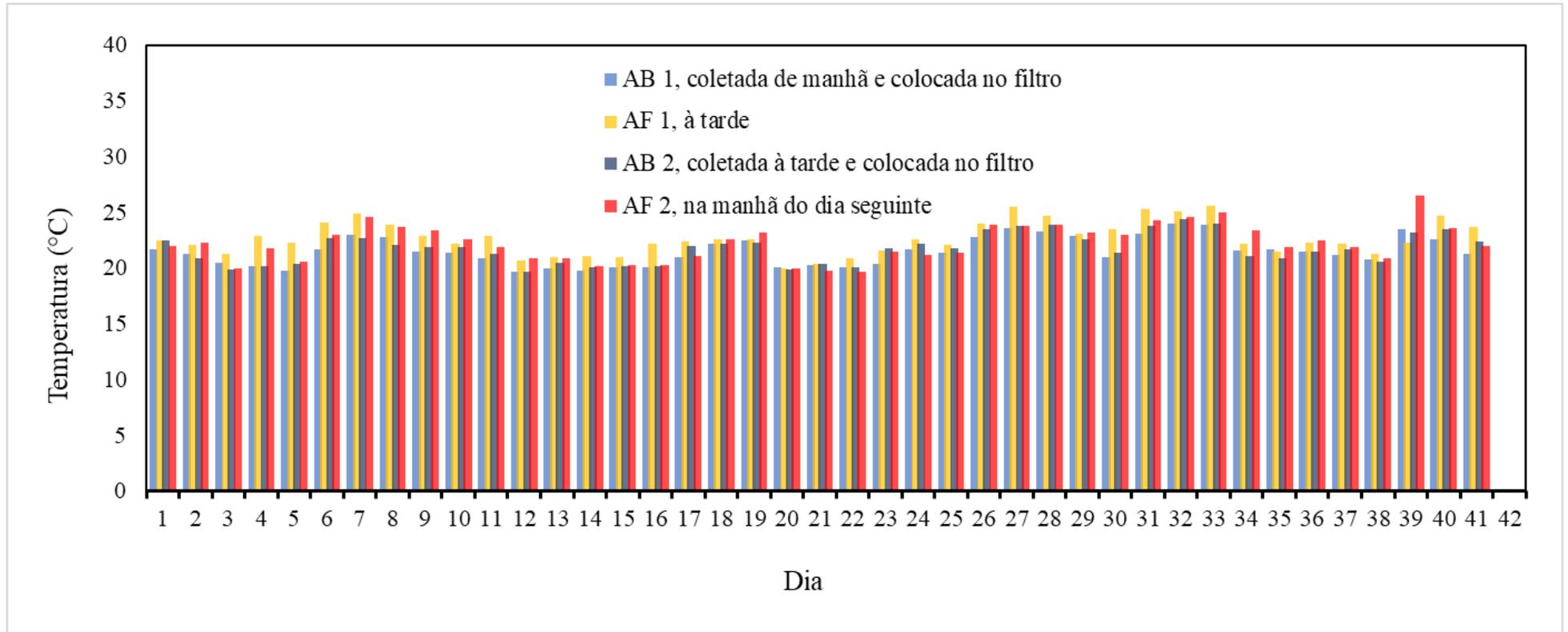
Segundo Von Sperling (1996), a temperatura é a medição da intensidade do calor, que pode ser de origem natural por radiação, condução e convecção. A temperatura pode impactar com as taxas de amadurecimento e a estabilidade microbiana (ELLIOTT *et al.*, 2008). Ela é importante em relação a eficiência na filtração lenta, pois em temperaturas mais baixas o filtro lento terá uma redução na eficiência (FREITAS *et al.*, 2022). Segundo Brito, (2005) a temperatura em condições ambientais terá um bom desempenho e desenvolvimento da camada biológica.

As análises da temperatura iniciaram-se no dia 20 de setembro de 2021 e terminou no dia 19 de novembro de 2021, totalizando 42 dias de experimento.

A Figura 13 apresenta os resultados obtidos das análises das temperaturas, onde podemos observar que a temperatura da AB 1 (coletada de manhã e colocada no filtro) variou de 19,7 °C a 24°C e a média foi de 21, °C e a temperatura da AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) variou de 20 °C a 24,4 °C e a média foi de 21,8 °C, respectivamente.

Aa temperatura das águas filtradas AF 1 (à tarde) variou de 20 °C a 25 ° e a média foi de 22,7 °C a temperatura de AF 2 (na manhã do dia seguinte) variou de 26,5 °C a 20°C e a média foi de 22,3 °C (Figura13). De acordo com a Portaria n° 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, a temperatura deve variar entre 15 a 30 °C, ou seja, os resultados obtidos de temperatura estão dentro do padrão estabelecido pela Portaria.

Figura 13 – Temperatura



Fonte: Elaborado pela autora, (2021)

É importante o pH para algumas etapas do tratamento da água como a coagulação, desinfecção, controle da corrosividade e a remoção da dureza (VON SPERLING, 1996).

O pH nos filtros lentos influencia no desenvolvimento dos microrganismos que estão presentes na camada microbiológica, e na faixa de 5 a 9,5, contribui para o crescimento bacteriano no sistema de filtração (OLIVEIRA; FLOR; OLIVEIRA, 2010).

Já a Portaria n° 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde estabelece que, a água de abastecimento deverá possuir pH entre 6 a 9,0 para garantir que o processo de desinfecção que será realizado seja aplicado de forma adequada, e para que não ocorra a corrosão ou incrustação das tubulações do sistema de distribuição de água. Neste estudo não foi realizada a desinfecção.

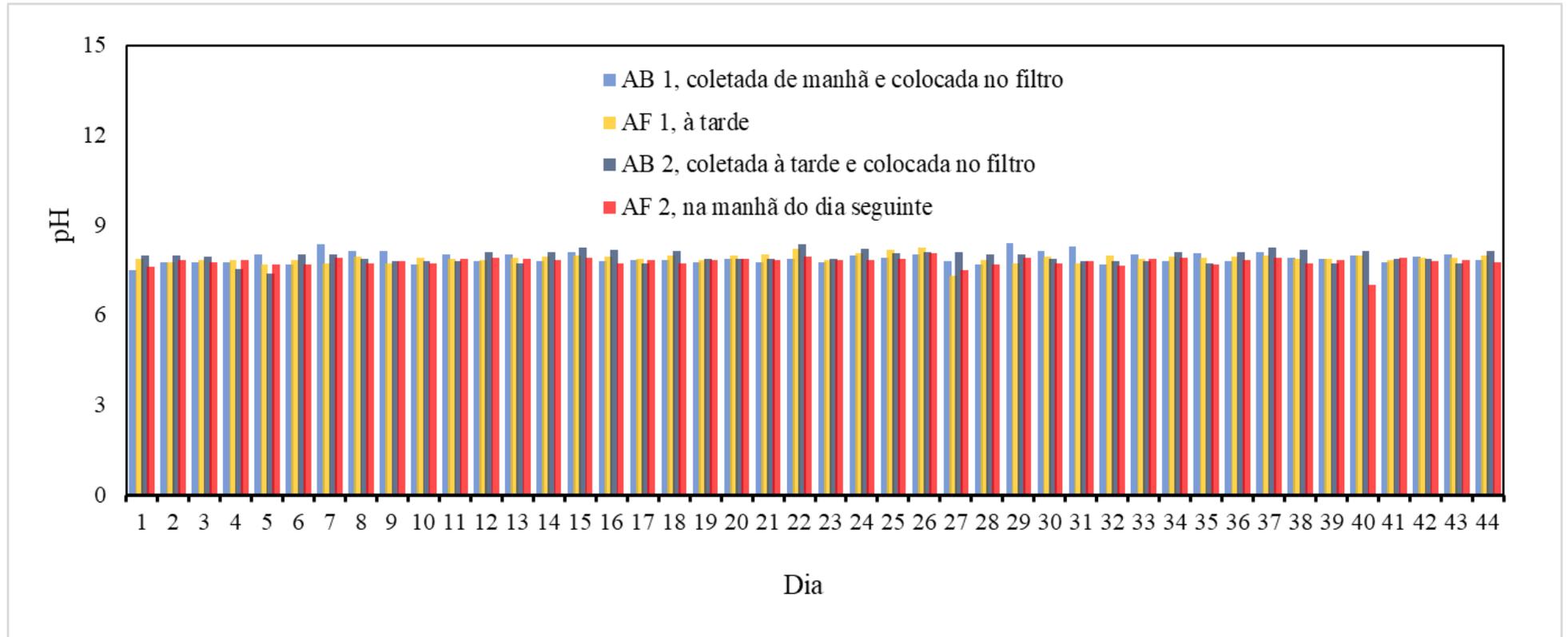
As análises do pH iniciaram-se no dia 20 de setembro e foram concluídas no dia 19 de dezembro, totalizando 44 dias de experimento.

Na Figura 14, há os resultados obtidos, e é possível observar que não houve grandes variações a partir das médias dos resultados, ou seja, a média que se obteve nas AB 1 (coletada na manhã e colocada no filtro, AF 1 (à tarde), AB 2 (coletada na tarde e colocada no filtro), AF 2 (na manhã do dia seguinte) ficaram em torno de pH 8.

Os valores pH obtidos para a AB 1 (coletada na manhã e colocada no filtro) variaram de 7,5 a 8,3 e para a AB 2 (coletada na tarde e colocada no filtro) de 7,8 a 8. As variações dos resultados de pH nas águas filtradas foram de AF 1 (à tarde) de 7,6 a 8 e para AF 2 (na manhã do dia seguinte) de 7,8 a 8 (Figura 14).

Os resultados obtidos do parâmetro de pH da água filtrada neste experimento encontram-se dentro da faixa estabelecida pela Portaria n° 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, referente a potabilidade. E também estão dentro da faixa estabelecida pela literatura citada anteriormente neste tópico.

Figura 14 – PH



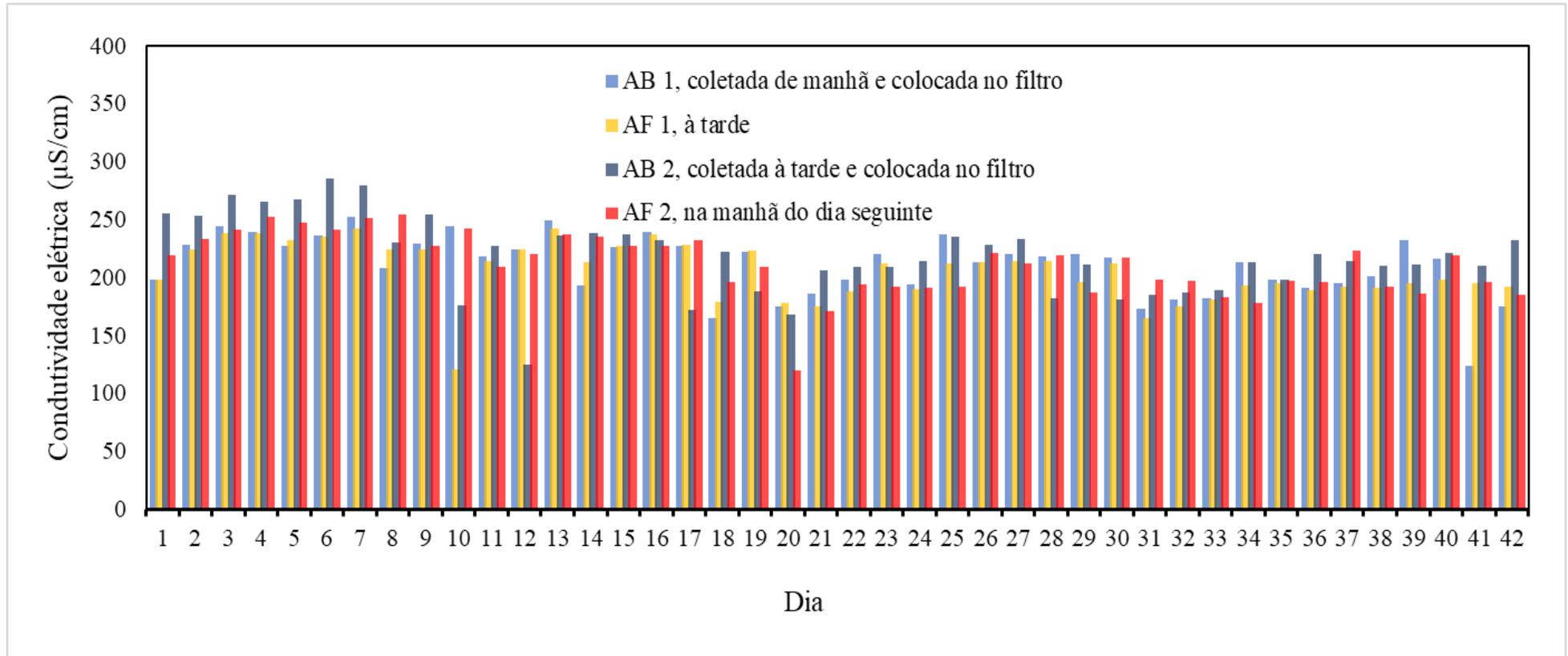
Fonte: Elaborada pela autora (2021)

A condutividade elétrica da água é um indicador auxiliar de poluição. Em busca de informações observa-se que a portaria brasileira não traz recomendações sobre a CE. De acordo com a Vigilância e Controle da Qualidade da Água para consumo humano do Ministério da Saúde (2006) as águas naturais apresentam-se teores de condutividade na faixa de 10 a 100 0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores poderão chegar até 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

As análises de condutividade elétrica iniciaram-se no dia 20 de setembro de 2021 e encerrou no dia 19 de novembro 2021, totalizando 42 dias de experimento. Foram realizadas as análises para a água bruta e a água filtrada para realizar a comparação. Na Figura 15 pode-se observar o comportamento obtidos a partir dos resultados deste estudo, a valores variaram-se na AB 1 (coletada na manhã e colocada no filtro) de 165 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 255 $\mu\text{S}/\text{cm}$, AF 1 (à tarde) de 175 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 143 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) de 173 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e a AF 2 (na manhã seguinte) de 171 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 255 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e as médias obtidas dos valores foram de AB 1 (coletada na manhã e colocada no filtro) foi de 211 $\mu\text{S}/\text{cm}$, AF 1 (à tarde) de 206 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) de 219 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e AF 2 (na manhã seguinte) de 211 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

As médias dos resultados obtidos para a condutividade elétrica, conforme a literatura mencionada acima, estão elevadas, acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Possivelmente este valor elevado de CE no Rio do Meio seja proveniente de esgotos não tratados, poluição difusa na água, descartes de resíduos sólidos irregular, vias públicas.

Figura 15 – Condutividade Elétrica



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

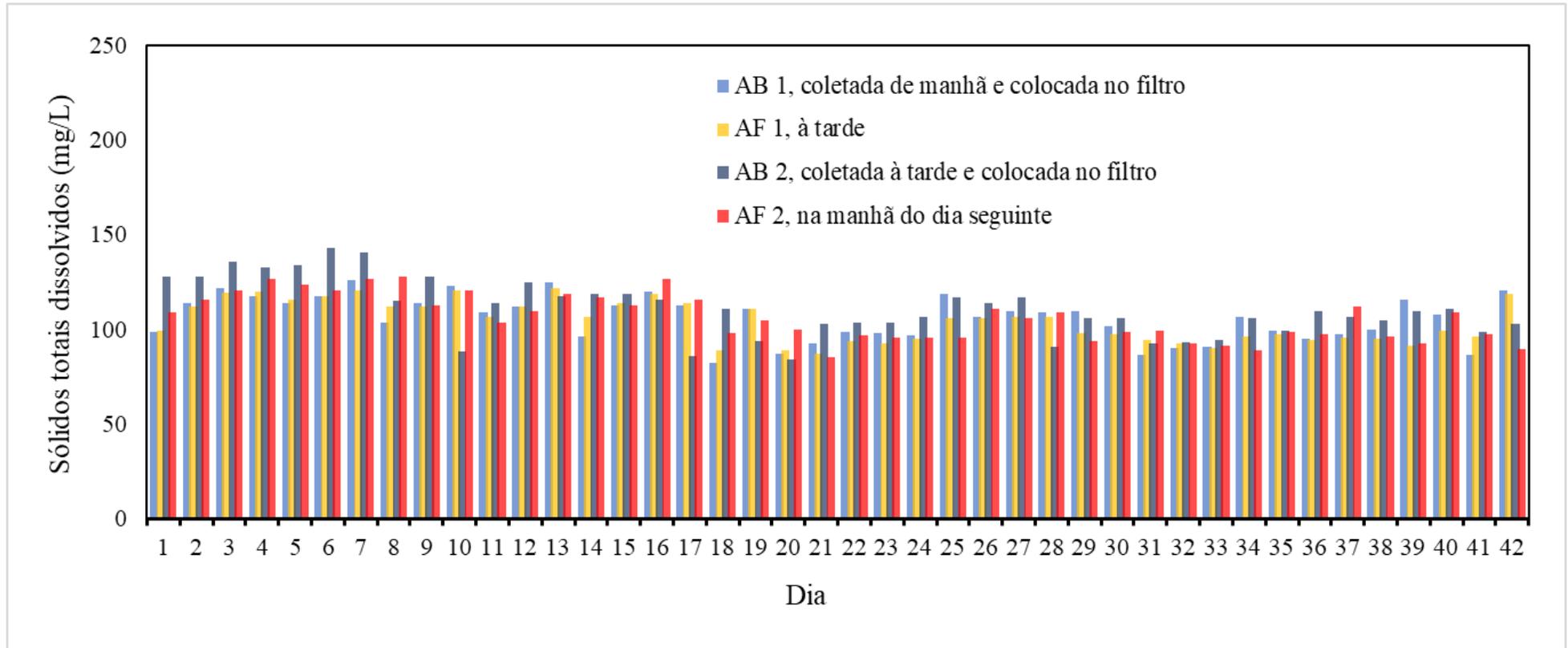
As análises dos Sólidos Totais Dissolvidos ocorreram em 42 dias, foram analisadas para água bruta e para água filtrada. De acordo com a Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021, água potável deve estar dentro do padrão estabelecido de potabilidade, para sólidos totais dissolvidos o valor máximo permitido é 500 mg/L.

Os resultados obtidos para Sólidos Totais Dissolvidos estão apresentados na Figura 16. Estes resultados tiveram variação nas águas brutas de AB1 (coletada na manhã e colocada no filtro) foram de 87 mg/L a 126 mg/L, AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) foram de 88 mg/L a 143 mg/L e nas águas filtradas variaram-se de AF 1 (à tarde) foram de 89 mg/L a 120 mg/L e a AF 2 (na manhã do dia seguinte) foram de 85 mg/L a 128 mg/L.

A porcentagem de remoção de sólidos totais dissolvidos neste estudo foi de 1,65% na AF 1 (à tarde) e 4,05% na AF 2 (na manhã seguinte). Pode-se observar que a AF 2 teve maior porcentagem de remoção, provavelmente por ter mais tempo de intermitência comparada com AF 1 (Figura 16).

Conforme apresentado na Figura 16, os resultados obtidos para sólidos totais dissolvidos não tiveram muitas variações e as porcentagens de remoções nas filtrações foram relativamente pequenas, diante destes resultados as águas filtradas estão dentro do padrão estabelecido pela Portaria nº 888 de maio de 2021 inferiores a 500 mg/L.

Figura 16 – Sólidos Totais Dissolvidos.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

As análises de cor aparente iniciaram-se no dia 21 de setembro e foram finalizadas no dia 19 de novembro de 2021 totalizando 35 dias. As análises da cor aparente iniciaram-se após o amadurecimento do filtro.

Os resultados da cor aparente das amostras podem ser observados na figura 16, na qual é possível observar a cor aparentes no 6º dia foi de 142 uH e no 24º dia 108 uH, ou seja, houve um aumento significativo na cor aparente da AB 1 (coletada na manhã e colocada no filtro). O mesmo aconteceu com a AB 2 (coletada na tarde e colocada no filtro), onde houve um aumento significativo na cor aparente no 8º dia 150 uH, 14º dia 108 uH, 23º dia 216 uH, 24º dia 204 uH, mesmo com esse aumento nos resultados obtidos do parâmetro da cor aparente e perceptível que o filtro lento teve um bom desempenho na remoção da cor aparente nas águas filtradas. Este aumento na cor aparente nas águas brutas nestes dias do experimento possivelmente ocorreu devido as precipitações que aumentaram drasticamente a cor aparente da água bruta do rio do Meio e o desague de esgoto no rio.

Os dados das águas brutas variaram entre 34 uH a 142 uH na AB 1 (coletada de manhã e colocada no filtro), na AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) variaram-se de 40 uH a 204 uH, e as médias da cor aparente AB 1 (coletada de manhã e colocada no filtro) é de 68 uH e AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) é de 75 uH (Figura 17).

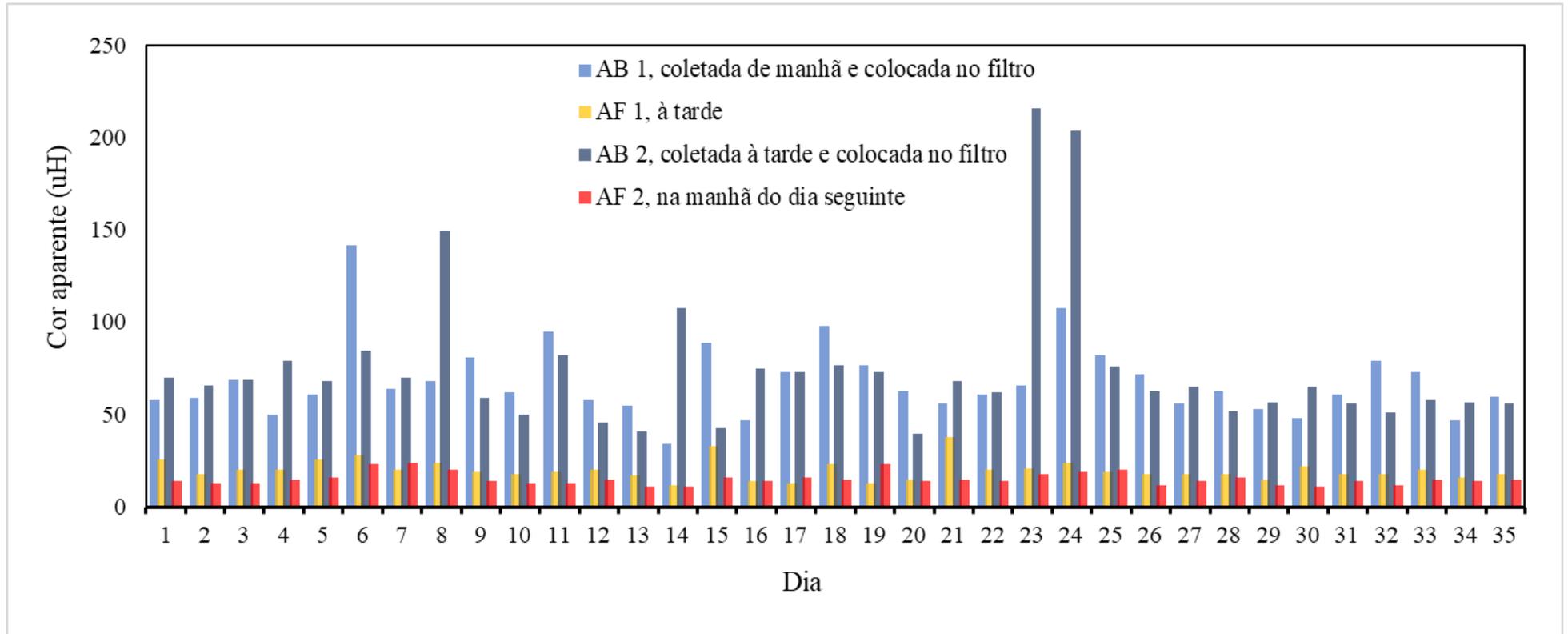
De modo geral pode-se observar na figura 16, que houve uma redução da cor aparente após as filtrações, ou seja, o filtro teve bom desempenho.

As variações dos resultados obtidos nas filtrações variaram na AF 1 (à tarde) foi de 15 uH a 38 uH e a AF 2 (na manhã do dia seguinte) de 12 uH a 20 uH. A média da cor aparente nas águas filtradas foram de AF 1 (a tarde) de 20 uH, AF 2 (na manhã do dia seguinte) de 15 uH (Figura 17)

A Portaria nº 888 de 4 de maio de 2021, que estabelece o padrão de potabilidade para cor aparente sendo o valor máximo permitido de 15 uH. A AF 2 (na manhã do dia seguinte) estava dentro do padrão, já a AF 1 (à tarde) estava um pouco acima do padrão recomendado pela Portaria, provavelmente por ter menos tempo de intermitência no filtro a AF 1 (à tarde) foi que teve menor remoção de cor aparente, pois a AF 2 (na manhã do dia seguinte) ficou mais tempo de intermitência e teve uma melhor remoção de cor aparente e também pelo aumento da cor aparente nas águas brutas, devida as precipitações de chuva e o desague de esgoto no rio.

De modo geral, o filtro lento teve um bom desempenho, a porcentagem de remoção de cor aparente na AF 1 (à tarde) de 69% e AF 2 (na manhã seguinte) de 77%, conforme apresentado na tabela 10.

Figura 17 – Cor Aparente



Fonte: elaborado pela autora (2021).

A cor verdadeira é um indicador importante da concentração de matéria orgânica presente nas águas brutas. A cor verdadeira não tem um padrão estabelecido para a água tratada pela portaria de Potabilidade.

As águas brutas apresentam em geral a cor verdadeira variando de 0 a 200 uH (LIBANIO, 2010). Segundo Michelan (2010), a remoção de cor verdadeira não é eficiente nos filtros lentos.

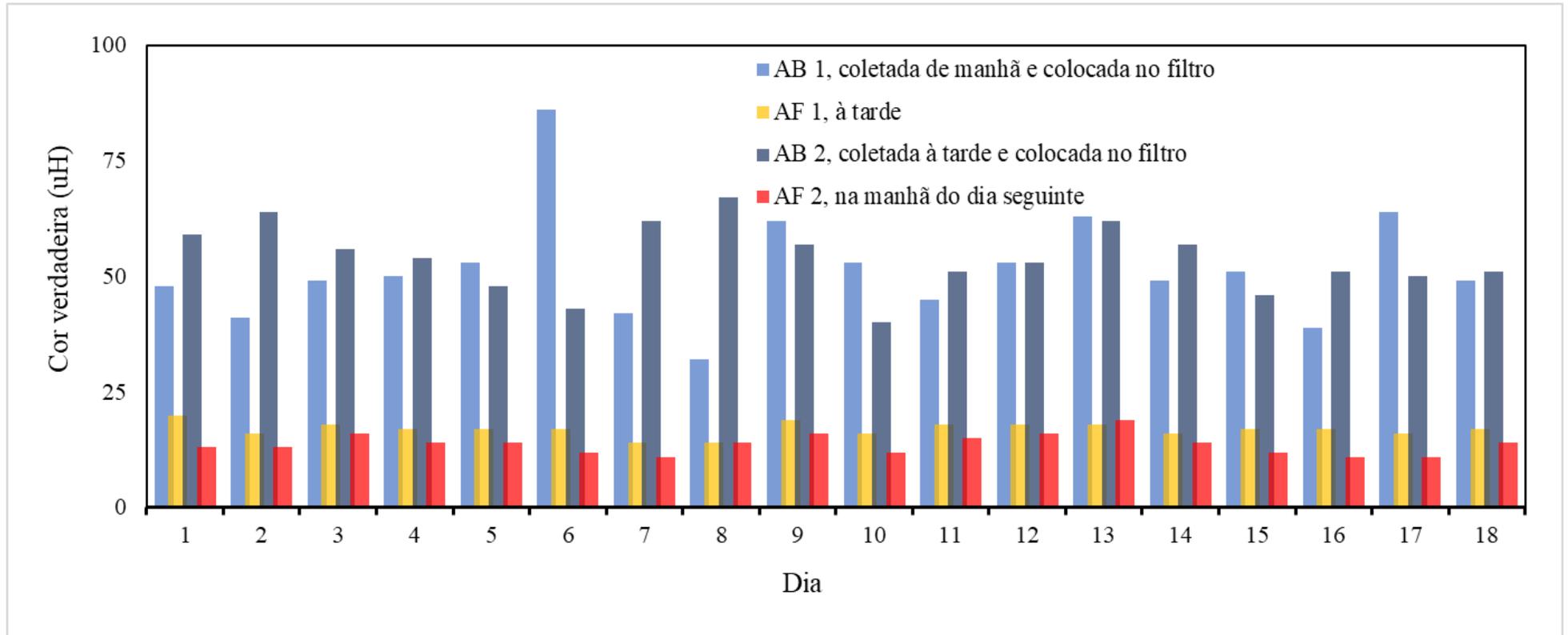
A análise de cor verdadeira é obtida no laboratório fazendo-se a filtração da amostra. As análises da cor verdadeira iniciaram-se no dia 21 de setembro de 2021 e finalizada no dia 18 de novembro 2021, totalizando 18 dias de experimento em decorrência da limitação do papel filtro qualitativo.

Na Figura 18, apresenta os valores obtidos nas análises da cor verdadeira, as águas brutas os resultados variaram-se de 39 a 86 uH na AB 1 (coletada de manhã e colocada no filtro), e na AB 2 (coletada a tarde e coletada no filtro) de 40 a 67 uH,

Observa-se na Figura 18, que houve remoção da cor verdadeira nas filtrações. Os valores obtidos variaram as porcentagens de remoção para o parâmetro da cor verdadeira foram de 14 a 20 uH na AF1 (à tarde), e a média foi de 54 uH e remove-se 66% para AF 2 (na manhã do dia seguinte) de 13 a 19 uH e a média foi de 52 uH removeu 74% (Tabela 10).

Os resultados obtidos da cor verdadeira das águas brutas estão dentro do padrão recomendado pelo autor citado anteriormente.

Figura 18 – Cor verdadeira



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

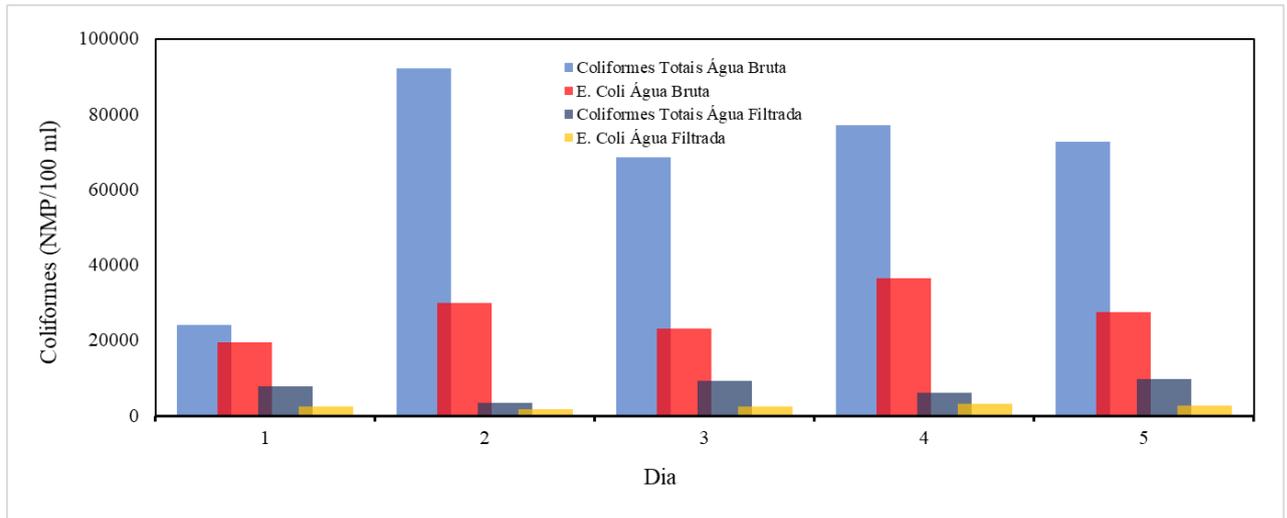
A Portaria de Consolidação nº 888 (BRASIL, 2021) estabelece como padrão da água para consumo humano, ausência em 100 mL após a desinfecção. Destaca-se que neste estudo não ocorreu a etapa de desinfecção.

As análises foram iniciadas no dia 29 de setembro de 2021 e terminou no dia 27 de outubro, totalizando 5 dias de tempo de experimento. As análises de coliformes totais e *E. Coli* ocorreram uma vez na semana e apenas na parte da manhã, em decorrência do custo alto dos materiais e a quantidade de material que estava disponível pela universidade para realização através do método Colilert.

De acordo com Cawst (2012) o filtro lento ideal consegue remover acima de 99% dos patógenos. A tecnologia da filtração lenta tem grande eficiência na remoção de microrganismos. A tecnologia da filtração lenta tem vantagem na sua eficiência na remoção de microrganismos superiores à de tratamentos com coagulação química (MURTHA, 1997). Segundo o estudo de Michelan (2010) a eficiência na remoção dos coliformes totais chega de 83%. E a eficiência de remoção de coliformes termotolerantes na performance do filtro lento tem redução de 95-100% (VISSCHER, 1990)

O filtro lento apresenta boa taxa de remoção de coliformes totais e *E. Coli*, a eficiência de remoção do filtro para o parâmetro está expressa na Tabela 11. A eficiência pode estar relacionada a atividade microbiológica representada pelo consumo de Oxigênio Dissolvido. O filtro lento não apresentou eficiência na remoção *E. Coli* como obtida por VISSCHER, (1990) que encontraram resultados maiores de remoção (Tabela 11). Já os resultados obtidos para os coliformes totais o filtro mostra-se eficiente, conforme a pesquisa de Michelan (2010). Apenas o dia 1 teve resultados abaixo dos 83%. De modo geral o filtro apresentou eficiência na remoção.

A Figura 19 apresenta os resultados dos coliformes totais e *E. Coli* da água bruta e remoção de coliformes totais e *E. Coli* da água filtrada. A primeira análise, apresentou menor remoção porque o filtro lento ainda se encontrava no período de maturação, e conforme os dias foram passando a remoção de *E. Coli* e coliformes totais foram aumentando. Os resultados das águas brutas para os coliformes totais e *E. Coli* foram variados e tiveram picos elevados, provavelmente por haver contribuição de esgotos não tratados, poluição difusa, entre outros fatores. Mesmo com esta problemática da água bruta, o filtro apresentou bom desempenho e eficiência para a remoção de coliformes (Figura 19).

Figura 19 – Coliformes Totais e *E. Coli*

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento desta pesquisa possibilitou o monitoramento do filtro lento intermitente BSF já instalado na Instituição.

Na aplicação da tecnologia de filtração lenta não há a necessidade de emprego de coagulantes químicos, além de exigir menor frequência de limpeza, e a operação é simples (HELLER, LÉO; PÁDUA, VALTER LÚCIO, 2010).

De modo geral o filtro lento intermitente BSF apresentou boa remoção de turbidez, sólidos totais dissolvidos, cor verdadeira, cor aparente, coliformes totais e *E. Coli*. Essa tecnologia mostrou-se bastante eficiente e resultados promissores. Nesta pesquisa foi realizada a alimentação do filtro com água bruta duas vezes ao dia, com tempo de intermitências distintas, quando a água bruta foi colocada no filtro na parte da manhã, com uma intermitência aproximadamente de 7 horas e 30 minutos e novamente aplicada a água bruta na parte da tarde a intermitência até a próxima filtração foi de 16 horas e 30 minutos, as análises foram realizadas para as águas brutas e as águas filtradas, para obter uma comparação do desempenho do filtro em horários distintos, de modo geral a água filtrada AF 2 (na manhã do dia seguinte) teve maior tempo de intermitência foi mais eficiência de remoção nos parâmetros, comparada com a AF 1 (à tarde). Mesmo com essa problemática de desague de esgoto, resíduos, chuvas no Rio do Meio e com aumento dos resultados obtidos possivelmente devido a isso nos parâmetros da AB 2 (coletada a tarde e colocada no filtro) a AF 2 (na manhã do dia seguinte) os resultados foram satisfatórios.

Como finalização desta pesquisa, concluiu-se a água filtrada AF 2 (na manhã do dia seguinte) alcançou valores de turbidez abaixo do máximo permitido pela Portaria n° 888/2021 do Ministério da Saúde, já a AF 1 (à tarde) alguns valores obtidos foram acima do permitido pela portaria, mas de modo geral o filtro obteve bom desempenho. O valor da cor aparente alcançado na AF 2 (na manhã do dia seguinte) foi considerado satisfatório, a AF 1 (à tarde) não foi satisfatória, ou seja, alguns valores estavam acima do valor estabelecido pela portaria. A cor verdadeira e o pH apresentaram valores satisfatórios.

Os parâmetros pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, permaneceram praticamente estáveis durante todo o tratamento e comportaram-se de acordo com o esperado. Já o OD apresentou variação e picos de valores em alguns momentos, muito provavelmente devido a reserva de água bruta em períodos de chuvas intensas.

O filtro lento intermitente não atingiu 100% de remoção de coliformes totais e *E. Coli*. necessitando assim que seja realizada a etapa de desinfecção, embora que a portaria estabelece que toda a água destinada ao consumo humano seja desinfectada.

Concluindo-se neste trabalho a AF 2 (na manhã do dia seguinte) com maior tempo de intermitência teve maior remoção nos parâmetros que foram estabelecidos nesta pesquisa, mas de modo geral o filtro lento intermitente obteve um ótimo desempenho, salientando-se a eficiência e aplicação desta técnica de filtração lenta para tratamento de água em comunidades isoladas.

Recomendações para trabalhos futuros

Como recomendação para trabalhos futuros recomenda-se realizar o processo de desinfecção da água filtrada antes do consumo, podendo ser realizada através de radiação UV, aplicação de cloro ou aquecimento da água com alta temperatura. Sempre que for possível recomenda-se o uso de água bruta de melhor qualidade.

Sugere-se usar a buscar outras fontes de água bruta, pois em dias de chuvas a água apresentava com a turbidez maior que 10 uT, e em decorrência deste fato os resultados obtidos não foram satisfatórios conforme o que é recomendado pela Portaria e a literatura. Além do que, busca-se uma fonte de água bruta livre de ações antropológicas e poluição. Assim, para que houvesse um melhor desempenho nos valores providenciou-se o armazenamento da água em períodos chuvosos. Também se recomenda evitar que o filtro lento fique sem operação em períodos de intermitência maiores que 48 horas.

REFERÊNCIAS

- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216 - 1992 - **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento**. Rio de Janeiro, 1992, 18p.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRO DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218: **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público Procedimento**. Rio de Janeiro. 2017. 23p
- AGUILA, N K S del; DI BERNARDO, L. Organismos responsáveis pelo amadurecimento do filtro lento de areia precedida da pré-oxidação com ozônio ou peróxido de hidrogênio v.22.2003.
- BÁSICO, Programa de Pesquisa em Saneamento *et al.* **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Rio de Janeiro: ABES Rio de Janeiro, 1999.
- BASTOS. F.P **Tratamento De água de chuva através de filtração lenta e desinfecção Uv**. Universidade Federal Do Espírito Santo. Vitória, 2007.
- BERNARDO, Luiz Di; BRANDÃO, Cristina Célia S; HELLER, Léo. PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas**, p. 114, 1999.
- BRASIL. Lei Federal n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n.5, p. 3-7, 8 jan. 2007.
- BRASIL. Lei Federal n.º 14.026, de 15 de julho de 2020. Esta Lei atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico competência para instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, Julh. 2020.
- BRASIL. **Ministério da saúde. Fundação Nacional de Saúde**. Caderno técnico: projeto e operação de filtros lentos retrolaváveis para o tratamento de água para abastecimento / Fundação Nacional de Saúde. – Florianópolis: Universidade de Santa Catarina, 2019.
- BRASIL. Lei Federal n. 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF nº 888 p 12, mai. 2021.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Manual de Controle da Qualidade da água para Técnicos que Trabalham em ETAS/ Ministério da Saúde**, Fundação Nacional de Saúde- Brasília: Funasa, 2014. 112 p.
- BRINCK, Nádia Cristina Pires. **Avaliação do Tipo de Material Filtrante no Comportamento Hidráulico de Filtros Rápidos de Camada Profunda no Tratamento de Águas de Abastecimento**. p. 1–393, 2009. Tese (Doutorado em Engenharia) Pós-Graduação Engenharia Hidráulica e Saniária. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.
- CAWST. **Biosand filter construction manual**. Centre for Affordable Water and Sanitation

Technology Calgary, Alberta, 2012.

CAWST. **Biosand filter construction manual**. Centre for Affordable Water and Sanitation Technologies. Calgary, Canada. CAWST,2017.

CAWST, C. **Biosand Filter Manual: Design, Construction, Installation, Operation, and Maintenance.**: Centre for Affordable Water and Sanitation Technology Calgary, 2009.

CEBDS, Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (Brazilian Business Council for Sustainable Development),2019.

COSTA, Ilton Garcia da; MELLO, Caroline Gomes de. O direito Fundamental de Acesso á água Potável ao Consumidor Inadimplente. **Revista Quaestio Iuris**, Rio de Janeiro v. 14, p. 219–239, 2021.

DA COSTA, Rejane Helena Ribeiro. **Estudos comparativos da eficiência de filtros lentos de areia convencionais e de fluxo ascendente**. Dissertação (Mestrado Hidr. San) Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 1980.

DE SOUZA, Flavia Ferreira. **Comparação entre os meios filtrantes areia e não tecido sintético na eficiência da filtração lenta para tratamento de água**. Tese (Doutora em Engenharia Agrícola na Área de Águas de Solo) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2015.

DI BERNARDO, L. **Filtração lenta e pré-filtração de águas de abastecimento**. Apostila, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1989.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: Abes Rio de Janeiro, 1993. v. 1

DI BERNARDO, Luiz; PAZ, Lyda Patricia Sabogal. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: LDIBE, 2008.

DUARTE, Marcos Antonio Calazans. **Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração**. São Carlos/SP: Tese Doutorado (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) Curso Pós- Graduação e Áreas de Concentração em Engenharia Hidraulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, São Carlos- sp, 2011.

ELLIOTT, M. A. *et al.* Reductions of E. coli, echovirus type 12 and bacteriophages in an intermittently operated household-scale slow sand filter. **Water Research**, v. 42, n. 10–11, p. 2662–2670, 2008.

FREITAS, B. L.S. *et al.* A critical overview of household slow sand filters for water treatment. **Water Research**, v. 208, n. October 2021, 2022.

GAIO, Susana Sofia Marques. **Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade económica**. 2016. Dissertação(Mestrado integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) Curso de Pós- Graduação Engenharia da Energia e do Ambiente, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

- GOMES, Adérito Miguel Costa. **Análise da evolução da qualidade da água do rio Cávado na última década e respetivos impactes na operação da ETA de Areias de Vilar**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biológica) - Curso de Pós Graduação Tecnologia Ambiental, Universidade do Minho Escola de Engenharia, Braga, 2016.
- GUAN, Peining *et al.* Removal of Escherichia coli from lake water in a biochar-amended biosand filtering system. **Ecological Engineering**, Canadá, v. 150, n. March, p. 105819, 2020.
- GIMBEL, Rolf; GRAHAM, Nigel; COLLINS, M Robin. **Recent progress in slow sand and alternative biofiltration processes**. 1 ed Padstow: IWA p. 581, 2006.
- HESPAÑHOL, I. **Investigação sobre o comportamento e aplicabilidade de filtros lentos do Brasil**. 1969, 163p. Tese Doutorado (Doutorado em Hig, saúde pública)- Curso da Pós-Graduação Higiene e Saúde Pública, Universidade de São Paulo- USP, São Paulo.
- HELLER, Léo; DE PADUA, VALTER LUCIO. **Abastecimento de água para consumo humano**.: Editora UFMG, 2006.
- HUISMAN, L. Research and demonstration project on slow sand filtration. *In:* , 1982. **Reprinted for the AIDIS Congress Health in Panama**, 1982
- HUISMAN, Leendert; WOOD, William E. **Slow sand filtration**. Geneva: World Health Organization, 1974.
- HAARHOFF, J.; CLEASBY, J. L. **Biological and physical mechanisms in slow sand filtration**. In: LOGSDON, G. S. (Ed.). Slow sand filtration. 1. ed. Nova York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 19 – 68
- HOWE, Kerry; HAND, David Hand; RHODER J.C.R; TRUSSELL, George T.. **Princípios de Tratamento de Água**. 1 ed. São Paulo,SP: Cengage Learning, 2016.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Séries históricas e Estatísticas, Disponível em: IBGE | Séries Estatísticas & Séries Históricas. Acesso em: 20 novem, 2021.
- JENKINS, Marion W.; TIWARI, Sangam K.; DARBY, Jeannie. Bacterial, viral and turbidity removal by intermittent slow sand filtration for household use in developing countries: Experimental investigation and modeling. **Water Research**, v. 45, n. 18, p. 6227–6239, 2011.
- KAWAMURA, Susumu. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2 : New York:Wiley , 2000.
- KERRY HOWE, DAVID HAND, JOHN CRITTENDEM, R. RHODES, TRUSSELL, George Tchobanoglous. **Princípios de Tratamento de Água**. 1ªed. São Paulo,SP: Cengage Learning, 2016.
- LÉO HELLER; VALTER LÚCIO DE PÁDUA. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.
- LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas:

Átomo, 2010.

LIBERATO, Johnny Amorim. **Defesa Civil e Prevenção de Desastres: Como seu Município pode estar preparado**. Brasília/DF: Coletânea Gestão Pública Municipal: gestão 2017-2020, 2016.

LOGSDON, Gary S *et al.* Slow sand filtration for small water systems. **Journal of Environmental Engineering and Science**, v. 1, n. 5, p. 339–348, 2002.

LOGSDON, Gary S; FOX, Kim. Getting your money's worth from filtration. **Journal-American Water Works Association**, v. 74, n. 5, p. 249–256, 1982.

LOO, Siew-Leng *et al.* Emergency water supply: a review of potential technologies and selection criteria. **Water research**, v. 46, n. 10, p. 3125–3151, 2012.

LUIZ DI BERNANRDO. **Metodos e Tecnicas de Tratamento de Água**. 2. ed. São Paulo,SP: RIMA, 2005.

MANZ, David H; ENG, P. BioSand water filter technology household concrete design. **Retrieved October**, v. 22, p. 2008, 2007.

MARRARA, Danilo Aparecido Faveri. **Filtração lenta em areia, manta não tecida e carvão ativado como pós-tratamento de efluentes domésticos e reuso**. 2005. Dissertação (Mestrado-Engenharia Civil)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas,2005.

MEDINA, Leonardo Ramírez; DUARTE, Noel S Pérez. Uso de filtros lentos para el tratamiento de água a nivel domiciliario. **Ingeniería Hidráulica y Ambiental**, Cuba, v. 23, n. 1, p. 44–50, jan 2002.

MENESES, T. A; UCHOA, F. Mortalidade infantil, saneamento básico e o impacto da saúde sobre o crescimento econômico brasileiro. In **Anais do XXXIX Encontro Nacional de Economia Foz do Iguaçu/Paraná: ANPEC** (p. 1–16), 2011.

MICHELAN, Denise Conceição de Gois Santos. **Filtração em Margem de Rio Procedendo a Filtração Lenta, para remoção de Carbofurano em Tratamento de Água para Consumo Humano**, 2010. Tese doutorado (Engenharia ambiental) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis,2010.

MURTHA, Ney Albert; HELLER, Léo; LIBÂNIO, Marcelo. A filtração lenta em areia como alternativa tecnológica para o tratamento de águas de abastecimento no Brasil. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**,19., 1997, Foz do Iguaçu, II 085, 1997, Foz do Iguaçu: ABES, 1997, 12 p.

NAKAMOTO, Nobutada; GRAHAM, Nigel; GIMBEL, Rolf. **Progress in Slow Sand and Alternative Biofiltration Processes**. London: Iwa Publishing, 2014.

NAPOTNIK, Julie A.; BAKER, Derek; JELLISON, Kristen L. **Influence of sand depth and pause period on microbial removal in traditional and modified biosand filters**. Pesquisa

de água, v. 189, p.116577, 2021.

NASCIMENTO, A. P.; PELEGRINE, R. T.; BRITO, N. N. Filtração Lenta Para o Tratamento de Águas Para Pequenas Comunidades Rurais. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiás v.2 n. 4, 2012. p.54-58, 2012.

NEVES, I. F. **Estudo da eficiência de remoção de microrganismo na filtração lenta de água de abastecimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitaria)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia de São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos São Carlos/SP,1987ação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, 1987.

OHCHR, U. N. Recommended principles and guidelines on human rights and human trafficking. **Commentary**. Geneva: OHCHR, 2010.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Carta de Ottawa – Primeira Conferência Internacional sobre Promoção da Saúde**. Ottawa.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. 2015**. Disponível em: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável As Nações Unidas no Brasil. Acesso em: 23 de dez,2021.

PATERNIANI, José ES et al. Pré-filtração em pedregulho e filtração lenta com areia, manta não tecida e carvão ativado para polimento de efluentes domésticos tratados em leitos cultivados. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 803-812, 2011.

PIZZOLATTI, B S. **Estudos de limpeza de filtro lento por raspagem e retrolavagem. 2010. 119 f.**: Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. 1. ed. São Paulo,SP: Editora Blucher, 2009.

RICHTER, Carlos A; DE AZEVEDO NETTO, José Martiniano. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo/SP: Editora Blucher, 2003.

SÁ, Jazielli Carvalho. **Influência das Características da Camada Filtrante e da Taxa de Filtração na Eficiência de Remoção de *Microcystis aeruginosa* e Microcistina na Filtração Lenta em Areia**. 2006. Tese de Doutorado (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)- curso de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hidricos, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2006.

SAIANI, Carlos César Santejo; TONETO JÚNIOR, Rudinei. Evolução do acesso a serviços de saneamento básico no Brasil (1970 a 2004). **Economia e Sociedade**, v. 19, n. 1, p. 79–106, 2010.

SILVA, Bruno M. Ramo. **Avaliação do Emprego de Areia de Britagem como Leito Filtrante de Filtro Rápido para o Tratamento de Água**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa Minas Gerais: Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2018.

SNIS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de água e Esgotos** – 2019. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2019

SOARES, A. F. S.; LEÃO, M. M. D. **Contaminação dos Mananciais por Micropoluentes e a Remoção desses Contaminantes nos Tratamentos Convencionais de Água para Potabilização**, Minas Gerais, v. 14, n. 24, p. 36-85, 2015.

SOUZA, Fernando Hymnô. **Tratamento de água para abastecimento por meio de filtros lentos de fluxo ascendente com limpeza por retrolavagem e descarga de fundo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SOUZA, Fernando Hymnô. **Estudo da biomassa e comunidade bacteriana em filtros lentos retrolaváveis**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

STAUBER, Christine E. **The microbiological and health impact of the biosand filter in the Dominican Republic: A randomized controlled trial in Bonao**: The University of North Carolina at Chapel Hill, 2007.

SUMMERS, R S; SHIMABUKU, K; ZEARLEY, T. A review of biologically-based drinking water treatment processes for organic micropollutant removal. **Progress in Slow Sand and Alternative Biofiltration Processes—Further Developments and Applications**, Collins M. and Graham N.(eds), IWA, London, p. 17–24, 2014.

TSUTIYA, M T. Abastecimento de água 4. ed. **São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade**, p. 643, 2014.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de água**. 3ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Cap 3, 2006.

TCHOBANOGLIOUS, G.; HOWE, K. J.; HAND, D. W.; CRITTENDEN, J. C.; TRUSSEL, R. R. **Princípios de Tratamento de Água**. 1ª edição, São Paulo: Cengage, 2016.

VIANNA, Marco Rocha. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. 4. ed. Belo Horizonte: Instituto de Engenharia Aplicada, 2002. 575p.

VISSCHER, Jan Teun. Slow sand filtration: Design, operation, and maintenance. **Journal-American Water Works Association**, v. 82, n. 6, p. 67-71, 1990.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.**: Editora UFMG, 2005. v. 3

VON SPERLING, Marcos. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed. Minas Gerais:UFMG, 1996.

YOUNG-ROJANSCHI, Candice; MADRAMOOTOO, Chandra. Intermittent versus continuous operation of biosand filters. **Water Research**, v. 49, n. 1, p. 1–10, 2014.