



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL  
*CAMPUS DE POMBAL - PB*

MYLLENA KELY PEREIRA FERREIRA

**POTENCIAL USO DAS ARGILAS VERDE E BRANCA COMO MEIO FILTRANTE  
NO AUXÍLIO AO TRATAMENTO DE ÁGUA**

POMBAL - PB

2022

MYLLENA KELY PEREIRA FERREIRA

**POTENCIAL USO DAS ARGILAS VERDE E BRANCA COMO MEIO FILTRANTE  
NO AUXÍLIO AO TRATAMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, *Campus* de Pombal - PB, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira.

Área de concentração: Tratamento de água.

POMBAL - PB

2022

F383p Ferreira, Myllena Kely Pereira.

Potencial uso das argilas verde e branca como meio filtrante no auxílio ao tratamento de água / Myllena Kely Pereira Ferreira. – Pombal, 2022. 63 f. il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Profa. Dra. Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira”.  
Referências.

1. Tratamento de água. 2. Filtração lenta. 3. Comunidades isoladas. 4. Comunidades rurais. I. Oliveira, Andréa Maria Brandão Mendes de. II. Título.

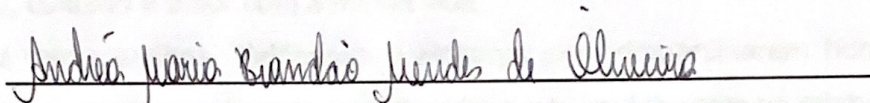
CDU 628.16(043)

MYLLENA KELY PEREIRA FERREIRA

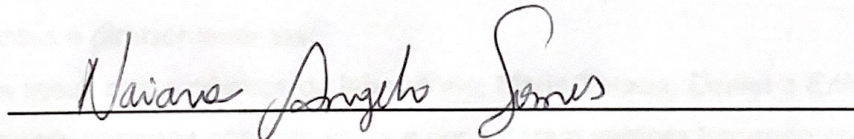
**POTENCIAL USO DAS ARGILAS VERDE E BRANCA COMO MEIO FILTRANTE  
NO AUXÍLIO AO TRATAMENTO DE ÁGUA**

Aprovado em, 31/08/22.

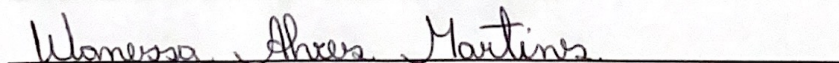
**BANCA EXAMINADORA**



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira  
(Orientadora) – UFCG/Campus de Pombal - PB



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Naiara Angelo Gomes  
(Examinador interno) – UFCG/Campus de Pombal-PB



Prof<sup>a</sup>. Msc. Wanessa Alves Martins  
(Examinador externo) – ECIT Monsenhor Vicente Freitas

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por sua bondade, fidelidade, cuidado e direções durante toda a minha vida.

Aos meus pais, Genilda de Lima Pereira Ferreira e Francisco Adriano Monteiro Ferreira, por todo esforço e por serem exemplos para mim em todos os aspectos. As minhas irmãs Michelle Pereira Ferreira e Marina Pereira Ferreira, por todo amor.

As minhas amigas, Mariana Vieira e Raphaela Mota, por estarem sempre ao meu lado me apoiando e incentivando, por todos os ensinamentos, companheirismo e orações.

Aos meus irmãos da Igreja Verbo da Vida Pombal - PB, em especial ao pastor Izomar Lima e sua esposa Luciana, ao pastor Diego Dantas e sua esposa Helisse, por todo apoio, cuidado e amor com a minha vida.

Aos meus amigos, Valderisso e Hosana, por compartilharem bons e maus momentos, me ajudarem durante a graduação e por contribuírem na minha trajetória profissional.

A minha orientadora, Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira, por todos ensinamentos, pela paciência em todo esse trajeto e por todas as orientações que foi de extrema contribuição para o aperfeiçoamento deste trabalho.

A Luiz, técnico do laboratório de análises de água da UFCG, por todos os ensinamentos e direcionamentos.

Aos meus companheiros de laboratório, Maria Tereza, Daniel e Erika, obrigada por toda ajuda e por estarem sempre torcendo por mim.

A banca examinadora, pela contribuição dada para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos meus amigos de turma, por contribuírem na minha carreira profissional.

A todos os meus professores durante a graduação, meu muito obrigada.

Por fim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui. Sou extremamente grata a cada um de vocês.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Distribuição dos recursos hídricos por população em % do total no Brasil .....	16
<b>Figura 2</b> - Elementos básicos do filtro lento.....	26
<b>Figura 3</b> - Estrutura sílica (a) mostrando a disposição dos átomos e a estrutura de um tetraedro (b).....	29
<b>Figura 4</b> - Átomos de oxigênio ligados (a) formando os tetraedros, (b) a disposição da folha tetraédrica e (c) a vista superior de tetraedros formando uma folha de perfil hexagonal.....	29
<b>Figura 5</b> - Estrutura das moléculas octaédricas formadas pelos cátions hexacoordenados a oxigênio e hidroxila (a), (b) e (c) .....	29
<b>Figura 6</b> - Folha bidimensional octaédrica (a) vista lateral do tipo dioctaedral, (b) vista lateral de octaedros, (c) vista superior da folha dioctaedral e (d) vista superior da folha trioctaedral.....	30
<b>Figura 7</b> - Representação do oxigênio na posição apical e condensação entre as folhas tetraédrica e octaédrica .....	30
<b>Figura 8</b> - Representação da estrutura das lamelas dos argilominerais do tipo (a) 1:1 e (b) 2:1.....	31
<b>Figura 9</b> - Esquema das etapas metodológicas do estudo.....	34
<b>Figura 10</b> - Modelo da montagem dos protótipos I, II, III, IV e V.....	35
<b>Figura 11</b> - Modelo da montagem dos protótipos VI, VII, VIII e IX.....	37
<b>Figura 12</b> - Modelo de pastilhas .....	38
<b>Figura 13</b> - Modelo das esferas.....	38
<b>Figura 14</b> - Modelo da montagem dos protótipos X e XI .....	39
<b>Figura 15</b> - Montagem inicial dos filtros .....	42
<b>Figura 16</b> - Filtros VI, VII, VIII e IX.....	42
<b>Figura 17</b> - Protótipo I após a lavagem com água (a) e protótipo II com espessura reduzida (b) .....	43
<b>Figura 18</b> - Pastilhas de argila verde misturado com argila branca após 4h a 350°C na mufla .....	45
<b>Figura 19</b> - Pastilhas 1 (a), 2 (b) e 3 (c) durante o tempo de contato com a água bruta.....	46
<b>Figura 20</b> - Total removido de Sódio (Na) pelas patilhas 1.....	47

<b>Figura 21</b> - Pastilhas 1 (a), 2 (b) e 3 (c) durante o tempo de contato com a água bruta .....	48
<b>Figura 22</b> - Total removido de Cobre (Cu) pelas pastilhas 1 .....	48
<b>Figura 23</b> - Esferas de argila verde e branca.....	49
<b>Figura 24</b> - Protótipo X possuindo pastilhas (a) e o protótipo XI possuindo esferas (b).....	50
<b>Figura 25</b> - Protótipo XI após a adição de água .....	51
<b>Figura 26</b> - Protótipo XI após a adição de água .....	51
<b>Figura 27</b> - Registro para controle do fluxo de água.....	52

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Quantidade de areia e argila do meio filtrante para os filtros VI, VII, VII e IX.....	37
<b>Tabela 2</b> - Composição das pastilhas .....	38
<b>Tabela 3</b> - Percentual de redução do sódio para a conformação em pó.....	45



## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Valores máximos permitidos para parâmetros físico-químicos .....	17
<b>Quadro 2</b> - Análises físico-químicas realizadas e seus respectivos métodos ou equipamentos.....	39

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1	GERAL.....	15
2.2	ESPECÍFICO .....	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
3.1	DISPONIBILIDADE E DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO BRASIL .....	16
3.2	QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO .....	17
3.3	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....	19
3.3.1	<b>Filtração</b> .....	<b>22</b>
3.3.1.1	Filtração rápida .....	23
3.3.1.2	Filtração Lenta .....	23
3.3.1.2.1	<i>Funcionamento do filtro lento</i> .....	26
3.3.1.3	Camada Filtrante.....	27
3.3.1.3.1	<i>Argilominerais e Argila</i> .....	28
3.3.1.3.2	<i>Aplicações da argila</i> .....	32
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
4.1	LOCAL DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....	34
4.2	ETAPAS METODOLÓGICAS .....	34
4.2.1	<b>Espessura da camada filtrante e análise granulométrica da areia</b> ..	<b>34</b>
4.2.2	<b>Modelo dos protótipos com o material em pó</b> .....	<b>35</b>
4.2.3	<b>Produção de pastilhas e esferas de argila verde e branca</b> .....	<b>37</b>
4.2.4	<b>Modelo dos protótipos com o material em pastilhas e esferas</b> .....	<b>38</b>
4.2.5	<b>Análises físico-químicas</b> .....	<b>39</b>
4.2.5.1	Análise química de remoção do sódio (Na).....	40
4.2.5.2	Análises de remoção de cobre (Cu).....	41
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>42</b>
5.1	PROTÓTIPOS .....	42
5.2	COMPORTAMENTO DOS FILTROS COM O MEIO FILTRANTE EM PÓ .	43
5.3	ANÁLISE QUÍMICA DE SÓDIO (NA) E COBRE (CU) .....	45
5.3.1	<b>Análises de verificação para remoção de Sódio (Na)</b> .....	<b>45</b>
5.3.2	<b>Análises de verificação para remoção de Cobre (Cu)</b> .....	<b>47</b>
5.4	PROTÓTIPOS COM AS ESFERAS E PASTILHAS .....	49
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>55</b>

## RESUMO

A água é um recurso fundamental para a manutenção da vida. Porém, a sua qualidade tem sido modificada com secas intensas e pela poluição ocasionadas nos mananciais disponíveis, além disso, em algumas regiões do Brasil, a sua distribuição é irregular, isso se agrava ainda mais em relação as comunidades rurais e/ou isoladas. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi investigar o potencial uso das argilas verde e branca como meio filtrante, por meio da construção de onze protótipos de filtro lento com diferentes arranjos. A filtração lenta é um sistema de tratamento econômico e eficiente. Por isso, foram confeccionados protótipos utilizando as argilas verde e branca, e materiais consolidados como a areia, brita e rachinha. As argilas foram submetidas a análises em três conformações diferentes: em pó, pastilhas e esferas. Além disso, as argilas passaram por um tratamento térmico. Realizou-se a análise química para os elementos sódio (Na) e cobre (Cu), e análises físicas de cor aparente e turbidez. A partir dos resultados, constatou-se que as conformações de pastilha e esferas em relação ao material em pó, apresentaram melhores resultados. O total máximo removido para o sódio (Na) foi de aproximadamente 168mg/L e para o cobre (Cu) foi de aproximadamente 200mg/L. Enquanto que para os parâmetros físicos, a conformação em esfera se destacou, em comparação as outras conformações, que transmitiram coloração e turbidez para a água. Por fim, foi possível verificar um potencial significativo das argilas comerciais verde e branca, no auxílio ao tratamento de água.

**Palavras-Chave:** Filtração lenta; Poluição da água; Comunidades isoladas; Comunidades rurais.

## **ABSTRACT**

Water is a fundamental resource for sustaining life. However, the quality has changed and that for its some additional changes can be made with dry regions in the springs and even more its distribution is irregular, in some communities in Brazil they are even worse in relation, such as rural and isolated communities. In this sense, the objective of this work was to investigate the potential use of green and white clays as a filter medium, through the construction of eleven slow filter prototypes with different arrangements. Slow filtration is an economical and efficient treatment system. Therefore, prototypes were made using green and white clays, and consolidated materials such as sand, gravel and cracks. The clays were analyzed in three different conformations: powder, pellets and spheres. In addition, the clays underwent a heat treatment. Chemical analysis was performed for the elements sodium (Na) and copper (Cu), and physical analysis of apparent color and turbidity. From the results it was found that the conformations of pellets and spheres in relation to the powder material, presented better results. The maximum total removed for sodium (Na) was approximately 168mg/L and for copper (Cu) it was approximately 200mg/L. While for the physical parameters, the sphere conformation stood out, compared to the other conformations, which transmitted color and turbidity to the water. Por fim, foi possível verificar um potencial significativo das argilas comerciais verde e branca, no auxílio ao tratamento de água.

**Key words:** Slow filtration; Water pollution; Isolated communities; Rural communities.

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural fundamental para a manutenção e formação das sociedades, estando presente em muitas atividades do ser humano. Também, é um elemento indispensável para qualquer outra forma de vida. No Brasil, existe grande quantidade de água, porém, a sua distribuição no país é irregular. Enquanto que na região sul, centro-oeste e norte, há vasta quantidade, a região nordeste sofre com secas intensas (PERUSATTO, 2019).

Além disso, os mananciais disponíveis estão sofrendo com o crescimento populacional, em que estão cada vez mais sendo contaminados, dificultando e encarecendo o seu tratamento para atender a demanda por água potável, que está cada vez maior (CANTELLE; LIMA; BORGES, 2018).

Quando se trata de comunidades rurais e/ou isoladas o cenário é bem preocupante. Em termos de abastecimento de água, segundo os dados do último censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010, menos de 30% das residências rurais estão conectadas a alguma rede de abastecimento, sendo que a maior parte do fornecimento de água (55%) é obtida a partir de poços artesianos e nascentes fluviais (AGÊNCIA BRASIL, 2019).

Levar a água tratada para essas comunidades não é uma tarefa muito fácil devido a muitos fatores, tais como: os desafios de infraestrutura, já que a maioria das casas nas zonas rurais estão distantes das zonas urbanas, gerando um alto custo para sua implantação; situações climáticas, em que a maioria dos rios apresentam água apenas durante o período de chuvas; moradias irregulares e outros fatores que até contribuem para a disseminação de doenças (BRK AMBIENTAL, 2020; SILVA, 2019)

A Organização das Nações Unidas (ONU) estabelece a Agenda 2030, que dispõe de 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Tendo em vista a importância da água potável e do saneamento básico como um todo, o ODS 6, por exemplo, diz respeito à água potável e saneamento, no qual tem como meta garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos.

Sendo assim, estudos e implementação de tecnologias descentralizadas para contribuir com a garantia de disponibilidade de água para comunidades rurais e/ou isoladas é extremamente necessário. Dentre as mais diversas formas de tratamento da água, tem-se a filtração lenta que se mostra bem interessante e eficaz para atender

as necessidades dessas comunidades. E devido a isso, muitos são os estudos na implementação de protótipos voltados a tecnologias que minimize os efeitos da falta de água tratada voltadas para essas populações (AMUI; MORUZZI, 2016; STUPP, 2016; PIZZOLATTI, 2010; PATERNIANI; CONCEIÇÃO, 2004.).

O processo de filtração se fundamenta basicamente na separação sólido-líquido, visando a remoção de impurezas da água por sua passagem em um meio poroso (DI BERNADO, 1993). Uma das primeiras formas de tratamento de água para fins de abastecimento, é a construção de filtros utilizando a areia como material filtrante (CAMPOS *et al.*, 2002). Porém, nesse estudo, a utilização da areia se dará como camada suporte, por possuir diferentes tamanhos de grãos e ser de fácil obtenção, além disso, será avaliada a potencialidade da argila comercial verde e branca como meio filtrante para auxiliar no tratamento de água em comunidades rurais e/ou isoladas, a fim de contribuir para a minimização das limitações da filtração lenta, que ocorrem principalmente em diferentes épocas do ano, quando compromete a qualidade da água bruta (PATERNIANI; CONCEIÇÃO, 2004).

A utilização e importância das argilas está presente em vários setores, como por exemplo, nas prospecções geológicas, na agricultura, na mecânica dos solos e em muitas indústrias. Esse mineral apresenta características e propriedades que podem ser úteis como meio filtrante, o que poderia garantir a qualidade da água em comunidades rurais e/ou isoladas. Como por exemplo, o alto potencial adsorptivo que esse material possui, porém são praticamente impermeáveis (SEZERINO, 2006).

E os argilominerais, que são os principais constituintes da crosta terrestre, e que constitui as argilas, são fundamentais não só pela sua abundância, mas também por suas diferenciadas atividades químicas (NASCIMENTO, 2018).

Desse modo, conhecer o potencial das argilas como meio filtrante servirá de base para associá-las a uma possível utilização que possa proporcionar uma água de qualidade.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

Investigar o potencial uso das argilas verde e branca como meio filtrante em filtros lentos para o auxílio ao tratamento de água.

### **2.2 ESPECÍFICO**

- Confeccionar diferentes conformações para as argilas verde e branca;
- Confeccionar os protótipos de filtros lentos com diferentes arranjos experimentais;
- Realizar análises físico-químicas da água bruta e tratada.

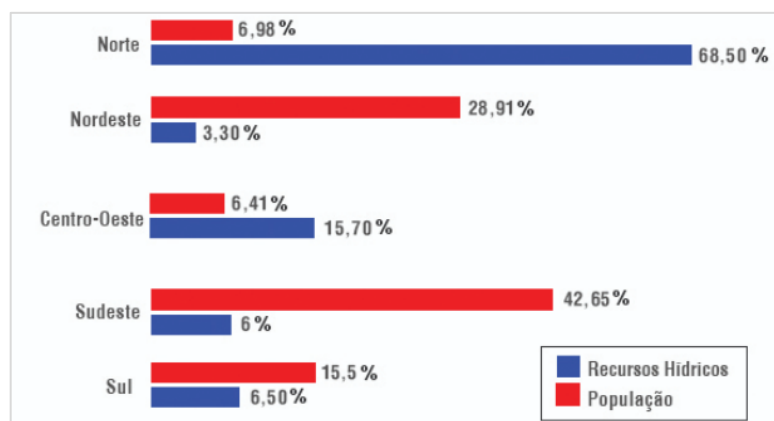
### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 DISPONIBILIDADE E DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO BRASIL

O Brasil possui uma extensão territorial de 8.547.403,5 km<sup>2</sup>, sendo o quinto maior país do mundo. Mesmo sendo um dos países mais ricos em água doce do planeta, as cidades enfrentam crises de abastecimento (PEREIRA; BORILE; ARNOLD, 2018; REBOUÇAS, 2003). Cerca de 35 milhões de brasileiros não possuem acesso à água potável (TRATA BRASIL, 2022).

Embora possua disponibilidade de água doce em relação às demandas nacionais, o Brasil possui uma distribuição desigual em suas regiões, como pode ser observado na Figura 1, em que as regiões que possuem maiores percentuais populacionais, são as que têm os menores percentuais de recursos hídricos disponíveis.

**Figura 1** - Distribuição dos recursos hídricos por população em % do total no Brasil



Fonte: SIH/Aneel (1996), IBGE (1996) *apud* Vieira, Barrêto e Roiphe (2006)

No Nordeste, por exemplo, dispõe de desfavoráveis condições hídricas, como alta evaporação, baixa precipitação, subsolo desfavorável (água salobra), e baixo desenvolvimento econômico social (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2000). Aliado a isso, a água doce disponível nem sempre possui boa qualidade, devido à grande carga poluidora doméstica e industrial que contaminam os mananciais, tudo isso associado a uma forte demanda de água e também a tratamentos inadequados (PECHULA; HAMANDA; HAMANDA, 2018; TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2000). Esses fatores atingem diretamente as comunidades rurais e/ou isoladas, que diferentemente dos centros urbanos, o acesso à água potável é crítico e ocorre principalmente por meio de fontes alternativas de abastecimento (BERNARDINO; COSTA; OLIVEIRA, 2020).



De acordo com Machado *et al.* (2016), as comunidades rurais sofrem uma desigual acessibilidade de abastecimento de água e saneamento básico quando comparadas à área urbana. Isso principalmente devido a alguns fatores, como baixa concentração populacional, pouco adensamento de domicílios, distância da estação de tratamento da água, diferentes culturas e renda dos usuários, situações climáticas desfavoráveis, dentre outros.

Os serviços de disponibilidade de água potável e segura são fundamentais e contribuem para o incremento da qualidade de vida das comunidades, resultando na diminuição da incidência e da prevalência de doenças infecciosas (FEWTRELL *et al.*, 2005; GASANA *et al.*, 2002).

### 3.2 QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

A Portaria do Ministério da Saúde n. 888 de 4 de maio de 2021, dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. No Quadro 1, pode-se observar os valores máximos permitidos para alguns parâmetros físico-químicos presentes nessa portaria.

**Quadro 1** - Valores máximos permitidos para parâmetros físico-químicos

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido (VMP) Portaria n° 888/2021
Alumínio	mg/L	0,2
Cloretos	mg/L	250
Cloro residual livre	mg/L	5
Cor aparente	UH	15
Dureza total	mg/L	300
Ferro	mg/L	0,3
Gosto	Intensidade	6
Mangânes	mg/L	0,1
Odor	Intensidade	6
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	500
Sulfato	mg/L	250
Turbidez	UH	5
Cobre	mg/L	2

Fonte: Adaptado de Brasil (2021)

Dentre os parâmetros listados no Quadro 1, destaca-se a cor aparente, sendo um importante indicador para a potabilidade da água. Libânio (2010, p. 27) define:

A cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas minúsculas, denominadas coloides, finalmente dispersas de origem predominantemente orgânica e dimensão inferior a 10 µm, relacionando-se com a concentração de carbono orgânico presente no ambiente aquático. Pode também ser resultado da presença de compostos de ferro e manganês ou do lançamento de diversos tipos de resíduos industriais [...]

Apesar de não apresentar risco direto a saúde, a cloração da água contendo a matéria orgânica dissolvida pode gerar produtos potencialmente cancerígenos (VON SPERLING, 1996). A cor da água pode ser dividida em aparente ou verdadeira. A cor verdadeira pode ser determinada após centrifugação ou filtração da amostra, e a cor aparente considera as partículas suspensas presentes, ou seja, resultante da adição da turbidez na cor verdadeira (BRASIL, 2014).

Libânio (2010, p. 29), define a turbidez como sendo “a concentração de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida”. É a medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido (BRASIL, 2014). Os fragmentos que caracterizam a turbidez da água são a argila, silte, plâncton, microrganismos e matéria orgânica e inorgânica particulada (LIBÂNIO, 2010). A presença desses sólidos em suspensão pode servir de abrigo para microrganismos patogênicos, diminuindo a eficiência de etapas posteriores de tratamento de água, por isso sua importância (VON SPERLING, 1996).

Em relação aos parâmetros químicos, o sódio, por exemplo, é um cátion que está vinculado a sais minerais dissolvidos que causam a salinidade da água. Apesar de não apresentar significado sanitário, concentrações acima do permitido conferem sabor a água e um maior índice de rejeição pela população (LIBÂNIO, 2010). Além disso, a água com altos teores salinos interferem diretamente em suas condições socioeconômicas, de modo que a salinidade acaba restringindo o uso da água (ASSIS, 2002).

O uso dos mananciais acaba sendo ainda mais restringindo quando além do potencial poluente das fontes naturais, as ações antrópicas (como: o crescimento populacional, aliado ao processo de industrialização e conseqüentemente um aumento na produção de resíduos) ocasionam a presença de substâncias nocivas, a exemplo, a presença de metais pesados (RIBEIRO, 2010). Como por exemplo, o cobre, que é amplamente encontrado na natureza e que embora apresente grande importância para a biota aquática e para organismos vivos em pequenas quantidades,

a ingestão de água possuindo altas concentrações desse metal pode produzir náusea, vômito, dor abdominal e diarreia na população (CETESB, 2022; LIBÂNIO, 2010).

### 3.3 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Os processos e etapas pela qual a água bruta percorre em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) convencional ou de ciclo completo, são a coagulação, floculação, decantação/flotação, filtração e desinfecção. Dentre essas etapas, a filtração é a responsável por reter partículas presentes na água não removidas nas etapas anteriores, que ocasionam cor e turbidez (SILVA, 2020; LIBÂNIO, 2010). A filtração é a etapa primordial para que as falhas que venham a surgir na coagulação ou floculação possam ser corrigidas, assegurando a qualidade da água tratada (LIBÂNIO, 2010).

Algumas tecnologias são utilizadas para atender as comunidades rurais e/ou isoladas. Como por exemplo, Cumbi (2013) de modo a ampliar e potencializar o emprego de tecnologias não convencionais, construiu uma estação de tratamento de água em escala piloto para filtração da água em manta sintética não tecida, que foi escolhida a partir de ensaios preliminares. Após alguns resultados, concluiu que a utilização da manta no tratamento de água com turbidez elevada, possui grande potencial.

Neves *et al.* (2016) utilizaram o método de desinfecção por radiação solar para um sistema de tratamento de água unifamiliar, elaborando um protótipo de baixo custo para melhorar a qualidade da água subterrânea. Os resultados obtidos permitiram concluir que o sistema é bastante eficiente na eliminação de poluentes bacteriológicos presentes nas águas subterrâneas do município de Araruna na Paraíba.

Já Santos, Cruz e Gontijo (2019), utilizaram sementes da *Moringa Oleífera* para encontrar uma dose de pó que seja eficiente na remoção de turbidez da água utilizada para abastecimento humano na comunidade rural de Capela Branca, localizada na cidade de Bela Vista de Minas. A solução foi preparada utilizando a semente da planta e puderam dosar à quantidade de pó eficiente para a remoção da turbidez no caso em questão, que foi de 0,648g.

Semelhantemente, Cangela (2014), utilizou a *Moringa Oleífera* na clarificação da água, seguida pela exposição solar como forma de desinfecção da água para regiões desfavorecidas em infraestrutura e recursos financeiros. Concluíram que, o

uso conjunto da *Moringa* e da desinfecção solar promoveram a clarificação e a desinfecção da água, reduzindo significativamente a turbidez e deixando-a livre de *E. coli* e coliformes totais.

Diferentemente, Gomes, Franco e Viana (2017), avaliaram o desempenho de filtros compostos por velas de cerâmica microporosa com e sem carvão ativado no tratamento de água de fonte superficial. Puderam concluir que esses filtros foram eficientes na remoção da maioria das variáveis de qualidade de água, sendo elas: as concentrações de coliformes termotolerantes, cor, turbidez, pH, Ferro, Manganês, dureza, Cloretos e sólidos dissolvidos. Além disso, abordaram que o tratamento por meio do carvão ativado foi o mais eficiente por remover totalmente a presença de coliformes termotolerantes na água, contribuindo para uma melhor qualidade de vida da população.

Buscando combater a escassez de água nas regiões semiáridas, Formoso (2010), apontou uma alternativa de produção de água que possui uma operação mais simples, utilizando um projeto de dessalinização de água via destilação solar, utilizando-o como uma alternativa complementar a demanda por água doce na região, dada a realidade do local que possui elevada insolação e disponibilidade de água salobra. Concluiu que a destilação solar possui vantagem de aproveitar o potencial de insolação da região, podendo ser viabilizado o seu emprego. Além disso, o maior custo da destilação solar está no preço inicial elevado, no entanto, em termos operacionais, seus custos são significativamente menores em relação a outras tecnologias.

Back (2018), objetivou analisar a qualidade da água de abastecimento de uma comunidade rural, pré e pós implementação da tecnologia de Coluna de Adsorção em Leito Fixo de Carvão Ativado Granular (CALF-CAG) no local, com intuito de verificar a sua eficiência, bem como o atendimento ao estabelecido na Portaria de Consolidação N° 05/2017 do Ministério da Saúde (MS). Avaliou os seguintes parâmetros: temperatura, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica, salinidade, potencial hidrogeniônico (pH) e perda de carga; e para sólidos totais, cor, turbidez, absorvância, coliformes totais e *Escherichia Coli*. De modo geral, concluiu que a tecnologia de adsorção foi eficiente na redução dos parâmetros físicos, químicos e de agrotóxicos das águas de abastecimento da comunidade rural.

Rabelo, Albarelli e Beppu (2009), visaram contribuir preliminarmente para o desenvolvimento de uma tecnologia social simples e barata para remoção de metais

pesados de águas fluviais a serem utilizadas por comunidades locais a partir da adsorção em cascas de banana. Utilizou-se como metal modelo para as análises de adsorção, o cobre e seus íons. Os resultados preliminares obtidos mostraram que a casca de banana sem tratamento e sem secagem apresenta melhor percentual de remoção diante de outros tratamentos encontrados na literatura. Desta forma, tem-se que este material adsorvente pode ser utilizado em filtros caseiros elaborados a partir de materiais como garrafa PET, para eficiente tratamento da água.

Borges *et al.* (2016), tiveram como objetivo utilizar o carvão ativado na conformação granular com biofilme em um meio filtrante durante 24 semanas, para remoção de fármacos. Os resultados demonstraram a remoção dos fármacos acima de 80%. O estudo permitiu inferir a capacidade de remoção de fármacos por bactérias presentes em filtros de carvão ativado e o possível uso dessa tecnologia como alternativa de controle e remoção dessas substâncias no tratamento de água potável.

De forma semelhante, Costa (2007), visando a aplicação de carvão ativado como adsorvente a partir da modificação de suas características superficiais e estruturais, confeccionou o material em briquetes. No qual, concluiu que com esta conformação foi possível controlar a forma do carvão ativado.

Enquanto que, Assis e Vieira (2009), avaliaram o uso de vidro reciclado granulado como meio filtrante para remoção de agrotóxicos diluídos em água. O herbicida atrazina foi escolhido como contaminante em virtude de ser um composto altamente tóxico e amplamente empregado no Brasil. O vidro apresentou-se como material de fácil manuseio e potencialmente atraente para o uso como meio coadjuvante em filtragem lenta.

Brito (2013), apresentou um estudo do tratamento de efluente sintético contendo fármaco ciprofloxacino, antibiótico usado mundialmente, através de processos de fotocatalise em fase heterogênea e adsorção em cerâmica modificada com dióxido de titânio. Testou o vidro, alumínio e cerâmica como meios suportes para o dióxido de titânio ( $TiO_2$ ), sendo posteriormente realizadas corridas de remoção de fármaco em reator semicontínuo. A cerâmica foi conformada em esfera e apresentou ser o melhor meio suporte, já que apresentou melhor resistência e maior remoção do fármaco devido aos processos adsorptivos inerentes ao material. Concluiu que no processo combinado fotocatalise/adsorção, os resultados indicaram que a adsorção possui uma forte tendência de queda na eficiência em corridas consecutivas, devido,

provavelmente, à saturação dos sítios ativos (adsorção), porém o processo de fotocatalise auxiliava na remoção de parte do fármaco adsorvido mantendo a eficiência aproximadamente constante.

Araújo, Campos e Alves (2015) analisaram um sistema de Biofiltro-Solar como alternativa para o tratamento de água visando atender as populações ribeirinhas, no qual utilizaram a filtração rápida e desinfecção por raios solares incidentes, a partir de materiais acessíveis e economicamente viáveis. O método tornou-se efetivo na maioria dos parâmetros analisados, na qual delimitam a desinfecção da água no que diz respeito aos coliformes. Porém, será necessário a redução da turbidez, em que sugeriram a adição de um coagulante, como por exemplo, o sulfato de alumínio ou policloreto de alumínio. Ou então, o aumento do tempo de sedimentação da água quando retirada do rio, para que assim o valor da turbidez esteja de acordo com a portaria de potabilidade.

### **3.3.1 Filtração**

Além dos mais diversos tipos de tecnologias, a filtração, segundo Oliveira (2021), está presente em maior porcentagem dos estudos sobre tecnologias de tratamento de água a nível individual, como também a nível coletivo.

Com relação ao tratamento de água, Libânio (2010), diz que a filtração se constitui num processo que tem como função primordial a remoção de partículas responsáveis pela cor e turbidez. Logo, a filtração é uma etapa fundamental para a purificação da água, visto que, para que ocorra a desinfecção da água eficazmente, os parâmetros cor e turbidez, principalmente, precisam ser removidos.

Para essa remoção, a água passa por um meio granular poroso com altura e granulometria específica, que de certa maneira, vai remover as partículas que não foram removidas nas etapas de flotação ou sedimentação (MOURA, 2021; FILHO, 2017). Nesse sentido, Richter (2009) diz que a filtração é um dos processos unitários mais importantes no tratamento de água, podendo ser empregado isoladamente como na filtração lenta ou procedido pela coagulo-floculação como na filtração direta. Tradicionalmente, os filtros são classificados em lentos e rápidos, diferenciados pela taxa com que trabalham e pelo método de limpeza.

A remoção das partículas suspensas dentro de um filtro envolve pelo menos duas etapas distintas: a primeira, é o transporte das partículas suspensas para a

vizinhança imediata da interface sólido-líquido apresentada pelo filtro; e a segunda, é a aderência das partículas para esta superfície (YAO; HABIBIAN; O'MELIA, 1971).

#### 3.3.1.1 Filtração rápida

A filtração rápida é uma técnica de tratamento para clarificação de suspensões diluídas através da passagem por um meio filtrante granular, e tem como característica apresentar taxas de filtração entre 120 e 400 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia (BURGARDT, 2015). Se distingue quanto aos mecanismos de remoção de sólidos, sendo frequentemente denominada como filtração com ação em profundidade. Na filtração rápida, a retenção das partículas ocorre devido a processos físico-químicos (transporte, aderência e desprendimento) ao longo de toda altura do leito (BRAGA, 2005; ISON; IVES, 1969) e para o uso eficiente da filtração rápida, é necessário o pré-tratamento da água bruta com coagulação química, podendo ou não haver a floculação e decantação ou flotação, dependendo da qualidade da água a ser tratada (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

Com o crescimento populacional e a necessidade de atender toda a demanda de água potável para a população, a filtração rápida foi amplamente adotada em centros urbanos, em detrimento a filtração lenta. Todavia, as exigências operacionais da filtração rápida fazem com que ela não se adeque a diversas situações, como por exemplo em zonas ruais e ou isoladas (AMUI; MORUZZI, 2016).

#### 3.3.1.2 Filtração Lenta

Dentre as diferentes formas de filtração, a filtração lenta apresenta características interessantes para atender as comunidades rurais. Di Bernardo (1993), aponta a filtração lenta como um sistema de tratamento econômico e eficiente.

Inicialmente, a filtração surgiu como processo de tratamento da água, provavelmente, pela observação do ser humano no movimento da água no solo e conseqüentemente a qualidade da água subterrânea. O primeiro a construir filtros de areia foi John Gibbs em 1804 em Paisley (Escócia). Mas, foi somente em 1828 que os filtros de areia foram usados pela primeira vez para abastecimento público, sendo construído por James Simpson para abastecer Londres (PATERNIANI, 2004). Muitos são os estudos sobre os filtros lentos desenvolvidos utilizando esse material

(WORMA, 2018; NHANCA, 2017; GONÇALVES; BASTOS, 2012; BRITO *et al.*, 2005; MURTHA; HELLER, 2003; MURTHA; HELLER; LIBÂNIO, 1997).

Na filtração lenta o tratamento da água é feito por um processo biológico, fazendo com que não seja necessário o emprego de coagulante químico, o que, aliado à menor frequência de limpeza dos filtros, simplifica a operação e manutenção, facilitando a utilização dessa técnica em comunidades rurais e/ou isoladas. Além disso, não requer mão de obra especializada, e é eficiente na remoção de microrganismos patogênicos (TEIXEIRA; BRANDÃO, 2016). A remoção de bactérias patogênicas e vírus no filtro lento é atribuída a vários fatores, destacando-se: o decaimento natural, devido ao filtro lento ser um ambiente relativamente hostil para esses microrganismos; a predação; o efeito biocida da radiação solar; e a adsorção no biofilme aderido ao meio filtrante (HELLER; PÁDUA, 2010).

Por isso, a filtração lenta é considerada por Moura (2021) uma excelente alternativa para o fornecimento de água potável em comunidades rurais e/ou isoladas, isso quando se dispõe de um manancial que atenda as características dessa técnica de tratamento (BESSA, 2020; PIZZOLATI, 2010). Uma das limitações é justamente a qualidade da água bruta, mais precisamente a concentração de sólidos, além disso, para sistema de abastecimento de água mais complexos exige grande área útil devido à baixa taxa de filtração (SOUZA, 2016). Porém, de acordo com Pizzolati (2010), quando se pensa em comunidades rurais e/ou isoladas, a necessidade de maiores áreas não se torna um fator limitante para o emprego da filtração lenta.

Para Santos, Lima e Michelan (2021), a filtração lenta por mais que seja uma tecnologia de tratamento de água antiga, diferentemente do que muitos pesquisadores poderiam pensar em substituir essa tecnologia por outras mais modernas/avançadas, a mesma continua sendo pesquisada com resultados norteadores e aderentes, pautados na mudança e/ou alteração do meio filtrante tradicional por materiais não convencionais, o que traz a filtração lenta como tecnologia aplicável na contemporaneidade.

Souza (2020), por exemplo, realizou um experimento em escala piloto em que foram confeccionados dois filtros lentos, um com sentido de fluxo ascendente e outro descendente, com o intuito de avaliar a influência da lavagem operacional da areia e do sentido do fluxo de filtração na eficiência de filtros lentos com camada intermediária de maravalha. Foi introduzida uma camada intermediária de maravalha no meio



filtrante e a lavagem da areia foi realizada pelo processo de retrolavagem. A taxa de filtração aplicada em ambos os filtros foi igual a  $3,0 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  com variação de 10% e as perdas de carga ao longo das camadas foram monitoradas através de piezômetros instalados nas interfaces das camadas. Por meio dos resultados obtidos, observaram que os parâmetros de condutividade elétrica, pH e temperatura não são afetados pelas condições impostas pelo experimento, assim como a remoção de microrganismos do grupo coliformes totais e termotolerantes. Por outro lado, os parâmetros de cor aparente e turbidez indicaram haver influência das condições impostas sobre a eficiência.

Junior *et al.* (2019) tiveram como objetivo comparar a eficiência de um Filtro Lento Domiciliar (FLD) construído com meio filtrante inteiramente reciclados de resíduos da construção e da demolição com um filtro lento convencional, avaliando características físico-químicas e microbiológicas da água filtrada. O filtro de reciclados atendeu todos os parâmetros analisados da Portaria do Ministério da Saúde nº 5/2017, destacando-se: a remoção de turbidez e a remoção de 100% de coliformes totais. Enquanto que, o FLD convencional, apesar de certo potencial na purificação das águas, demonstrado principalmente pela remoção de aproximadamente 86% de sólidos dissolvidos totais, e até 84,75% da turbidez, não se mostrou apto em cumprir com as exigências da legislação vigente nos parâmetros turbidez e coliformes totais. Concluíram que, diante da possibilidade de promoção dos filtros constituídos de materiais reciclados como alternativa tecnológica em localidades com baixo adensamento populacional e, considerando-se o desenho experimental e resultados obtidos no estudo, sugeriram o aprofundamento da pesquisa no sentido da identificação das melhores alternativas de alimentação dos filtros, da determinação do tempo de maturação e da redução do tempo de repouso necessário para que a água filtrada esteja apta para consumo.

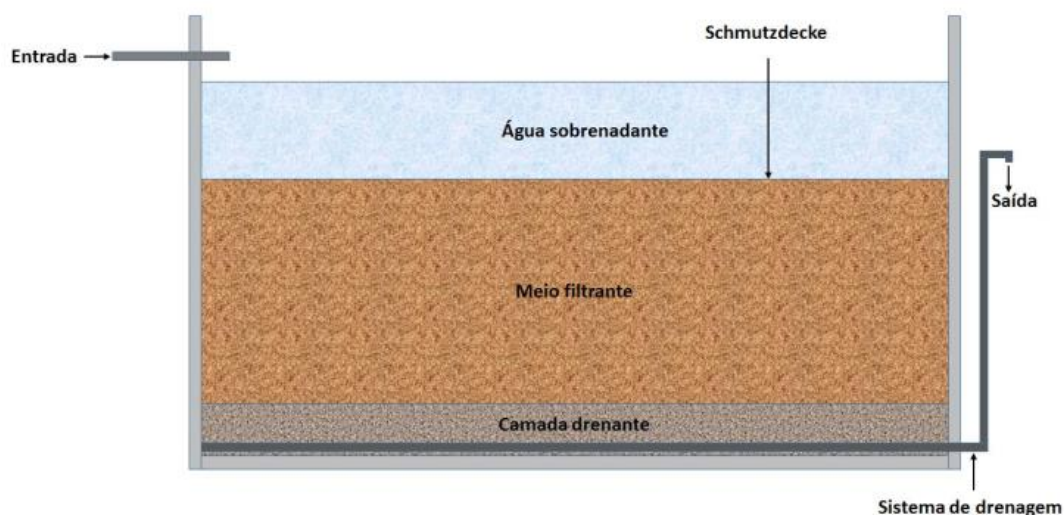
Já Silva *et al.* (2018), propôs um sistema de filtração lenta utilizando brita e a manta bidim para a remoção de sólidos totais, turbidez e *Escherichia coli* (*E. coli*), com o intuito de melhorar a qualidade da água proveniente de uma nascente utilizada para abastecimento na Fazenda Córrego dos Pinheiros, localizada na zona rural de Passagem em Minas Gerais. Para os parâmetros analisados, o filtro lento se mostrou eficiente para o tratamento de água, visto que com relação à *E. coli*, por exemplo, foi observada uma eficiência de 100% de remoção. Os outros parâmetros (turbidez,

sólidos totais e pH) a serem analisados, já atendiam a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 antes da filtração.

### 3.3.1.2.1 Funcionamento do filtro lento

Pela Figura 2, observa-se a estrutura básica de um filtro lento, que é composto basicamente pela entrada da água bruta, uma camada sobrenadante dessa água que garante que a comunidade biológica permaneça afogada, a camada filtrante, uma camada drenante e por fim um reservatório pra captar a água, que pode estar acoplado ou não no filtro (AMUI; MORUZZI, 2016). O princípio do funcionamento de filtros lentos baseia-se na passagem da água pela camada filtrante (PATERNIANI, 2011), que pode ser definida basicamente de um material granular e inerte (VISSCHER, 1990).

**Figura 2 - Elementos básicos do filtro lento**



Fonte: Amui e Moruzzi (2016)

O filtro lento não opera com a adição de coagulantes químicos, seu processo é praticamente biológico. Devido a isso, existem alguns fatores principais que interferem em sua eficiência. Como por exemplo, a taxa de filtração, a maturidade microbiológica do meio filtrante, as características do afluente e do meio filtrante (HELLER; PÁDUA, 2010; DI BERNARDO, 1999).

O tratamento biológico ocorre por uma camada que é composta por partículas inertes, matéria orgânica e uma grande variedade de microrganismos, tais como bactérias, algas, protozoários e metazoários, dentre outros (HELLER; PÁDUA, 2010), chamada de “schmutzdecke”, e precisa permanecer em condições adequadas para

garantir a interação dos organismos com as partículas presentes na água. A formação dessa camada dependerá exclusivamente do tempo de maturação (ou amadurecimento do filtro), somente após esse amadurecimento o filtro encontra-se em condições adequadas para produzir a “schmutzdecke”, e conseqüentemente água tratada de boa qualidade (SABOGAL-PAZ *et al.*, 2020; BARUTH, 2005). Essa camada biológica possui elevada eficiência na remoção de bactérias, vírus e cistos de Giardia (DI BERNARDO, 1999).

De mesmo modo, a taxa de infiltração constitui o parâmetro que melhor caracteriza o filtro lento, e sua determinação tem extrema importância (MURTHA, 1998). Isso justamente porque o tempo de contato entre a camada filtrante e água bruta, permite o tratamento da água. Por isso, taxas elevadas faz com que esse tempo de contato diminua e conseqüentemente a eficiência do filtro também diminua. Por outro lado, taxas muitas baixas podem influenciar no crescimento de algas, o que pode ocasionar cor e odor na água (AMUI; MORUZZI, 2016).

Os filtros lentos são caracterizados por possuírem taxas entre 2 e 14 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d (SOUZA *et al.*, 2017; PIZZOLATI, 2010). Diogo (2010), recomenda de 2 a 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d. Já a NBR 12216, fazendo referência a construção de estações de tratamento de água, recomenda que a filtração lenta não ultrapasse 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d quando não é possível fazer um estudo prévio de tratabilidade no local.

### 3.3.1.3 Camada Filtrante

É no meio filtrante que atuam os mecanismos tradicionais de transporte de impurezas com predominância da interceptação, da sedimentação e da difusão (HAARHOFF; CLEASBY, 1991). A interceptação ocorre quando uma partícula, deslocando-se em uma linha de fluxo tangencial à superfície do grão, a toca, ficando retida (YAO; HABIBIAN; O'MELIA, 1971). Na sedimentação as partículas se movimentam em regime laminar sobre o leito filtrante ou nos espaços intersticiais, sob a ação da gravidade, que estabelece uma componente vertical na sua velocidade, podendo causar ou não colisão com um grão e sua possível retenção (MURTHA, 1998). Na difusão ocorre o movimento desordenado das partículas menores junto com a água, no qual a energia termodinâmica da água se manifesta pelo movimento desordenado de suas moléculas, que quando em contato com pequenas partículas,

transfere a elas esta oscilação difusa denominado movimento browniano (FARIAS, 2011; MURTHA, 1998).

Embora a areia seja o material comumente empregado em filtros lentos como meio filtrante, a qualidade da água bruta compromete sua eficiência, por isso, pesquisas vêm sendo realizadas com materiais com potencial para substituir, integralmente ou parcial, esse material, sem que represente perdas na eficiência do tratamento, ocorrendo, em muitos casos, benefícios adicionais aos filtros lentos tradicionais (LIMA, 2020).

A escolha do material filtrante para filtros lentos deve apresentar níveis de complexidade técnica e de custos de operação/manutenção similares aos da própria tecnologia de filtração lenta (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

Tendo em vista o interesse no uso das argilas, que vem ganhando força devido à busca por materiais que não agridem o meio ambiente quando descartados, à abundância das reservas mundiais e ao seu baixo preço (TEIXEIRA-NETO; TEIXEIRA-NETO, 2009), sua aplicabilidade como camada filtrante torna-se atraente, e a forma como se apresenta no meio filtrante é importante.

#### 3.3.1.3.1 *Argilominerais e Argila*

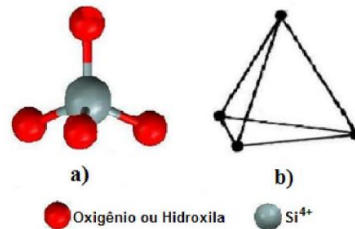
Os argilominerais são recursos de elevada abundância, e apresentam alta capacidade de troca iônica. São definidos como minerais cristalinos que correspondem à fração coloidal de solos, sedimentos e rocha. Os argilominerais possuem aplicações nos processos de adsorção. Sendo a adsorção um processo físico-químico de transferência de massa (SALES, 2013).

De acordo com Guisoni e Ribeiro (2012), nesses argilominerais estão presentes alguns elementos químicos, como o magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn), cálcio (Ca), titânio (Ti), silício (Si), alumínio (Al) e potássio (K). Ainda pode conter a presença de matéria orgânica, impurezas na forma de sais minerais residuais e amorfos, sendo os silicatos de alumínio hidratado o elemento mais abundante nas argilas. Estas são formadas por rochas sedimentares, pela alteração dos silicatos de alumínio de origem magmática, metamórfica ou sedimentar (AMORIM; PIAZZA, 2015; BALDUINO, 2016).

Para Zatta (2010), os argilominerais são basicamente silicatos de alumínio, ferro ou magnésio hidratados, onde suas estruturas são dependentes de duas unidades básicas. A Figura 3 representa a primeira unidade composta pela estrutura

sílica, que consiste na organização de 4 átomos de oxigênio ou hidroxila rodeando um átomo de silício, ligados covalentemente.

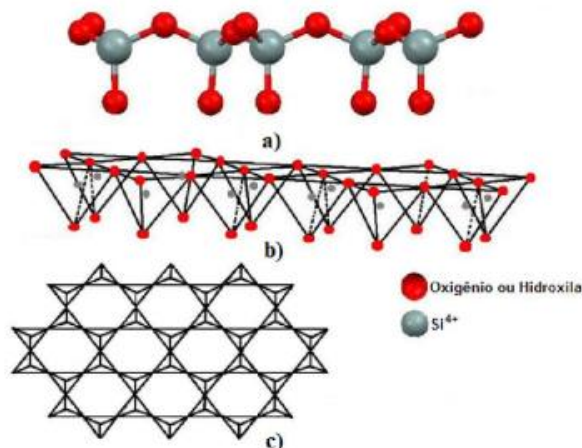
**Figura 3** - Estrutura sílica (a) mostrando a disposição dos átomos e a estrutura de um tetraedro (b)



Fonte: Zatta (2010)

A folha tetraédrica se forma quando os oxigênios se ligam formando uma espécie de folha, no qual deixa um oxigênio livre, como pode ser observado na Figura 4 (TEIXEIRA-NETO,2009; ZATTA, 2010).

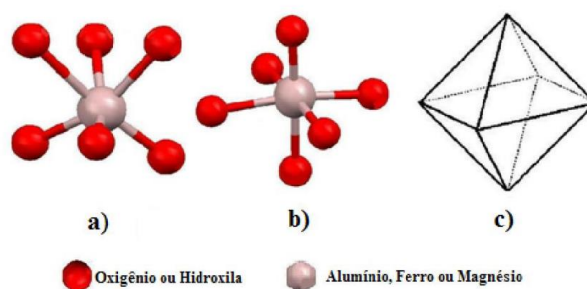
**Figura 4** - Átomos de oxigênio ligados (a) formando os tetraedros, (b) a disposição da folha tetraédrica e (c) a vista superior de tetraedros formando uma folha de perfil hexagonal



Fonte: Zatta (2010)

A Figura 5 representa a unidade 2, que descreve a estrutura para cátions metálicos hexacoordenados como alumínio, ferro ou magnésio ligados covalentemente a átomos de oxigênio ou agrupamentos de hidroxila.

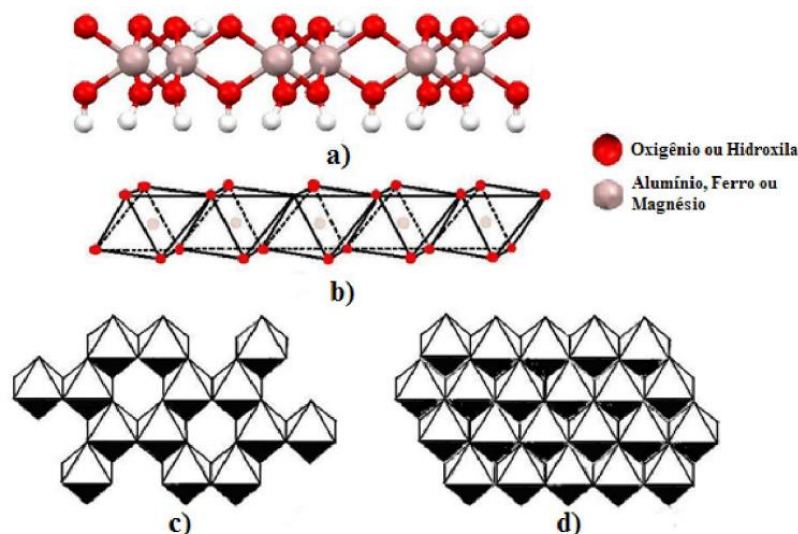
**Figura 5** - Estrutura das moléculas octaédricas formadas pelos cátions hexacoordenados a oxigênio e hidroxila (a), (b) e (c)



Fonte: Zatta (2010)

Igualmente a estrutura sílica, as moléculas octaédricas formadas pelos metais magnésio, alumínio e ferro, os oxigênios e hidroxilas ligados ao metal, se ligam e formam superfícies bidimensionais as quais também são chamadas de folhas, como pode ser observado na Figura 6.

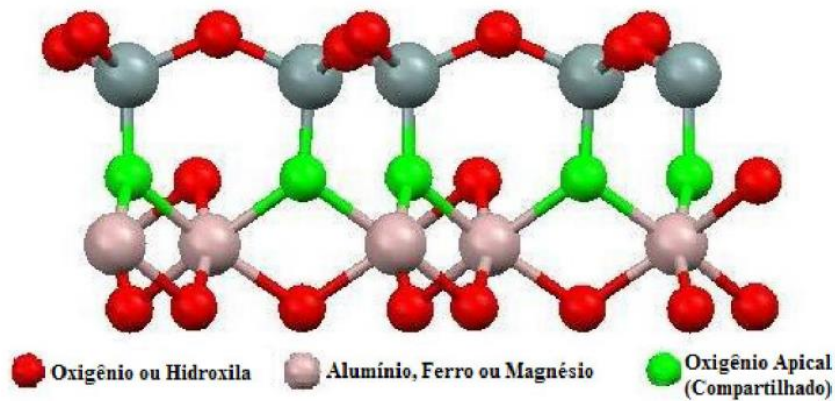
**Figura 6** - Folha bidimensional octaédrica (a) vista lateral do tipo dioctaedral, (b) vista lateral de octaedros, (c) vista superior da folha dioctaedral e (d) vista superior da folha trioctaedral



Fonte: Zatta (2010)

Como foi representado (Figura 4), a estrutura tetraédrica possui a característica de deixar um átomo de oxigênio livre que não é compartilhado com os átomos de silício, permitindo a aproximação da folha tetraédrica com a octaédrica. Esse comportamento ocasiona a condensação das folhas tetraédrica com a octaédrica, formando uma estrutura chamada lamela (Figura 7) (ZATTA, 2010).

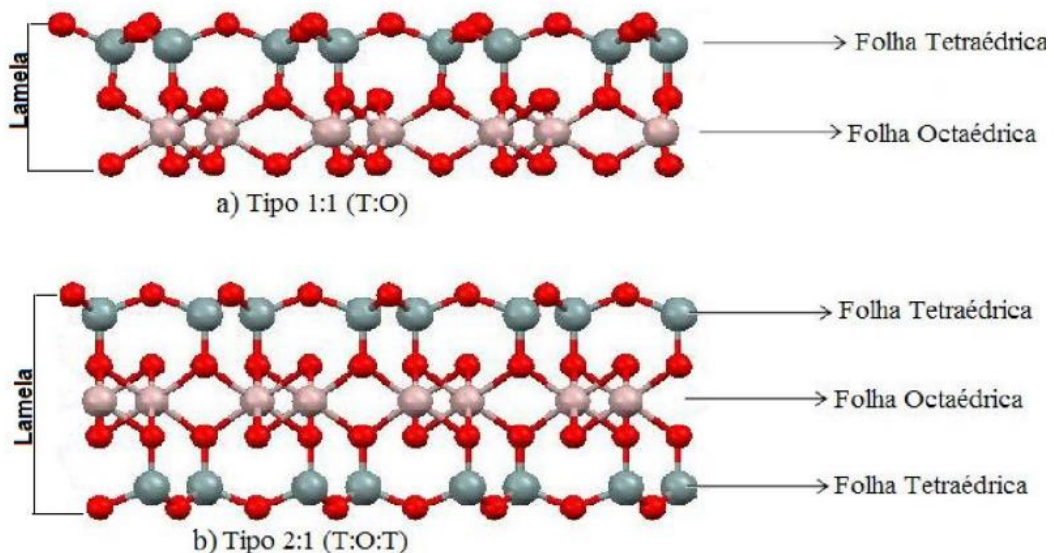
**Figura 7** - Representação do oxigênio na posição apical e condensação entre as folhas tetraédrica e octaédrica



Fonte: Zatta (2010)

As lamelas dos argilominerais tem pouco menos do que 1 nm de espessura e poucas centenas de nanômetros de diâmetro médio. Elas são classificadas de acordo com a combinação do número de folhas tetraédrica e octaédrica. As lamelas 1:1 são aquelas que possuem apenas uma folha tetraédrica ligada a uma folha octaédrica. E as lamelas 2:1 são aquelas que possuem duas folhas tetraédricas e uma folha octaédrica está ensanduichada no meio das duas (Figura 8) (TEIXEIRA-NETO, 2009; ZATTA, 2010).

**Figura 8** - Representação da estrutura das lamelas dos argilominerais do tipo (a) 1:1 e (b) 2:1



Fonte: Zatta (2010)

A ligação entre as folhas cristalinas tetraédricas e octaédricas é o que determina as diferentes estruturas dos argilominerais. E as ligações químicas entre os

átomos dentro de cada folha são fortes, do tipo covalente. Em contrapartida, as ligações entre as lamelas adjacentes são relativamente fracas, permitindo a separação das lamelas quando colocadas em excesso de água ou sob tensão mecânica. Os argilominerais são os minerais característicos das argilas, enquanto que as argilas são constituídas essencialmente de argilominerais, podendo conter outros minerais que não são argilominerais (quartzo, mica, pirita, etc), matéria orgânica e outras impurezas (CRUZ; MACEDO, 2009).

Silva (2005), considera a argila com um material natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire certa plasticidade quando umedecida em água, além disso são duras e rígidas após a secagem e adquirem a dureza de aço após queima a temperaturas elevadas.

Uma das muitas qualidades das argilas é a de reter e trocar cátions e ânions afim de compensar uma deficiência de carga na estrutura (SILVA, 2005). Algumas argilas do tipo 2:1, por exemplo, possuem deficiência de cargas positivas, causada por substituições isomórficas, resultando em um excesso de cargas negativas distribuídas pela superfície das lamelas (TIRELI, 2011; TEIXEIRA-NETO; TEIXEIRA-NETO, 2009).

Outras argilas tem uma capacidade muito alta de troca de cátions, propriedade importante que permite possíveis utilizações e aplicações tecnológicas (TEIXEIRA-NETO; TEIXEIRA-NETO, 2009).

#### 3.3.1.3.2 *Aplicações da argila*

Desde a antiguidade, as argilas tem sido amplamente utilizada pela humanidade na produção de objetos cerâmicos, como os tijolos e telhas, além de apresentar diversos outros usos. Uma vez que são facilmente encontradas, as argilas são particularmente atraentes devido à sua viabilidade econômica (AWOYAMA; VIEIRA; CARVALHO, 2021). Ela pode ser utilizada em diferentes temperaturas, técnicas de aplicação e tempo de permanência, possuem também composições químicas que variam uma das outras (VOSS; CARVALHO, 2012). A argila possui diversas aplicações, e para sua utilização é necessário o conhecimento de suas características, sobre sua estrutura e composição química.

Segundo Aguzzi *et al.* (2007) e Moraes *et al.* (2017), a argila é utilizada há muito tempo, principalmente, como excipientes de várias formas farmacêuticas.



Para Carretero (2002), os minerais argilosos são usados em produtos farmacêuticos, formulações, spas e medicina estética. Isso devido principalmente à sua alta área específica e sua capacidade de absorção/adsorção, geologia, inércia química e baixa ou nenhuma toxicidade para o paciente. É utilizada também para fins terapêuticos, com efeito benéfico para a saúde. Cogita-se que as propriedades terapêuticas das argilas se devam as trocas energéticas, tanto iônicas quanto radiônicas, que ocorrem com elétrons livres existentes nos minerais que as compõem (LEITE, 2016).

Para Machado (2018), Voss e Carvalho (2012), as argilas são comumente utilizadas para tratamento da pele, para limpeza, hidratação, clareamento, dentre muitas outras finalidades. Sua aplicação consiste por causa do efeito da permutação, que permite a troca de energia dos minerais com a parte afetada, e o equilíbrio térmico. Através das trocas iônicas que ocorrem entre seus elétrons livres, os íons que são liberados dos seus ativos têm a capacidade de reter água fazendo com que ocorram as trocas iônicas dos íons como cálcio, potássio e dentre outros elementos, com a pele e com isso o processo físico-químico de adsorção ocorre, com a passagem de elementos químicos e vários nutrientes compostos da argila chegando às células do ser humano, passando através das membranas celulares. Nesse processo de adsorção, a argila será capaz de adsorver toxinas (LEITE, 2016).

De acordo com Caldas (2012) e Meira (2001), os minerais argilosos, tem diâmetro esférico inferior equivalente a 2  $\mu\text{m}$ , sendo a granulometria uma das características mais importantes e que domina muitas das suas propriedades.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

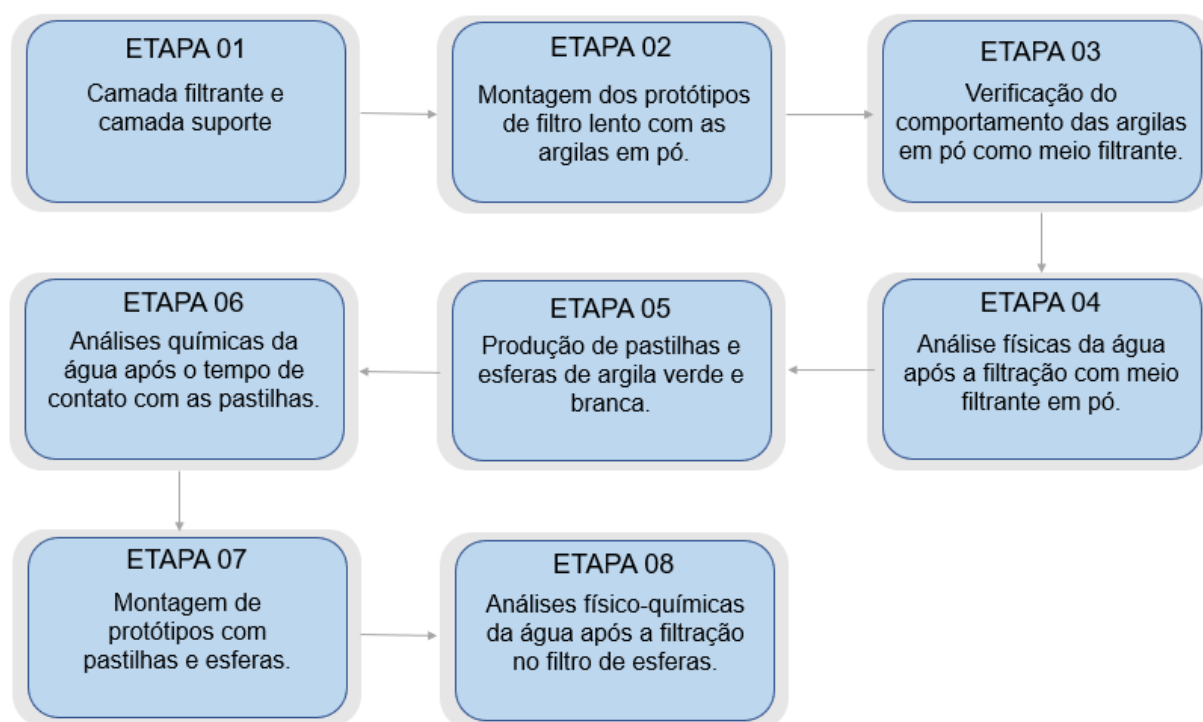
### 4.1 LOCAL DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O presente trabalho, realizou-se no Laboratório de Análises de Água (LAAg) do Centro Acadêmico de Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizada na cidade de Pombal na Paraíba.

### 4.2 ETAPAS METODOLÓGICAS

O desenvolvimento deste estudo se deu seguindo as etapas metodológicas ilustradas na Figura 9.

**Figura 9** - Esquema das etapas metodológicas do estudo



Fonte: Autoria própria (2022)

#### 4.2.1 Camada filtrante e camada suporte

Os materiais filtrantes analisados foram as argilas verde e branca, adquiridas no comércio, tendo a areia, brita e brita do tipo rachinha como camada suporte.

Como a espessura da camada filtrante ainda é uma variável que apresenta divergência na literatura científica (FREITAS, 2021), optou-se por experimentalmente, obter a espessura que melhor atenda ao objetivo do trabalho.

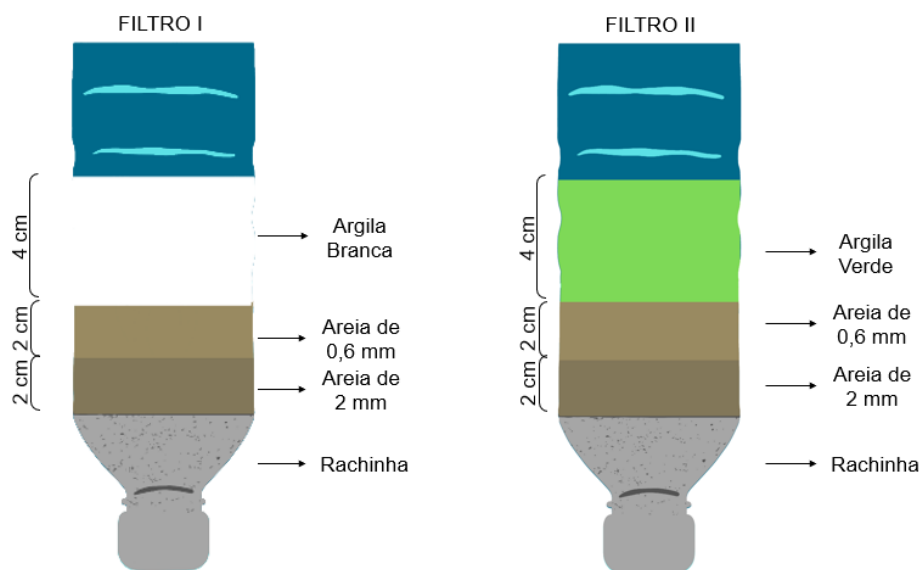
A espessura da camada suporte foi baseada na granulometria da areia, de modo a utilizar grãos que pudessem acondicionar o material filtrante, a qual, foi determinada peneirando-se através de 5 peneiras: TYLER/MESH 4, 8, 9, 28 e 48.

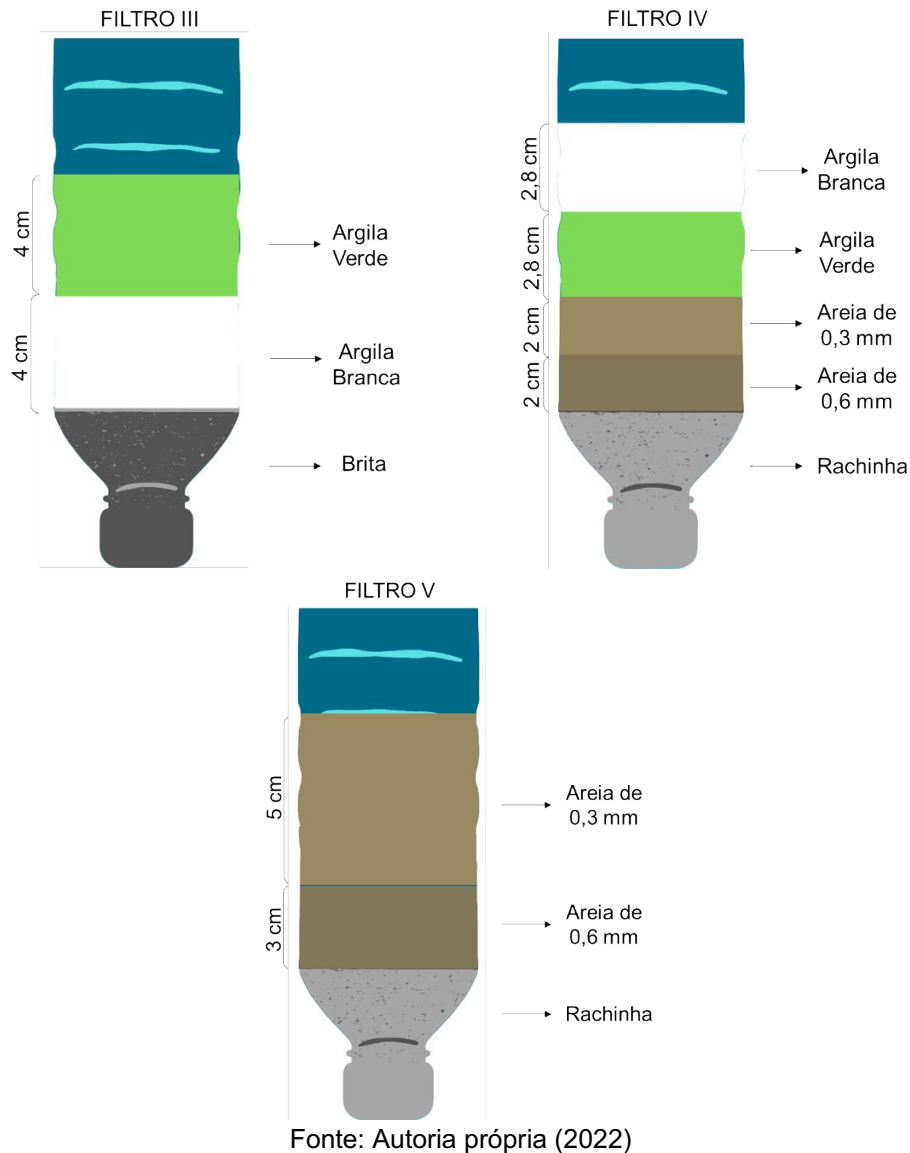
#### 4.2.2 Modelo dos protótipos com o material em pó

Os protótipos foram confeccionados sob mesmo dimensionamento, mas possuindo diferentes arranjos. Todos os protótipos são modelos de filtros lentos, operados em fluxo descendente, e, submetidos, inicialmente, ao tratamento de um mesmo volume da água bruta a ser tratada em todas as unidades.

Na Figura 10, é possível observar a ilustração dos protótipos que foram construídos. Utilizou-se garrafas de Polietileno tereftalato (PET) de 500 mL, possuindo 18 cm de altura. Foram utilizadas onze garrafas, que tiveram a parte inferior cortada e colocadas de forma invertida.

**Figura 10** - Modelo da montagem dos protótipos I, II, III, IV e V.





O tamanho dos grãos de areia utilizados, foram escolhidos de modo a definir a camada suporte que melhor condicionasse a camada filtrante, visto que, as argilas possuem granulometria muito fina.

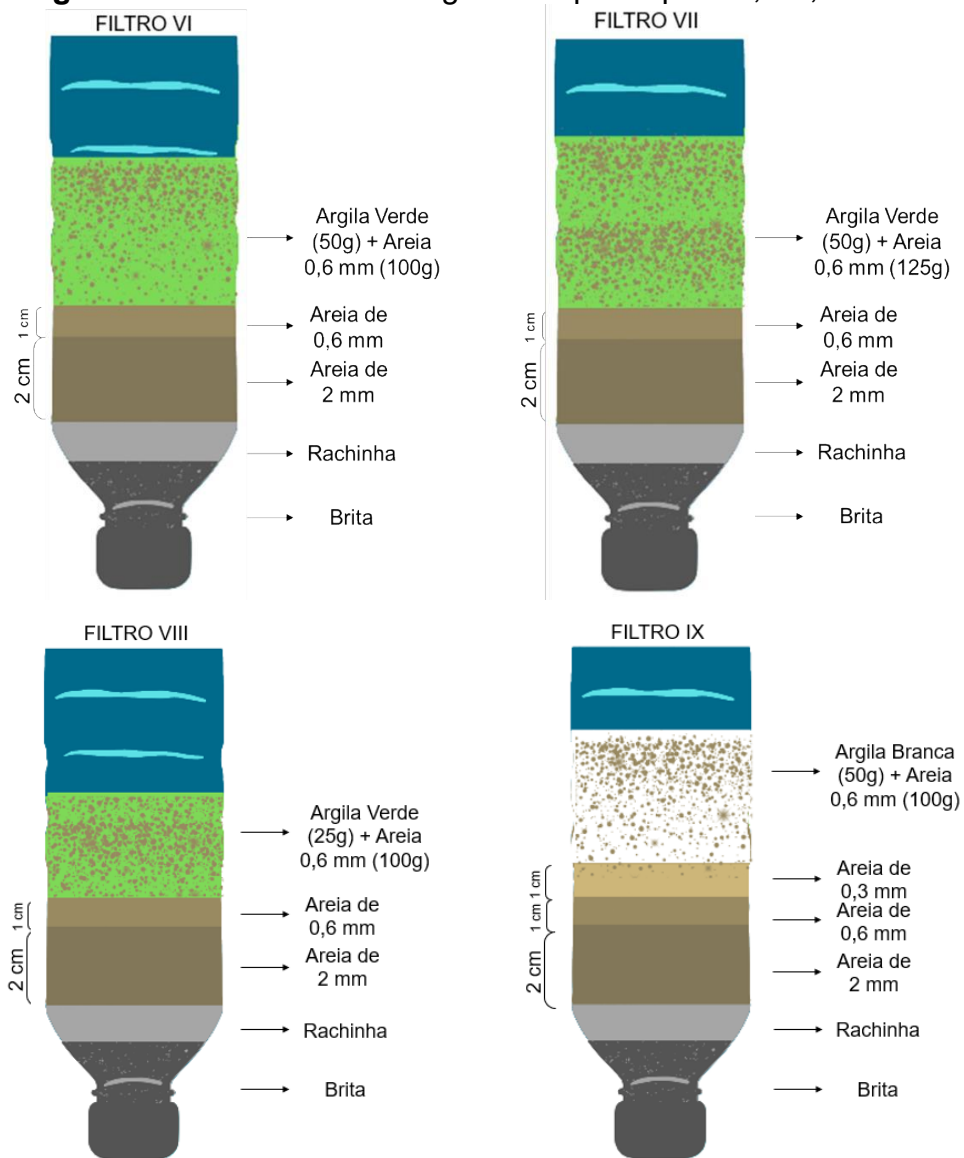
Devido a argila possuir baixa permeabilidade, os outros protótipos foram construídos a fim de permitir a percolação da água em caso de o material filtrante não possibilitar a passagem da água. Esses filtros foram constituídos pelo mesmo fundamento dos anteriores, possuindo uma camada suporte e a camada filtrante composta por argila misturada com areia, em que a Tabela 1, mostra a quantidade de cada material adicionados no filtro. Esses protótipos podem ser observados na figura 11.

**Tabela 1 - Quantidade de areia e argila do meio filtrante para os filtros VI, VII, VIII e IX**

Filtros	Areia (g)	Argila Verde (g)	Argila Branca (g)
Filtro VI	100	50	-
Filtro VII	125	50	-
Filtro VIII	100	25	-
Filtro IX	100	-	50

Fonte: Autoria própria (2022)

**Figura 11 - Modelo da montagem dos protótipos VI, VII, VIII e IX**



Fonte: Autoria própria (2022)

#### 4.2.3 Produção de pastilhas e esferas de argila verde e branca

Outra conformação das argilas analisadas neste estudo, se deu a partir da produção de pastilhas, nas quais as argilas foram misturadas, sugerindo-se que a argila verde é um potencial aglomerante, tendo em vista as características de aglomerantes apresentadas por Custódio (2016). As pastilhas foram feitas a partir de três proporções diferentes (Tabela 2), e levadas a um tratamento térmico na mufla a 350°C por 4h, de modo a proporcionar uma estabilidade física, visto que as mudanças estruturais e no espaçamento basal das argilas devido ao tratamento térmico modificam a capacidade de hidratação da argila, tornando-as mais estáveis em presença de água (BERTAGNOLLI; KLEINUBING; SILVA, 2011). Os modelos dessas conformações podem ser observados na Figura 12.

**Tabela 2 - Composição das pastilhas**

Argilas	Pastilhas 1	Pastilhas 2	Pastilhas 3
Argila Verde (g)	28	28	28
Argila Branca (g)	22	44	66

Fonte: Autoria própria (2022)

**Figura 12 - Modelo de pastilhas**



Fonte: Autoria própria (2022)

Para a produção das esferas, foi utilizada a mesma composição da Tabela 2, e submetidas ao mesmo tratamento térmico. Os modelos podem ser observados a partir da Figura 13.

**Figura 13 - Modelo das esferas**

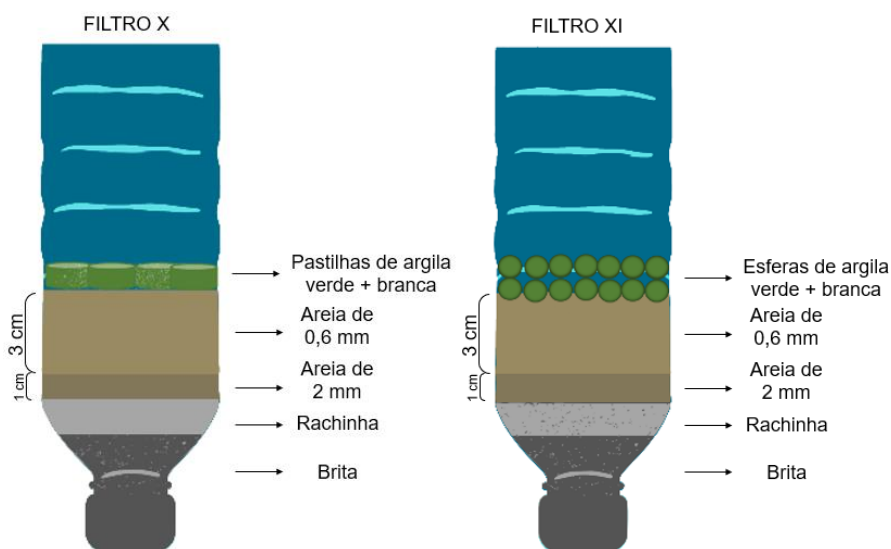


Fonte: Autoria própria (2022)

#### 4.2.4 Modelo dos protótipos com o material em pastilhas e esferas

Os protótipos X e XI tiveram como material filtrante as pastilhas e as esferas compostas de argila verde e branca, e podem ser observadas na Figura 14.

**Figura 14 - Modelo da montagem dos protótipos X e XI**



Fonte: Aatoria própria (2022)

#### 4.2.5 Análises físico-químicas

As análises físicas e químicas, e os equipamentos utilizados, podem ser observados no Quadro 2.

**Quadro 2 - Análises físico-químicas realizadas e seus respectivos métodos ou equipamentos**

	Parâmetros	Método/Equipamento	Marca/Modelo
Análises Físicas	Cor Aparente	Colorímetro	LoviBond
	Turbidez	Turbidímetro	AP 2000
Análises Químicas	Sódio (Na)	Fotômetro de chama	QUIMIS Q490M2
	Cobre (Cu)	Espectrofotômetro de Absorção Atômica	Variam FAAS 240

Fonte: Aatoria própria (2022)

. A água bruta escolhida foi a destilada e deionizada, escolhida para a lavagem dos filtros, de modo a se ter um melhor controle dos parâmetros físico-químicos a serem analisados. Com relação aos parâmetros químicos, essa água foi preparada sinteticamente com a concentração do elemento a ser analisado. Enquanto que para

os parâmetros físicos, a expectativa é que a água tratada atinja aos valores da água bruta, de modo que o filtro não confira cor, nem turbidez para a água.

Com relação aos parâmetros físicos, a escolha se deu a partir da Tecnologia de Filtração, que tem como objetivo, remover as impurezas que conferem cor e turbidez para a água, em que para esse estudo, a água bruta possui valores de cor e turbidez próximos a zero, nesse sentido, a verificação da cor e da turbidez da água tratada, se deu como parâmetros de monitoramento para a lavagem do filtro. Para os Parâmetros químicos, levou-se em consideração a tecnologia de filtração lenta, que apresenta características interessantes para atender as comunidades rurais e isoladas, no qual, essas comunidades utilizam poços artesianos e muitas das vezes tem seu uso restrito devido as altas concentrações de sais (COSME *et al.*, 2018). Além disso, os despejos industriais contendo metais pesados, também restringem o uso da água.

#### 4.2.5.1 Análise química de remoção do sódio (Na)

Para a análise química do sódio com as argilas em pó, utilizou-se uma água bruta preparada sinteticamente com uma concentração de sódio de 512 mg/L. Foi pesado 1g de argila verde (amostra 1) e 1g de argila branca (amostra 2), 0,5g de argila verde (amostra 3) e 0,5g de argila branca (amostra 4). Cada amostra foi colocada em Erlenmeyer contendo 25 mL da água bruta sintética por um período de 240 min, sendo 120 min em contato dinâmico na Incubadora Shaker com agitação orbital e aquecimento (modelo SL 222) em 160 RPM, e 120 min em contato estático a fim de verificar a remoção do sódio.

Após esse procedimento, preparou-se quintuplicatas de moldes de pastilhas para cada proporção utilizada, para que permanecessem em contato com 25 mL da água bruta contendo a mesma concentração de sódio citada anteriormente e submetidas ao mesmo tempo. Após o tempo de contato, o material foi filtrado em papel filtro e coletado em seguida.

E posteriormente, para realizar um teste de tempo de contato para o material na conformação de pastilha, utilizou-se a água bruta contendo uma concentração de sódio de 630 mg/L, sendo as amostras retiradas no tempo de 5, 10, 30, 60, 120 e 240 minutos, em agitação dinâmica no Shaker a 160 RPM.

Para o processo de filtração no filtro de esferas, utilizou-se a água bruta preparada sinteticamente com uma concentração de 80mg/L de sódio., valor que já



atende a Portaria, porém, buscou-se a verificação do total removido pelas argilas, em concentrações mais baixas. Foram coletadas 6 amostras de 30 mL, sendo o filtro operado a uma vazão de 6 mL/min.

#### 4.2.5.2 Análises de remoção de cobre (Cu)

Para analisar a remoção de cobre da água bruta, utilizou-se a mesma conformação das pastilhas mencionadas anteriormente, que permaneceram em contato com 25 mL da água contendo uma concentração de cobre de 219,5 mg/L. Posteriormente, o material foi coletado e submetido a análise por meio do Espectrofotômetro de Absorção Atômica.

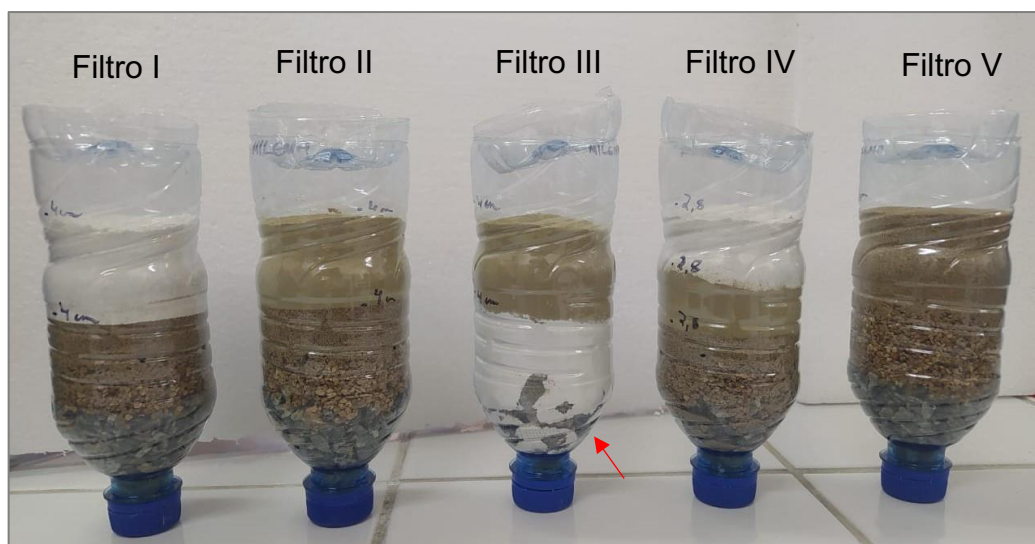
Para o teste de tempo de contato, com o material na conformação de pastilha, utilizou-se a água bruta contendo uma concentração de cobre de 233 mg/L, sendo as amostras em agitação dinâmica no Shaker a 160 RPM, retiradas no tempo de 5, 10, 30, 60, 120 e 240 minutos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 PROTÓTIPOS

Os filtros construídos podem ser observados na Figura 15. É possível verificar que o protótipo III possui como camada suporte apenas a brita, porém, após observar a distribuição da argila na garrafa, percebeu-se que a mesma, por possuir granulometria muito fina, ultrapassou a camada suporte, aproveitando até as ranhuras da própria garrafa, como pode ser observado na Figura 15. Partindo dessa premissa, os próximos protótipos tiveram além da brita, a inclusão da rachinha (que possui uma granulometria menor), juntamente com a camada de areia.

**Figura 15** - Montagem inicial dos filtros



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 16, pode-se visualizar a segunda sequência de filtros que foram testados. É possível observar que os protótipos que possuem a argila verde, contém a mesma camada suporte, por apresentar um bom condicionamento para o material filtrante. Diferentemente, o filtro com a argila branca possui além da mesma camada suporte do filtro I, uma camada com areia mais fina, devido principalmente, ao comportamento da argila branca durante a percolação da água.

**Figura 16** - Filtros VI, VII, VIII e IX



Fonte: Autoria própria

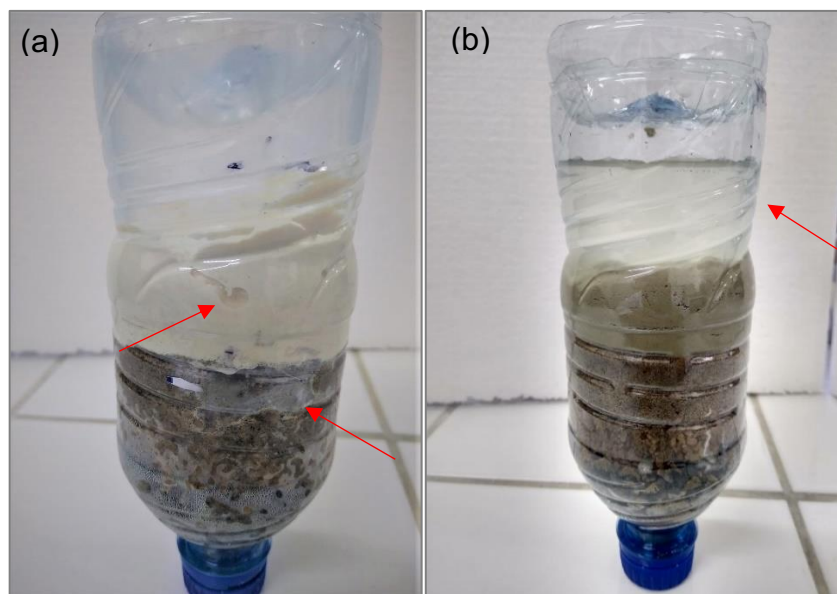
## 5.2 COMPORTAMENTO DOS FILTROS COM O MEIO FILTRANTE EM PÓ

Após a montagem dos filtros, seguiu-se para a testagem do comportamento do material filtrante com o adicionamento da água. Com relação ao comportamento da argila branca, verificou-se pelo filtro I que após a adição de 200 mL de água, levou algumas horas para o material permear pelas camadas até o final. Contudo, algumas partículas do material filtrante e suporte, foram se desprendendo, incluindo-se na água final. Numa segunda tentativa para lavagem, foi possível observar que as camadas tanto de argila branca como de areia tiveram perdas de material, como pode ser observado na Figura 17 (a). Dessa forma, a água adicionada percorria caminhos preferenciais, e possivelmente, não tendo um tempo de contato adequado com o material.

A partir da testagem do protótipo II, verificou-se que o comportamento da argila verde se apresenta com muito baixa permeabilidade, ocorrendo que a água não é infiltrada a ponto de não alcançar a camada suporte, isto verificado mais de 24h depois da adição da água. A Figura 17 (b) mostra o comportamento impermeável da camada filtrante após adição da água, corroborando com a afirmação de Sezerino (2006), que afirma que as argilas são praticamente impermeáveis. Em virtude dessa testagem, verificou-se que a argila verde distribuída dessa forma no protótipo não é adequada para o objetivo deste trabalho. Os protótipos III e IV não foram submetidos ao mesmo procedimento, tendo em vista o conhecimento do comportamento da argila verde.

O protótipo V, é um modelo de referência para analisar, principalmente, o comportamento da água ao longo do filtro somente com areia.

**Figura 17** - Protótipo I após a lavagem com água (a) e protótipo II com espessura reduzida (b)



Fonte: A autoria própria (2022)

A segunda sequência de protótipos foi feita a partir da mistura das argilas com a areia. Com isso, pode-se criar espaços dentro da camada filtrante para que a água pudesse ser percolada.

Após a adição de 50 mL da água bruta, percebeu-se que no filtro VI a água demorou mais de 4h para percolar, enquanto que no filtro VII, pouco menos de 2h. Já no filtro VIII a filtragem ocorre em aproximadamente 5 min, com uma taxa aproximadamente de 0,40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia. Enquanto que, no filtro IX, a filtragem ocorre em aproximadamente 30 min.

Tendo como parâmetro de monitoramento a cor aparente, percebeu-se que a água após a filtragem no filtro VI, apresentou inicialmente 21 UH, porém, numa segunda lavagem, apresentou 141 UH. Após mais de 1,5 L, a água ainda assim apresentou uma coloração inadequada, possuindo valores superiores ao da água bruta, que tem um valor de cor próximo a zero, resultado este que possivelmente se deu devido a granulometria da argila ser muito fina e por isso o material se desprende causando coloração na água. Da mesma maneira, grãos de areia também transmitiram cor para a água. Com relação a turbidez, o filtro IX por exemplo, atingiu 9,85 UT. De forma geral, os protótipos com o material filtrante em pó, não apresentaram resultados satisfatórios para cor, nem para turbidez, de modo que apresentaram valores superiores ao da água bruta que possui, em ambos os parâmetros, valores próximos a zero.

### 5.3 ANÁLISE QUÍMICA DE SÓDIO (NA) E COBRE (CU)

#### 5.3.1 Análises de verificação para remoção de Sódio (Na)

A Tabela 3 mostra o percentual de redução do sódio.

**Tabela 3** - Percentual de redução do sódio para a conformação em pó

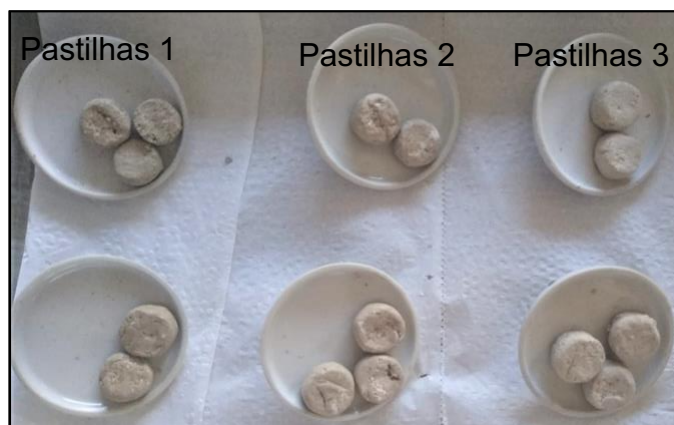
Amostras	Percentual de redução do sódio
Amostra 1	18%
Amostra 2	6%
Amostra 3	16%
Amostra 4	10%

Fonte: Autoria própria (2022)

Os percentuais mais elevados correspondem a argila verde, que apesar de em termos quantitativos apresentarem percentuais baixos, é importante considerar a concentração de sódio inicialmente, que foi relativamente elevada. A amostra 1 que corresponde ao maior percentual, em relação as outras amostras, possui um total de sódio removido de aproximadamente 91 mg/L. Salientando-se o trabalho de Cosme *et al.* (2018), que realizou um levantamento da qualidade da água dos poços utilizadas para irrigação em Mossoró no Rio Grande do Norte, foi possível verificar que para a maioria dos poços analisados, constataram concentrações de sódio que variaram de 18,4 a 5679,4 mg/L. Os autores puderam concluir que as águas subterrâneas analisadas possuem alto grau de restrição de uso para irrigação. Desse modo, a argila verde poderia atender e contribuir para redução da concentração do elemento presente nos poços estudados.

Após essa análise, realizou-se quintuplicatas de moldes de pastilhas para cada proporção utilizada. As pastilhas podem ser observadas na Figura 18.

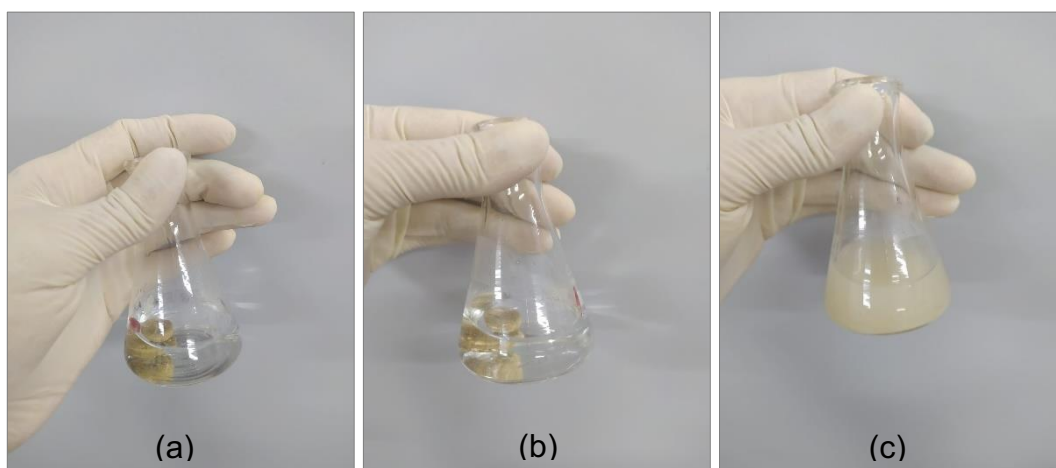
**Figura 18** - Pastilhas de argila verde misturado com argila branca após 4h a 350°C na mufla



Fonte: Autoria própria (2022)

Após o tempo de contato das pastilhas com a água bruta, pode-se observar que as pastilhas que tinham menores quantidades de argila branca (pastilhas 1 e 2) não se desintegraram no líquido, enquanto que as maiores quantidades de argila branca (3), se desmancharam no Erlenmeyer durante o tempo de contato, indicando mais uma vez, que são inadequadas para compor o meio filtrante. A Figura 19 mostra esse comportamento, que embora sejam argilas, ambas possuem características e composições possivelmente diferentes.

**Figura 19** - Pastilhas 1 (a), 2 (b) e 3 (c) durante o tempo de contato com a água bruta



Fonte: Autoria própria (2022)

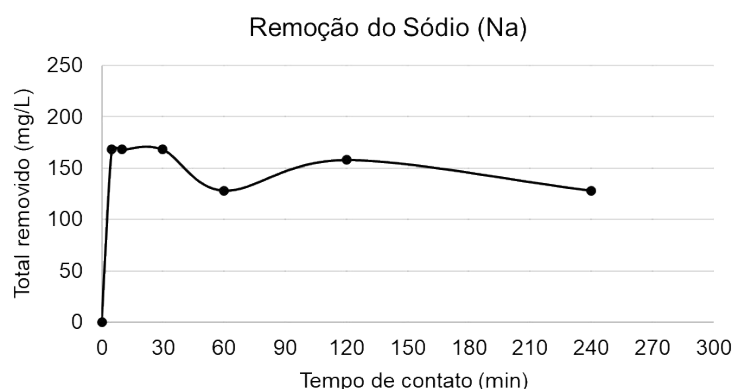
O material foi submetido a análise química e os resultados foram relacionados com a concentração inicial do sódio. Em média, as Pastilhas 1 apresentaram uma redução de 17%, as Pastilhas 2 de 16,5% e as Pastilhas 3 apresentaram 16,4%.

Através da análise de variância a 5% foi possível observar que a diferença entre os grupos não é estatisticamente significativa.

Essa mesma análise foi realizada novamente, mas agora para as pastilhas que apresentaram uma maior redução, ou seja, pastilhas 1, e para a água bruta com uma concentração de sódio de 630 mg/L.

De modo a garantir também um tempo de contato suficiente para que acontecesse a remoção, foi feito um teste de tempo de contato baseado nas tecnologias de adsorção, sabendo que a argila tem esse potencial adsorptivo. Nesse sentido, encontrar um tempo de estabilidade e equilíbrio, visando menores custos energéticos. Os resultados podem ser observados a partir da Figura 20, no qual, os dados foram ajustados a curva de calibração do fotômetro de chama.

**Figura 20** - Total removido de Sódio (Na) pelas pastilhas 1



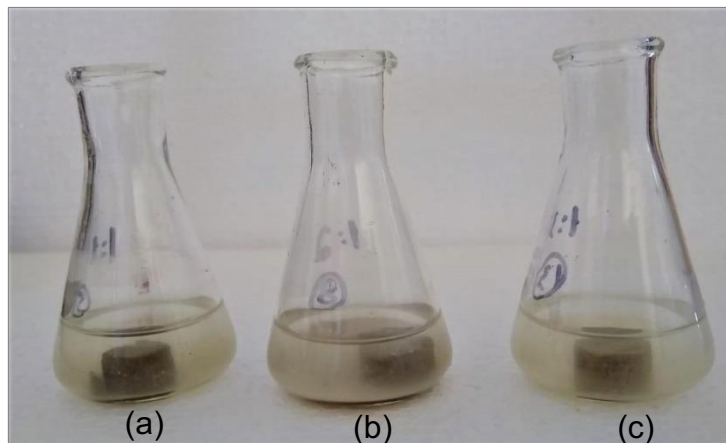
Fonte: Autoria própria (2022)

É possível observar pela Figura 20, que de 5 a 30 minutos sugere-se que ocorreu uma estabilização no total removido pelo material. Enquanto que depois disso, ocorreu uma variação na concentração do elemento, de modo que houve um aumento e diminuição no total no teor de sódio. De acordo com Souza (2017), a baixa remoção pode ser obtida quando se utilizam soluções com altas concentrações, visto que os sítios disponíveis possuem um estado de equilíbrio, e no momento que são preenchidos passam a não adsorver mais, e até expelir de volta a concentração na qual foi colocado em contato. Resultado este, que sugere a aplicação de modelos de adsorção para verificação e entendimento desse comportamento.

### 5.3.2 Análises de verificação para remoção de Cobre (Cu)

Para a análise de remoção de cobre, as pastilhas permaneceram em contato com a água. Esse procedimento pode ser observado na Figura 21.

**Figura 21** - Pastilhas 1 (a), 2 (b) e 3 (c) durante o tempo de contato com a água bruta



Fonte: Autoria própria (2022)

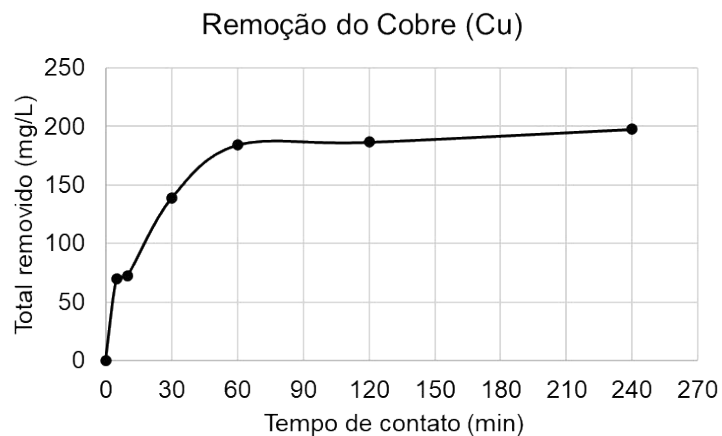
Os resultados obtidos foram relacionados com a concentração inicial do composto, em que o percentual médio de remoção para as pastilhas 1 foi de 86%, para as pastilhas 2 de 63% e para as pastilhas 3 foi de 48%. Percebeu-se que as pastilhas que tiveram menor quantidade de argila branca, apresentaram um maior percentual de remoção, semelhantemente a análise de remoção do sódio. Possivelmente, ocorrido pelas diferentes composições das argilas.

Através da análise de variância e do teste Tukey a 5%, as médias se diferenciam estatisticamente entre si.

Nesse sentido, esse experimento foi realizado novamente, para agora com as pastilhas que tiveram maior percentual, as pastilhas 1. De modo a também realizar um teste de tempo de contato. A Figura 22 mostra o total removido.

**Figura 22** - Total removido de Cobre (Cu) pelas pastilhas 1





Fonte: Autoria própria (2022)

A figura 22 sugere uma constância no total removido durante o tempo de contato definido neste estudo. O tratamento térmico possivelmente influenciou a se obter uma maior remoção do elemento, corroborando com Bertagnolli, Kleinubing e Silva (2011), que constataram essa afirmação ao analisar e submeter a argila bentonita a um tratamento térmico. Nos primeiros minutos ocorreu um rápido crescimento da quantidade removida de cobre, o qual pode ser atribuído a um excesso de sítios disponíveis na superfície capazes de se ligarem aos íons de cobre, sugerindo-se a análise e aplicação dos modelos de adsorção para entender e descrever melhor esse processo. Salvador (2009), utilizou o pó da casca de coco tratado como adsorvente, obteve resultados semelhantes aos encontrados neste estudo.

#### 5.4 PROTÓTIPOS COM AS ESFERAS E PASTILHAS

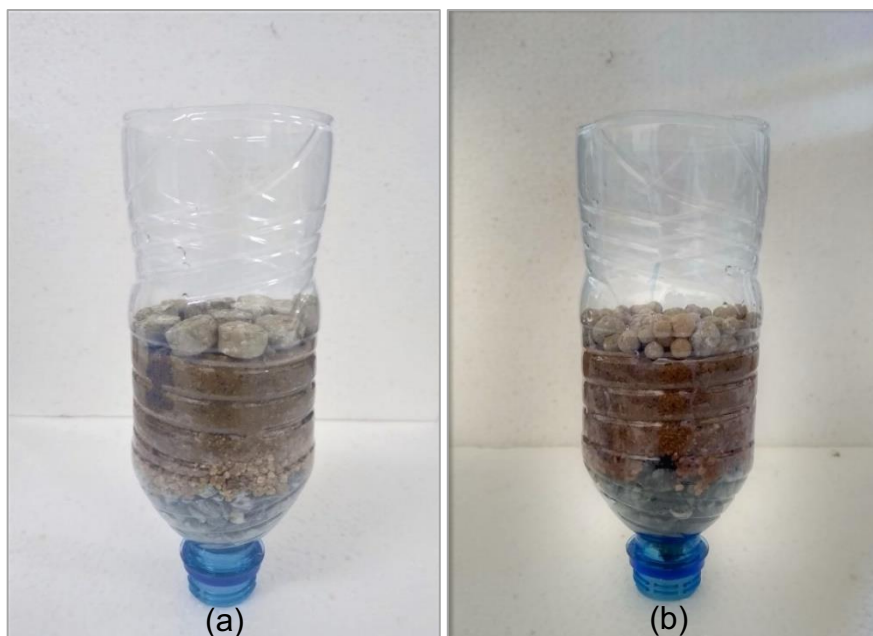
Novos protótipos foram estruturados, possuindo agora uma camada suporte mais encorpada e as argilas possuindo a mesma proporção das pastilhas, só que agora no formato de esferas, submetidas ao mesmo tratamento térmico (Figura 23) e agora possuindo um registro para controlar o fluxo da água (Figura 27). Os protótipos podem ser observados na Figura 24.

**Figura 23 - Esferas de argila verde e branca**



Fonte: A autoria própria (2022)

**Figura 24** - Protótipo X possuindo pastilhas (a) e o protótipo XI possuindo esferas (b)



Fonte: A autoria própria (2022)

Após a adição de água no protótipo com o meio filtrante em pastilhas, o material se desfez (Figura 25), sugerindo que o tamanho da conformação influencia no comportamento do material após as adições de água, mudando dessa forma, a

velocidade do fluxo da água, bem como, dificultando a estabilização de sua coloração e da turbidez da água, em virtude da observação do comportamento do material em pó, mencionado anteriormente.

**Figura 25** - Protótipo XI após a adição de água



Fonte: A autoria própria (2022)

O protótipo com esferas apresentou-se com mais estabilidade, porém, ainda transmitindo cor e turbidez para a água. Com relação a esses parâmetros, após 1,5 L de água percolando pelo material, os valores se estabilizaram e reduziram ao longo das lavagens, de modo que foi possível observar que o filtro alcançou valores aproximados aos valores da água bruta. O valor obtido para cor, após essa quantidade de água, foi de 10 UH e para turbidez 2,67 UT. Verificou-se também, que algumas esferas possuindo um tamanho maior, se desfizeram parcialmente, entretanto, as que possuíam um diâmetro bem menor, não tiveram alteração (Figura 26).

**Figura 26** - Protótipo XI após a adição de água



Fonte: Autoria própria (2022)

**Figura 27** - Registro para controle do fluxo de água



Fonte: Autoria própria (2022)

Após várias lavagens, o filtro transmitiu para a água uma cloração de 6 UH, e para turbidez, 2,61 UT. Pelo que pode ser observado, a tendência é que à medida que mais água é utilizada para lavagem, melhor é a estabilização do material no filtro. A partir desse monitoramento, foi realizado para esse protótipo a filtração da água bruta com uma concentração de 80 mg/L de sódio, verificação está com base no possível tempo de equilíbrio obtido na Figura 20, operado então, a uma vazão de 6 mL/min.

Na primeira amostra coletada, obteve-se um percentual de remoção de 63%. Para as demais amostras, ocorreu um decréscimo, obtendo um percentual médio de 23%. Resultado este, possivelmente ocasionado pela ocupação dos sítios ativos na primeira carreira de filtração, mostrando que é necessário a lavagem do filtro de modo

a propor uma dessorção. Além disso, a concentração inicial do elemento foi baixa comparada as outras análises, o que também pode ter influenciado na obtenção de um maior percentual.

## 6 CONCLUSÕES

- O material analisado demonstrou um importante auxílio ao tratamento de água;
- É necessário a caracterização do material estudado (argila verde e branca) para o conhecimento de suas propriedades;
- As diferentes confecções da conformação das argilas apresentam resultados diferentes;
- Os diferentes arranjos influenciaram no processo de filtração;
- Os protótipos com as argilas em pó, não foram eficazes para o objetivo do presente trabalho, dificultando o processo de filtração;
- O protótipo com esferas foi o filtro que apresentou melhores resultados com relação aos parâmetros físicos em comparação às outras conformações, porém, o material do filtro ainda transmite cor e turbidez para a água. Ainda assim, por apresentar um fluxo de percolação da água interessante e um potencial uso para a remoção de sódio, sua utilização possivelmente pode ser aplicada para atender restrições de uso de águas salobras usadas para irrigação, atendendo ao parâmetro aqui mencionado.
- É recomendável a construção de novos protótipos de esferas com dimensionamento maiores e com controle de vazão, de modo a garantir diferentes tempos de contato e um melhor controle da percolação da água. Como também, mais análises físicas, químicas e até microbiológicas possam ser realizadas;
- O material apresentou-se com grande potencial para remoção de contaminantes;
- A camada suporte composta por areia, brita e rachinha foram eficazes em acondicionar o material filtrante.

Por fim, os resultados apresentados mostram a possibilidade e a utilidade da argila verde e branca como meio filtrante para auxiliar no tratamento de água. A expectativa é que os resultados obtidos neste estudo sejam utilizados como base para outros estudos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ABNT NBR 12216: **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

AGÊNCIA BRASIL. **Governo lança plano para levar saneamento a áreas rurais**. 2019. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/politica/noticia/2019-12/governo-lanca-plano-para-levar-saneamento-areas-rurais#:~:text=Em%20termos%20de%20abastecimento%20de,po%C3%A7os%20artesianos%20e%20nascentes%20fluviais>. Acesso em: 05 ago. 2022.

AGUZZI, C.; CERREZO, P.; VISERAS, C.; CARAMELLA, C. Use of clays as drug delivery systems: possibilities and limitations. **Applied Clay Science**, v. 36, n. 1-3, p. 22-36, 2007.

AMORIM, M. I.; PIAZZA, F. C. P. Uso das argilas na estética facial e corporal. **Revista GreenMe**, [S. l.], p. 1-13. 2015.

AMUI, C. R.; MORUZZI, R. M. C. M. **Desenvolvimento e avaliação de protótipos de filtro lento para tratamento de água em domicílios rurais**. Graduação (Engenharia Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

ARAÚJO, M. G. S.; CAMPOS, M. S.; ALVES, E. S. **Biofiltro-Solar como sistema para o tratamento de água em comunidades ribeirinhas**. In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Porto Alegre, 2015.

ASSIS, E. G. **A salinidade das águas superficiais e sua interferência nas condições sócio-econômicas na sub-bacia do Rio Caraipeiras - Curimataú Paraibano**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2002.

ASSIS, O. B. G.; VIEIRA, D. C. Avaliação de vidro reciclado granulado como meio filtrante de herbicidas em meio aquoso. **Gestão e Controle Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 341-345, 2009.

AWOYAMA, S. M.; VIEIRA, D. A. S.; CARVALHO, C. Usos terapêuticos e cosmeceuticos da argila mineral branca. **Revista Ciência e Saúde On-line**, [S. l.] v. 6, n.1, p. 1-9, 2021.

BACK, L. E. K. **Potabilização de águas subterrâneas em área rural por meio da tecnologia de adsorção em coluna de leito fixo de carvão ativado granular**. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2018.

BALDUINO, A. P. Z. **Estudo da caracterização e composição de argilas de uso cosmético**. Dissertação (Mestrado em Ciências Aplicadas a Saúde), Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2016.

BARUTH, E. E. **Water Treatment Plant Design (4th ed.)**, McGraw-Hill, New York. In: American Water Works Association and American Society of Civil Engineers, 2005.

BERNARDINO, K. R.; COSTA, D. A.; OLIVEIRA, V. P. S. O desafio do saneamento em comunidades rurais e a importância do monitoramento da qualidade da água. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**. v. 14, n. 2, p. 255-273, 2020.

BESSA, I. M. **Filtração lenta domiciliar como proposta para o tratamento de água em uma comunidade rural: Estudo de caso no acampamento do MST Edson Nogueira em Macaé/RJ**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2020.

BERTAGNOLLI, C.; KLEINUBING, S. J.; SILVA, M. G. C. **Argila Bentonita modificada termicamente para remoção de cobre**. In: 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Porto de Galinhas, 2011.

BORGES, R. M.; MINILLO, A.; LEMOS, E. G. M.; PRADO, H. F. A. P.; TANGERINO, E. P. Uso de filtros de carvão ativado granular associado a microrganismos para remoção de fármacos no tratamento de água de abastecimento. **Eng. Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 709-720, 2016.

BRAGA, F. M. G. **Dupla Filtração em Filtros Ascendentes de Pedregulho e Filtros Descendentes de Areia Aplicada à Remoção de Algas: Influência da Taxa de Filtração e Granulometria do Filtro de Areia**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. - Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. **Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário oficial da união, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em 20 Jun. 2022.

BRITO, C. R. F. **Fotocatálise heterogênea associada à adsorção em cerâmica modificada para remoção de ciprofloxacino**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

BRITO, L. L. A.; CARDOSO, A. B.; SALVADOR, D. P.; HELLER, L. Amadurecimento de filtros lentos de areia e remoção de microrganismos indicadores de qualidade da água ao longo da profundidade do leito: uma avaliação em instalação piloto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 307-317, 2005.

BRK AMBIENTAL. **Os principais desafios do abastecimento de água na zona rural**. 2020. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/abastecimento-de-agua-na-zona-rural/>. Acesso em: 05 ago. 2022.



BURGARDT, T. **Técnicas de filtração de água destinadas ao abastecimento público - Estudo de caso Lagoa do Peri**. Graduação (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, Santa Catarina, 2015.

CALDAS, T. C. C. **Reciclagem de resíduo de vidro plano em cerâmica vermelha**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2012.

CANGELA, G. L. C. **Tratamento de água para consumo humano em comunidades rurais com utilização de Moringa Oleifera e Desinfecção Solar**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CANTELE, T. D.; LIMA, E. C.; BORGES, L. A. C. Panorama dos Recursos hídricos no mundo e no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 4, p. 1259-1282, 2018.

CAMPOS, L. C.; SU, M. F. J.; GRAHAM, N. J. D.; SMITH, S. R. Biomass development in slow sand filters. **Water research**, v. 36, n. 18, p. 4543-4551, 2002.

CARRETERO, M. I. Clay minerals and their beneficial effects upon human health. A review. **Applied Clay Science**, Seville, v. 21, n. 3-4, p. 155-163, 2002.

CETESB. **Cobre - Identificação da Substância**, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cobre.pdf>. Acesso em: 17 de ago. 2022.

COSTA, L. C. M. **Produção e modificação de carvões ativados para aplicações ambientais**. Tese (Doutorado em Ciências-Química), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

COSME, C. R.; DIAS, N. S.; MELO, M. R. S.; OLIVEIRA, A. M. P.; SILVA, G. F.; MOURA, E. S. R. Avaliação da qualidade das águas de poços em comunidades e assentamentos rurais em Mossoró-RN. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 7, n. 2, p. 97-108, 2018.

CUSTÓDIO, M. M. **Apostila: Agregados e Aglomerantes**. 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/15396916-Agregados-e-aglomerantes.html>. Acesso em: 18 ago. 2022.

CRUZ, T. B.; MACEDO, R. S. **Influência da qualidade da água utilizada nos ensaios de plasticidade de argila vermelha**. *In*: Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

CUMBI, H. A. **Avaliação do desempenho de mantas sintéticas não tecidas no tratamento de água para consumo humano visando utilização em comunidades rurais - ensaio em escala piloto**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. Rio de Janeiro: **ABES/PROSAB**, 1999. 114p.

DIOGO, LUÍS ALVITO. **Sistema de potabilização da água**. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane, 2010. Disponível em: [http://nhambiu.uem.mz/wp-content/uploads/2011/05/diogo\\_alivito.pdf](http://nhambiu.uem.mz/wp-content/uploads/2011/05/diogo_alivito.pdf). Acesso em: 27 de mai. 2022.

FARIAS, N. J. V. **Desempenho de filtros lentos, com diferentes períodos de amadurecimento, precedidos de pré-filtração em pedregulho no tratamento de águas contendo células tóxicas de *Microcystis aeruginosa***. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

FEWTRELL, L.; KAUFMANN, R. B.; KAY, D.; ENANORIA, W.; HALLER, L.; COLFORD JR, J. M. Water, sanitation, and hygiene interventions to reduce diarrhoea in less developed countries: a systematic review and meta-analysis. **The Lancet infectious diseases**, v. 5, n. 1, p. 42-52, 2005.

FILHO, S. S. F. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento**. 1. ed. Rio de Janeiro: ELSEVIER, 2017.

FORMOSO, S. C. **Sistema de tratamento de água salobra: alternativa de combate à escassez hídrica no semiárido Sergipano**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010.

FREITAS, B. L. S. **Filtros lentos domiciliares com operação contínua como alternativa para sistemas de tratamento de águas superficiais em comunidades isoladas: uma avaliação comparativa para redução do leito filtrante**. 2021. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

GASANA, J.; MORIN, J.; NDIKUYEZE, A.; KAMOSO, P. Impact of water supply and sanitation on diarrheal morbidity among young children in the socioeconomic and cultural context of Rwanda (Africa). **Environmental research**, v. 90, n. 2, p. 76-88, 2002.

GOMES, M. S.; FRANCO, C. S.; VIANA, A. C. **I-322-Tratamento de água domiciliar por filtros de cerâmica microporosa e carvão ativado**. In: Congresso ABES, Fenasan. 2017.

GONÇALVES, R. F.; BASTOS, F. P. **Potabilização de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção ultravioleta para abastecimento descentralizado de comunidades**. Vitória, ES: UFES, 2012.

GUISONI, T. D. G.; RIBEIRO, I. M. **Benefícios da argila em procedimentos estéticos**. Pós-Graduação (Estética e bem estar) -Universidade do Sul de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.

HAARHOFF, J., CLEASBY, J.L. **Biological and physical mechanisms in slow sand filtration**. In: LOGSDON, G. S. Slow Sand Filtration, A report prepared by the Task Committee on Slow Sand Filtration. New York: American Society of Civil Engineers; 1991. v. 1. p. 19-68.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

ISON, C.R.; IVES, K.J. Removal mechanisms in deep bed filtration. **Chemical Engineering Science**. v. 24, n. 4, p.717-729, 1969.

JUNIOR, V. M.; DOS SANTOS, S. M.; GONZALEZ, B. C.; PIMENTEL, L. L.; LONGO, R. M. Filtração Lenta Domiciliar Com Meios Filtrantes Reciclados Provenientes De Resíduos Da Construção Civil. **Científic@-Multidisciplinary Journal**, v. 6, n. 1, p. 87-103, 2019.

LEITE, C. M. **Argila verde e seu poder de cicatrização no pósoperatório de abdominoplastia**. Pós-Graduação (Procedimentos estéticos) - Faculdade do Centro Oeste Pinelli Henriques-Facoph, Manaus, 2016.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

LIMA, A. J. **Análise comparativa da eficiência de filtros lentos com meios filtrantes convencional e não convencionais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020.

MACHADO, M. R. **Coposição de argilas de uso cosmético e seus efeitos em embriões e pós-larvas de zebrafish (Danio rerio)**. Dissertação (Mestrado em Ciências aplicadas à saúde) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2018.

MACHADO, A. V. M.; SANTOS, J. D.; NOGUEIRA, L. T.; NOGUEIRA, M. T.; OLIVEIRA, P. D. **Acesso ao abastecimento de água em comunidades rurais: o desafio de garantir os direitos humanos à água**. In: XII Congresso Nacional de excelência em gestão. 2016.

MEIRA, J. M. L. Argilas: o que são, suas propriedades e classificações. **Comunicações técnicas**, v. 2, 2001.

MORAES, J. D. D.; BERTOLINO, S. R. A.; CUFFINI, S. L.; DUCART, D. F.; BRETZKE, P. E.; LEONARDI, G. R. Clay minerals: Properties and applications to dermocosmetic products and perspectives of natural raw materials for therapeutic purposes—A review. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 534, n. 1-2, p. 213-219, 2017.

MOURA, R. F. V. B. **Técnicas simplificadas de tratamento de água: Roteiros para utilização**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2021.

MURTHA, N. A. **Avaliação da influência de variáveis hidráulicas, parâmetros de projeto e das características da água bruta na eficiência de filtros lentos de areia**.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998.

MURTHA, N. A.; HELLER, L. Avaliação da influência de parâmetros de projeto e das características da água bruta no comportamento de filtros lentos de areia. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 8, n. 4, p. 257-267, 2003.

MURTHA, N. A.; HELLER, L.; LIBÂNIO, M. **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, v.19, 1997.

NASCIMENTO, R. A. **Caracterização de argilomineral proveniente da região Sudeste do Estado de São Paulo por drigração de raios X: cristais orientados**. Dissertação (Graduação Engenharia de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Rio de Janeiro, Londrina, 2018.

NEVES, Y. T.; SANTOS, L. L.; LEAL, E. S.; GOMES, B. M. C. Tratamento de água em comunidades rurais por meio da radiação solar. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 3, n. 2, p. 720-729, 2016.

NHANCA, N. J. **Filtro lento de areia no tratamento de água subterrânea para abastecimento público - Estudo de caso: Ilha de Bolama (Guiné-Bissau)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade do Algarve, 2017.  
OLIVEIRA, P. P. **Proposição de tecnologias de tratamento de água aplicáveis em comunidades rurais e tradicionais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

PATERNIANI, J. E. S.; CONCEIÇÃO, C. H. Z. **Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no tratamento de água para pequenas comunidades**. *Eng. ambient.*, Espírito Santo do Pinhal, v. 1, n. 1, p. 017-024, 2004.

PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M.; RIBEIRO, T. A. P.; BARBOSA, M. **Pré-filtração em pedregulho e filtração lenta com areia, manta não tecida e carvão ativado para polimento de efluentes domésticos tratados em leitos cultivados**. *Eng. agric.*, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 803-812, 2011.

PECHULA, L. C.; HAMANDA, G. S.; HAMANDA, C. S.; MORAES, N. R. **Análise do acesso à água potável em comunidades tradicionais**. *In*: 1º Congresso sobre Ambiente, Tecnologia e Educação. 2018.

PEREIRA, A. O. K; BORILE, G. O. ARNOLD, C. M. **Crise hídrica e sistemas de saneamento no Brasil: breve abordagem técnica e jurídica sobre o reúso e aproveitamento de águas pluviais. Meio ambiente. Novos direitos e a sociedade de consumo**. Caxias do Sul, RS: EDUCS, 2018. *E-book* (222p). ISBN 978-85-7061-946-4. Disponível em: <https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/ebook-meio-ambiente-novos-direitos.pdf#page=151>. Acesso em: 13 mai. 2022.

PERUSATTO J. F. **O direito ao acesso a água potável**. Dissertação (Graduação em Direito) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2019.

PIZZOLATTI, B. S. **Estudo de limpeza de filtro lento por raspagem e retrolavagem.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

RABELO, R. B.; ALBARELLI, J. Q.; BEPPU, M. M. **Desenvolvimento de tecnologia social para remoção de metais pesados utilizando cascas de banana como adsorvente.** *In: IV ENEDS*, 2009.

REBOUÇAS, A. C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia análise & dados**, v. 13, p. 341-345, 2003.

RIBEIRO, E. V. **Avaliação da qualidade da água do rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora - MG: Metais pesados e atividades antropogênicas.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

RICHTER, C. A. **Métodos e Tecnologia de Tratamento.** São Paulo: Blucher, 2009.  
SABOGAL-PAZ, L. P.; CAMPOS, L. C.; BOGUSH, A.; CANALES, M. Household slow sand filters in intermittent and continuous flows to treat water containing low mineral ion concentrations and Bisphenol A. **Science of the Total Environment**, v. 702, p. 135078, 2020.

SALES, P. F. **Aplicações ambientais de argilominerais modificados por tratamento ácido: Busca por materiais ecoamigáveis.** 2013. Tese (Doutorado Agroquímica), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SALVADOR, G. **Estudo da adsorção de cobre (II) usando como adsorvente pó de casca de coco verde ativada com hidróxido de sódio.** Relatório - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SANTOS, A. R. A.; CRUZ, L. A.; GONTIJO, H. M. Semente de Moringa Oleífera como solução alternativa para o tratamento de água em comunidades rurais. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 6, p. 14, 2019.

SANTOS, S. T.; LIMA, A. J.; MICHELAN, D. C. G. S. Perspectivas sobre o uso de materiais alternativos no tratamento de água: revisão sistemática desenvolvida em filtros lento. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 9, n. 2, p. 121-139, 2021.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SILVA, A. S. **Qualidade de água de abastecimento na zona rural de Santa Rita - PB e propostas de melhoria.** Dissertação (Mestrado em desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

SILVA, K. M. **Descrição das tecnologias de tratamentos de água no Brasil e suas distribuições por regiões no País.** Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020.

SILVA, D. E.; CORDEIRO, J.; CALAZANS, G. M.; VIEIRA, E. D.; CHAVES, S. L.; PEREIRA, S. Análise da eficiência da filtração lenta para o tratamento de água de uma nascente situada na zona rural de Passabém-MG. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 6, 2018.

SILVA, A. T. **Influência da temperatura na adsorção do corante azul de metileno utilizando serragem de Pinus elliottii como um adsorvente alternativo: um modelo para o tratamento de efluentes têxteis**. Dissertação (Graduação em Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SOUZA, F. H. **Avaliação do funcionamento de um filtro lento com retrolavagem automática para o tratamento de água de abastecimento em pequenas comunidades**. Graduação (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SOUZA, L. A. **Influência da lavagem operacional e do sentido do fluxo na eficiência de filtros lentos com camada intermediária de maravalha**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2020.

SOUZA, F. D.; TOSCANO, B. CARNEIRO, C. G.; SENS, M. L. Diagnóstico e discussão sobre uso da Filtração Lenta para abastecimento público em Santa Catarina, Brasil. **Revista DAE**, v. 66 n. 209, p. 37-50, 2017.

STUPP, A. J. **Avaliação do funcionamento de um filtro lento com retrolavagem automática para o tratamento de água de abastecimento em pequenas comunidades**. Graduação (Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

TEIXEIRA, T. M. N.; BRANDÃO, C. C. S. **Avaliação da filtração lenta como tratamento de águas com baixa turbidez e presença de algas e cianobactérias: aplicação à água do lago Paranoá/DF**. In: XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA, Brasília, 2016.

TEIXEIRA-NETO, E.; TEIXEIRA-NETO, A. A. Modificação química de argilas: desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado. **Revista Química Nova**, Santo André - SP, v. 32, n. 3, p. 809-817, 2009.

TRATA BRASIL. **Instituto trata brasil divulga o ranking do saneamento 2022 no dia mundial da água**. 2022. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/pt/estudo-blog/estudos-itb/instituto-trata-brasil-divulga-o-ranking-do-saneamento-2022-no-dia-mundial-da-agua>. Acesso em: 21 abr. 2022.

TIRELI, A. A. **Preparação de novos materiais a base de argila natural para aplicação como adsorventes na remediação ambiental**. 2011. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a "visão mundial da água". **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 5, n. 3, p. 31-43, 2000.

VIEIRA, A. R.; BARRÊTO, L. C.; ROIPHE, S. **Água para vida, água para todos: livro das águas**. Brasília: WWF-Brasil, 2006.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996.

VOSS, G. S.; CARVALHO, D. K. A eficácia da geoterapia como tratamento complementar: Percepção dos usuários do serviço de assistência integrada a saúde - Sais - Tubarão (SC). In: SIMPÓSIO SOBRE FORMAÇÃO DE PROFESSORES, 2012, Tubarão. **Anais [...]**. Tubarão: UNISUL, 2012. p. 1-12.

VISSCHER, J.T. Slow Sand Filtration: Design, Operation, and Maintenance. **Journal of the American Water Works Association - Research And Technology**. New York. v. n.6, p.67-71, 1990.

WORMA, F. **Desenvolvimento de um filtro lento bifluxo com retrolavagem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

YAO, K. M., HABIBIAN, M. T., & O'MELIA, C. R. Water and waste water filtration. Concepts and applications. **Environmental science & technology**, v. 5, n. 11, p. 1105-1112, 1971.

ZATTA, L. **Caulinita e haloisita "in-natura" e ativadas com ácidos minerais como catalisadores heterogêneos para esterificação (m)etílica de ácidos graxos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.