



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS (UFAL)  
INSTITUTO DE QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA (IQB)  
QUÍMICA TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL



CÍCERO PORFÍRIO TENÓRIO JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS: MÉTODO PARA  
TRATAMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS POR MEIO DE  
TECNOLOGIAS SOCIAIS**

Maceió – AL  
2024

CÍCERO PORFÍRIO TENÓRIO JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS: MÉTODO PARA  
TRATAMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS POR MEIO DE  
TECNOLOGIAS SOCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Química Tecnológica e Industrial da Universidade Federal de Alagoas, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Química Tecnológica e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. José Edmundo Accioly de Souza

Maceió – AL  
2024

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária: Helena Cristina Pimentel do Vale – CRB4 –661

- T312d Tenório Júnior, Cícero Porfírio.  
Desenvolvimento de soluções sustentáveis : método para tratamento de água em comunidades rurais por meio de tecnologias sociais / Cícero Porfírio Tenório Júnior. – 2024.  
68 f : il.
- Orientador: José Edmundo Accioly de Souza.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Química Tecnológica e Industrial) – Universidade Federal de Alagoa, Instituto de Química e Biotecnologia. Maceió, 2024.
- Bibliografia: f. 62-68.
1. Tratamento de água. 2. Tecnologia social. 3. Baixo custo. I. Título.

CDU: 628.1

CÍCERO PORFÍRIO TENÓRIO JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS: MÉTODO DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS POR MEIO DE  
TECNOLOGIAS SOCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL,  
Campus de Maceió, como pré-requisito para a  
obtenção do grau de Bacharelado em Química  
Tecnológica e Industrial.

---

Prof. Dr. José Edmundo Accioly de Souza, UFAL

(Orientador)

**Banca Examinadora:**

---

Profa. Dra. Valéria R. dos Santos Malta, UFAL

(Examinadora)

---

Profa. Dra. Tatiane Luciano Balliano, UFAL

(Examinadora)

**Dedico**

esta conquista aos meus familiares, amigos e professores, assim como a todos que contribuíram de forma positiva para torná-la possível.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que desempenharam um papel essencial na concretização deste trabalho de conclusão de curso.

Minha mãe, Luciane, merece um agradecimento especial por seu apoio inabalável. Seu amor, incentivo e compreensão foram a base que me sustentou durante todo esse percurso.

Aos meus queridos irmãos, agradeço por estarem sempre presentes, me motivando a seguir em frente e enfrentar todos os desafios com determinação.

Aos amigos que estiveram sempre ao meu lado, em especial ao meu amigo Leandro, sou imensamente grato. Sua colaboração e orientação transformaram-se em um apoio tão vital quanto o de um coorientador. Sem você, esse caminho teria sido muito mais árduo.

Quero expressar minha sincera gratidão ao Professor Edmundo Accioly, meu orientador, por sua orientação perspicaz e comprometimento com meu crescimento acadêmico.

À Quitéria e Nadjane, sou grato pelas análises da água no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA). A experiência de vocês e a ajuda foram essenciais para a qualidade das análises realizadas. Também aos professores João Inácio e Kleber que dedicaram um tempo para me auxiliar nas análises feitas no Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos (LASSOP).

A todos os professores e colaboradores do Instituto de Química e Biotecnologia (IQB), meu agradecimento por compartilharem seus conhecimentos e contribuírem de maneira significativa para minha formação.

Esta conquista não é apenas minha, mas reflete o apoio, orientação e esforços coletivos de todos vocês. Mais uma vez, meu profundo agradecimento por fazerem parte desta jornada.

*“Nós esquecemos que o ciclo da água e o ciclo da vida são, na verdade, um só.”*

Jacques Cousteau.

## RESUMO

O asseguramento da qualidade da água requer a implementação de sistemas de tratamento eficientes. Nesse contexto, o objetivo central desta pesquisa foi criar e aprimorar sistemas de tratamento de água, utilizando tecnologias adaptadas de baixo custo para comunidades em áreas rurais ou regiões com dificuldades de acesso à água potável fornecida pela rede de abastecimento público. Como objetivos específicos, analisar os parâmetros de qualidade como cor, pH, turbidez, dureza e coliformes fecais de duas fontes de água em uma comunidade rural localizada na cidade de Viçosa, Alagoas; avaliar quais métodos são mais indicados para o tratamento de cada fonte de água avaliada no estudo; verificar a eficácia dos métodos utilizados na garantia do fornecimento seguro de água para o consumo humano. Como metodologia neste trabalho, as análises de pH, cor, turbidez e presença de microorganismos foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA). Já os testes de jarra (jar- test) e os processos de filtração foram conduzidos no Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos (LASSOP). Em ambas as situações, foram seguidas as metodologias previamente estabelecidas e utilizadas nesses laboratórios. Através das análises realizadas, foi possível constatar a necessidade de tratamento das fontes de água do estudo, uma vez que em quase todos os pontos analisados, as fontes de água se mostraram impróprias para consumo. Ao final, constatou-se que ambas as fontes de água poderiam passar pelo mesmo processo de tratamento, o que levou à sugestão do método ideal utilizando tecnologias sociais, cuja eficácia foi verificada.

**Palavras-chave:** tratamento de água; tecnologia social; baixo custo.

## ABSTRACT

Ensuring water quality requires the implementation of efficient treatment systems. In this context, the main objective of this research was to create and improve water treatment systems using adapted low-cost technologies for communities in rural areas or regions with difficult access to drinking water provided by the public supply network. The specific objectives were to analyze the quality parameters such as color, pH, turbidity, hardness and fecal coliforms of two water sources in a rural community located in the city of Viçosa, Alagoas; to evaluate which methods are most suitable for the treatment of each water source evaluated in the study; and to verify the effectiveness of the methods used in guaranteeing a safe supply of water for human consumption. The pH, color, turbidity and presence of microorganisms analyses were carried out at the Environmental Sanitation Laboratory (LSA). The jar tests and filtration processes were carried out in the Separation Systems and Process Optimization Laboratory (LASSOP). In both situations, the previously established methodologies used in these laboratories were followed. Through the analyses carried out, it was possible to verify the need for treatment of the water sources in the study, since at almost all the points analyzed, the water sources proved to be unfit for consumption. In the end, it was found that both water sources could undergo the same treatment process, which led to the suggestion of the ideal method using social technologies, the effectiveness of which was verified.

**Keywords:** water treatment; social technology; low cost.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Processo de coagulação e floculação de partículas em águas.....	17
<b>Figura 2</b> – Processo de coagulação e floculação de partículas em águas.....	18
<b>Figura 3</b> – Esquemática de filtro com materiais granulares.....	19
<b>Figura 4</b> – Desenho esquemático de uma tecnologia da Dupla Filtração.....	20
<b>Figura 5</b> – Rio Riachão, local onde foi coletada a amostra para a análise .....	31
<b>Figura 6</b> – Cacimba onde foi coletado a amostra para a análise .....	32
<b>Figura 7</b> – Phmetro digital, modelo utilizado na análise .....	33
<b>Figura 8</b> – Turbidímetro digital, modelo utilizado na análise .....	33
<b>Figura 9</b> – Colorímetro digital, modelo utilizado na análise .....	34
<b>Figura 10</b> – Modelo de floculador utilizado no Jar-Test .....	34
<b>Figura 11</b> – Método proposto para tratamento das fontes das águas.....	38
<b>Figura 12</b> – Amostras contendo coagulante aniônico Polyfloc AP1100P coagulante catiônico Polyfloc CP1154.....	44
<b>Figura 13</b> – Amostras com o coagulante sulfato de ferro.....	44
<b>Figura 14</b> – Amostras com o coagulante sulfato de ferro e o coagulante aniônico Polyfloc AP1100P.....	45
<b>Figura 15</b> – Amostras com o coagulante sulfato de alumínio .....	46
<b>Figura 16</b> – Amostras com o coagulante sulfato de alumínio e o coagulante aniônico Polyfloc AP1100P.....	46
<b>Figura 17</b> – Amostras com ácido clorídrico 20%.....	47
<b>Figura 18</b> – Amostras com pH 1 e o coagulante aniônico Polyfloc AP1100P .....	47
<b>Figura 19</b> – Amostras com hidróxido de sódio a 3%.....	48
<b>Figura 20</b> – Amostras com pH 12 e o coagulante aniônico Polyfloc AP1100P .....	48
<b>Figura 21</b> – Filtro montado utilizando camada de carvão ativado .....	51
<b>Figura 22</b> – Amostra da água do rio antes e depois após filtração com camada de carvão ativado .....	52
<b>Figura 23</b> – Amostra da água da cacimba antes e depois após filtração com camada de carvão ativado .....	53
<b>Figura 24</b> – Filtro sem o uso da camada de carvão ativado.....	54
<b>Figura 25</b> – Água do rio tratada utilizando filtro sem carvão ativado.....	54
<b>Figura 26</b> – Água da cacimba tratada utilizando filtro sem carvão ativado .....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETAs	Estações de Tratamento de Água
ITPS	Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe
ONU	Organização das Nações Unidas
PH	Potencial Hidrogeniônico
STABC	Sistemas de Tratamento de Água de Baixo Custo
SCIELO	Scientific Electronic Library Online
THMs	Trihalometanos
TSBC	Tecnologias Sociais de Baixo Custo
UV	Ultravioleta

## **LISTA DE TABELAS**

**Tabela 1** - Comparação entre os resultados obtidos e a resolução do CONAMA nº 357/05...59

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>14</b>
2.2	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
3.1	<b>Sistemas convencionais de tratamento de água .....</b>	<b>17</b>
3.2	<b>Tecnologias sociais de baixo custo .....</b>	<b>24</b>
3.3	<b>Sistemas de tratamento de água de baixo custo.....</b>	<b>24</b>
3.3.1	<b>Filtração Lenta de Areia .....</b>	<b>26</b>
3.4	<b>Critérios para a qualidade da água de acordo com a legislação brasileira.....</b>	<b>26</b>
3.5	<b>Caracterização físico-química .....</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
5.1	<b>Potencial Hidrogeniônico (pH) .....</b>	<b>41</b>
5.2	<b>Turbidez.....</b>	<b>42</b>
5.3	<b>Jar-Test .....</b>	<b>43</b>
5.4	<b>Análises de microrganismos presentes.....</b>	<b>49</b>
5.5	<b>Filtração em Múltiplas Etapas .....</b>	<b>50</b>
5.5.1	<b>Filtro utilizando carvão ativado.....</b>	<b>50</b>
5.5.2	<b>Filtro sem uso do carvão ativado.....</b>	<b>53</b>
5.6	<b>Enquadramento dos corpos hídricos baseado na legislação brasileira .....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, tem ocorrido um notável avanço na ampliação do acesso à água potável, beneficiando mais de dois bilhões de pessoas em todo o mundo. Esse progresso é motivo de comemoração, pois o acesso à água limpa e segura é fundamental para a sobrevivência, saúde e bem-estar de comunidades ao redor do globo. No entanto, apesar dessas conquistas, ainda há uma alarmante disparidade: aproximadamente um quarto da população mundial continua sendo marginalizada e privada desse direito básico e essencial. (ONU, 2022).

A questão do acesso à água potável é uma preocupação global que exige uma reflexão profunda sobre as causas dessa desigualdade persistente. Os desafios variam de acordo com as diferentes regiões do mundo, mas envolvem questões como infraestrutura inadequada, escassez de recursos hídricos, desigualdades socioeconômicas e instabilidade política. (ZIEGLER, 2018). Essas adversidades muitas vezes afetam mais severamente as comunidades carentes, rurais e marginalizadas, exacerbando ainda mais a desigualdade no acesso à água potável.

A falta de água potável tem implicações graves para a saúde pública, com doenças relacionadas à água continuando a ser uma causa significativa de morbidade e mortalidade em muitas partes do mundo. A ausência de água limpa não apenas compromete a saúde das pessoas, mas também impacta negativamente a produtividade econômica, o desenvolvimento sustentável e a capacidade das comunidades de se adaptarem às mudanças climáticas. (CETESB, 2023).

Segundo Botero (2009), é importante ressaltar também o processo convencional de tratamento de água, o qual está amplamente consolidado no Brasil, é resultado de décadas de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e aprimoramento contínuo. Com o objetivo de garantir água potável de qualidade e segura para a população, algumas operações unitárias foram cuidadosamente projetadas para remover impurezas, partículas e microrganismos presentes na água bruta, tornando-a própria para consumo humano e uso industrial.

O surgimento desses processos remonta ao final do século XIX e início do século XX, quando as primeiras preocupações quanto à qualidade da água para consumo humano foram levantadas. A urbanização e o crescimento populacional destacaram a necessidade de desenvolver técnicas eficientes de tratamento para assegurar água limpa e segura para a saúde pública (SILVA, 1998). Apesar do desenvolvimento dessas técnicas de tratamento de água, essas abordagens não se tornaram prontamente acessíveis para as populações mais remotas, como aquelas que habitam zonas rurais. Isso deu origem à necessidade de adotar tecnologias mais acessíveis, como as tecnologias sociais nessas áreas.

As tecnologias sociais emergem como um poderoso meio de abordar desafios complexos da sociedade contemporânea, concentrando-se no desenvolvimento de soluções criativas e acessíveis para melhorar a qualidade de vida das comunidades. Em sua essência, as tecnologias sociais representam abordagens inovadoras e sustentáveis, concebidas para atender às necessidades específicas de grupos vulneráveis e promover mudanças sociais positivas. (DAGNINO, 2009). Uma área de aplicação crucial para essas abordagens é o tratamento de água, onde a garantia de acesso a água potável limpa se torna um imperativo para a saúde pública e o bem-estar geral.

Batista (2021), identifica em seu estudo que no âmbito do tratamento de água, as tecnologias sociais desempenham um papel transformador. Elas abordam as barreiras que muitas vezes impedem o acesso universal à água limpa, principalmente em comunidades remotas ou de baixa renda. Essas soluções se destacam por sua simplicidade e eficácia, variando desde métodos de filtração de baixo custo até processos de desinfecção inovadores, como a desinfecção solar ou a cloração caseira. A essência da tecnologia social reside não apenas na eficiência técnica, mas também na participação ativa das próprias comunidades na implementação e manutenção dessas soluções.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo descrever sobre o desenvolvimento de soluções sustentáveis e os métodos de tratamento de água em comunidades rurais por meio de tecnologias sociais. O estudo foi conduzido por meio de uma pesquisa qualitativa, exploratória, baseada em revisão de literatura e estudo de campo realizada no município de Viçosa Alagoas.

Viçosa está localizada na zona da mata alagoana distante 92 km da capital Maceió. Segundo o censo do IBGE em 2010 a Cidade de Viçosa em Alagoas possui 25.479 habitantes e uma área de 343 km<sup>2</sup> apresentando um bioma de mata atlântica e o rio Riachão que irá fazer parte desse estudo, possuindo a base do seu PIB advindo da pecuária e serviços, sendo uma cidade que retomou o crescimento nos últimos anos traz consigo além do desenvolvimento econômico problemas de ordem ambiental que vão contra os princípios do crescimento sustentável preconizado hoje em dia.

Como forma de atingir os objetivos propostos para este estudo, realizou-se uma revisão de literatura sobre o desenvolvimento de soluções sustentáveis e os métodos de tratamento de água em comunidades rurais por meio de tecnologias sociais, esta revisão foi desenvolvida por meio da busca de artigos em periódicos nacionais especializados, na língua portuguesa, disponíveis nas seguintes bases de dados: Periódicos CAPES; Biblioteca do departamento de Química e o Scientific Electronic Library Online (SciELO), utilizando-se os descritores, “Soluções Sustentáveis”, “Tratamento de Água”, “Comunidades Rurais” e “Tecnologias

Sociais”, por meio do formulário próprio da base de dados, com as combinações do booleano “AND” e “OR” harmonizando conforme as etapas da base de dados: “Soluções Sustentáveis”, AND “Tratamento de Água”, AND “ Comunidades Rurais” OR “Tecnologias Sociais”.

Os critérios de inclusão aplicados para composição da amostra foram filtros utilizados como: artigos no idioma em português com cenário nas soluções sustentáveis e os métodos de tratamento de água à questão norteadora do estudo: qual a importância do desenvolvimento de soluções sustentáveis e os métodos de tratamento de água em comunidades rurais por meio de tecnologias sociais. Quanto aos critérios de exclusão foram: artigos duplicados e indisponíveis na íntegra.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Desenvolver um sistema de tratamento de água utilizando tecnologias apropriadas para uma comunidade em área rural com dificuldade de acesso à água potável fornecida pela rede de abastecimento público em Viçosa, Alagoas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar os parâmetros de qualidade, tais como cor, pH, turbidez e presença de coliformes fecais, em duas fontes de água de uma comunidade rural localizada na cidade de Viçosa, Alagoas;
- Avaliar o método mais indicado para o tratamento de cada fonte de água avaliada no estudo;
- Verificar a eficácia do método empregado na garantia do fornecimento seguro de água para consumo humano.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os recursos hídricos representam um componente vital e complexo do nosso ecossistema, desempenhando um papel crucial na manutenção da vida em todas as suas formas. Compreendendo tanto as águas superficiais quanto as águas subterrâneas, esses recursos essenciais sustentam ecossistemas aquáticos e terrestres, bem como são fundamentais para as atividades humanas e o desenvolvimento socioeconômico. (TUNDISI, 2014).

Em complemento a isso, os recursos hídricos exercem influência direta sobre as condições climáticas e os padrões de precipitação, contribuindo para a estabilidade dos ecossistemas e a regulação do clima. A presença de águas superficiais e subterrâneas também desempenha um papel vital na promoção da biodiversidade, proporcionando habitats únicos para uma variedade de espécies aquáticas e terrestres. Como fonte essencial de água potável, esses recursos são a base para as atividades agrícolas, industriais e domésticas, sustentando a prosperidade econômica e o bem-estar das comunidades. (SETTI, 2001).

Ainda de acordo com Setti (2001), as águas superficiais, componentes essenciais do ciclo hidrológico da Terra, desempenham um papel de extrema relevância nos sistemas naturais e no funcionamento dos ecossistemas aquáticos. Compreendendo uma variedade de corpos d'água, como rios, lagos, lagoas, reservatórios e oceanos costeiros, esses sistemas desempenham funções complexas que vão desde a regulação térmica até a manutenção da biodiversidade.

A dinâmica das águas superficiais é influenciada por múltiplos fatores, incluindo o ciclo de chuva, a topografia da paisagem e as características do solo. A água da chuva que não é absorvida pelo solo forma os fluxos de água que se tornam os rios e córregos, enquanto as depressões naturais da terra podem dar origem a lagos e lagoas. A geologia local também desempenha um papel fundamental na formação e manutenção desses corpos d'água, influenciando a sua profundidade, tamanho e características químicas. (TUNDISI, 2014).

Além de fornecer habitat para uma rica diversidade de vida aquática, as águas superficiais desempenham um papel importante na dispersão de nutrientes e sedimentos. (ALMEIDA, 2007). Os rios, por exemplo, transportam nutrientes essenciais que enriquecem os solos das áreas pelas quais passam, aumentando a fertilidade e a produtividade agrícola. Da mesma forma, os sedimentos transportados pela água ajudam a moldar a topografia do terreno, criando paisagens variadas ao longo do tempo geológico. (MAHMUT, 2023).

Somado a isso, tem seu valor ecológico, as águas superficiais têm uma importância significativa para as atividades humanas. Elas fornecem água potável para comunidades, sustentam a agricultura e a indústria e são utilizadas para recreação e turismo. Além disso, as

águas superficiais desempenham um papel crucial na geração de energia hidrelétrica, contribuindo para a matriz energética global. (FERNANDES, 2021).

Segundo Fabris (2012), a influência das águas superficiais também se estende ao clima global. Grandes massas de água, como os oceanos, atuam como reservatórios térmicos, armazenando calor do sol e liberando-o gradualmente na atmosfera. Esse processo ajuda a regular as temperaturas regionais e globais, exercendo uma influência significativa nos padrões climáticos e nas correntes de vento. Além disso, a evaporação da água da superfície dos oceanos é um componente crucial do ciclo da água, contribuindo para a formação de nuvens e a ocorrência de precipitação.

As águas subterrâneas, um componente oculto e essencial do ciclo hidrológico, desempenham um papel de extrema importância nos sistemas naturais e no suporte à vida. Resultantes da infiltração da água da chuva no solo, essas águas ocupam os espaços vazios nas camadas subsuperficiais, formando aquíferos que armazenam quantidades significativas de água doce. Essa reserva subterrânea desempenha funções vitais que vão desde o fornecimento de água potável até a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas. (WHATELY, 2016).

Os aquíferos, que abrigam as águas subterrâneas, podem ser classificados em duas categorias principais: confinados e não confinados. Aquíferos confinados estão envoltos por camadas impermeáveis que limitam a recarga e a descarga da água, enquanto aquíferos não confinados têm uma interface permeável com a superfície e permitem trocas mais diretas com a água da superfície. Essa estrutura complexa contribui para a capacidade de armazenamento e recarga das águas subterrâneas. (JIÃO, 1999).

De acordo com Hirata (2019), as águas subterrâneas desempenham um papel fundamental na manutenção dos fluxos de água em rios, lagos e outras águas superficiais. Durante períodos de estiagem, os aquíferos liberam água para os corpos d'água, sustentando seu fluxo e evitando secas extremas. Essa interação entre águas subterrâneas e superficiais é conhecida como interação água-solo e desempenha um papel importante na regulação dos ecossistemas aquáticos.

Além disso, as águas subterrâneas são uma fonte crucial de água potável para muitas comunidades em todo o mundo. Devido à sua proteção natural contra poluentes e variações climáticas, as águas subterrâneas geralmente são consideradas mais estáveis e menos sujeitas a contaminação do que as águas superficiais. (HIRATA, 2019). No entanto, é essencial adotar práticas de monitoramento rigorosas e sistemas adequados de tratamento para garantir a qualidade e a segurança da água subterrânea para consumo humano.

### 3.1 Sistemas convencionais de tratamento de água

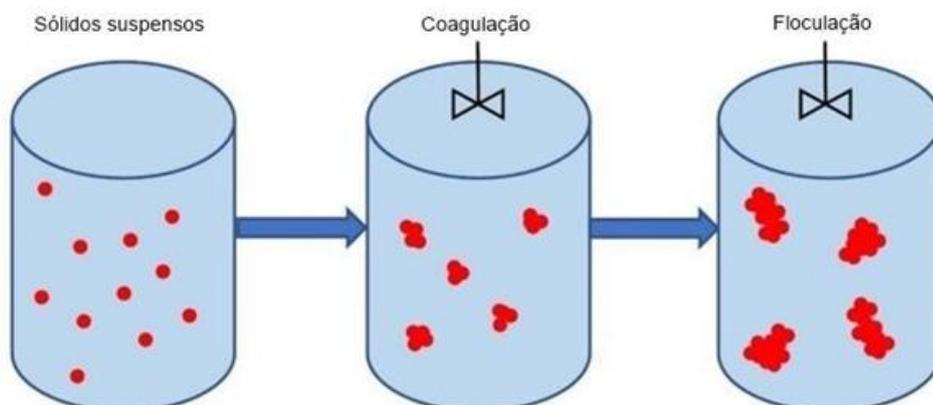
Os sistemas convencionais de tratamento de água desempenham um papel essencial na purificação da água bruta coletada de fontes naturais, como rios, lagos ou aquíferos, tornando-a adequada para consumo humano. Esses sistemas são projetados para remover impurezas, patógenos, contaminantes químicos e partículas sólidas da água, garantindo sua qualidade e segurança. (BOTERO, 2019).

A coagulação é o primeiro estágio do processo e envolve a adição de produtos químicos coagulantes, como o sulfato de alumínio ou o cloreto férrico, à água bruta. Esses coagulantes desempenham um papel crítico na neutralização das cargas elétricas das partículas suspensas na água. A água natural frequentemente contém partículas carregadas eletricamente devido a íons presentes na solução e à superfície das partículas. (JESSIE, 2020).

A etapa subsequente, conhecida como floculação, é uma extensão da coagulação. Durante a floculação, a água é agitada suavemente, promovendo a colisão e aderência das partículas coaguladas. Isso resulta na formação de flocos maiores e mais densos, tornando-os mais facilmente removíveis nas etapas subsequentes do tratamento, como a sedimentação e a filtração. O processo de floculação é controlado cuidadosamente para garantir que os flocos atinjam o tamanho e a densidade ideais para facilitar sua separação da água límpida. (LEGNER, 2017).

Em resumo, a coagulação e a floculação são processos essenciais que se baseiam em princípios físico-químicos para transformar a água bruta carregada de partículas suspensas em uma suspensão de flocos. Esses flocos são uma forma mais concentrada e facilmente tratável das impurezas presentes na água bruta, preparando-a para as etapas subsequentes de purificação, como mostra a figura 1.

**Figura 1** – Processo de coagulação e floculação de partículas em águas



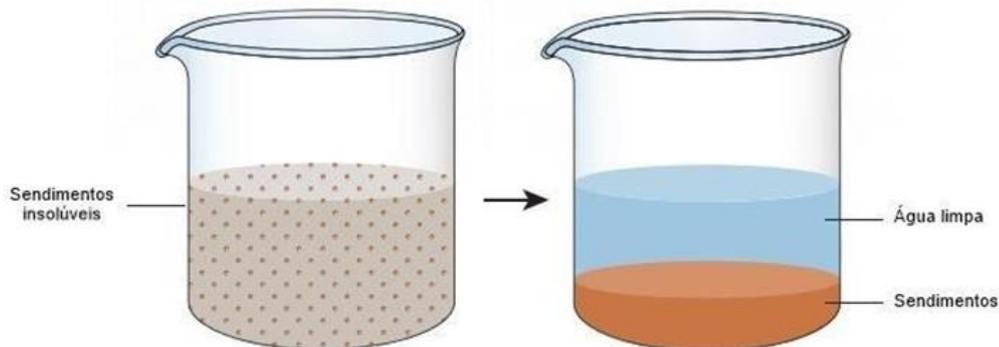
**Fonte:** Adaptado de Enduramaxx, 2024.

De acordo com Carrisso (2004), no processo de sedimentação a água que contém flocos suspensos devido às etapas anteriores, é conduzida para um tanque de sedimentação (figura 2). Neste ambiente, a água flui lentamente, permitindo que os flocos, que possuem maior densidade do que a água, se depositem gravitacionalmente no fundo do tanque. Esse fenômeno está em conformidade com a Lei de Stokes, que descreve a velocidade de sedimentação de uma partícula em um fluido. De acordo com essa lei, a velocidade de sedimentação é diretamente proporcional ao raio da partícula e à diferença de densidade entre a partícula e o fluido circundante. Portanto, os flocos mais pesados tendem a sedimentar mais rapidamente.

Durante a sedimentação, os flocos continuam a se agrupar e formar um lodo mais compacto e concentrado no fundo do tanque. Esse lodo é posteriormente removido para tratamento adicional ou descarte adequado, dependendo das regulamentações ambientais e das práticas da estação de tratamento de água. Na parte superior do tanque de sedimentação, a água clarificada, agora livre da maioria das impurezas sólidas, é cuidadosamente retirada. Ela é então encaminhada para as etapas subsequentes do tratamento, como a filtração e a desinfecção, para garantir a completa purificação antes de ser distribuída para o consumo humano. (CARVALHO, 1994).

Ainda de acordo com Carvalho (1994), a sedimentação é um processo crucial que se baseia em princípios físicos, especialmente a gravidade, para separar eficazmente os flocos de impurezas da água, contribuindo significativamente para a qualidade e a segurança da água potável produzida pelos sistemas convencionais de tratamento de água. É importante notar que o dimensionamento e o projeto adequados dos tanques de sedimentação são fundamentais para garantir um desempenho eficiente deste estágio do processo de tratamento.

**Figura 2** – Processo de coagulação e floculação de partículas em águas



**Fonte:** BrainKart, 2023.

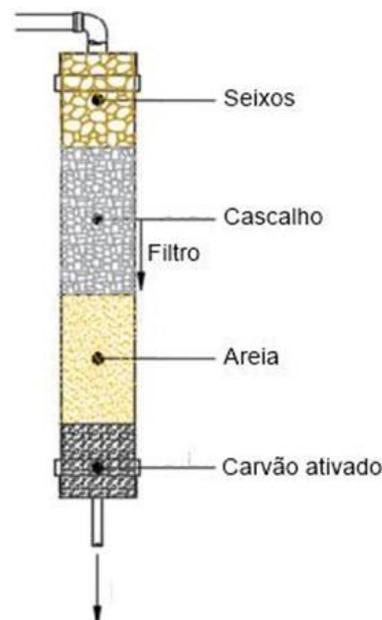
Sendo assim, após a etapa de sedimentação, a água clarificada é encaminhada para um sistema de filtração (figura 3), composto por camadas de materiais granulares, como cascalho, areia e carvão ativado. Cada uma dessas camadas desempenha um papel fundamental na remoção de partículas minúsculas e substâncias dissolvidas, contribuindo para a melhoria adicional da qualidade da água.

A camada de pedras ou cascalho é a primeira barreira de filtração. O cascalho atua como suporte para a camada de areia e contribui para a filtração, embora em menor grau do que a areia. Ele ajuda a distribuir uniformemente o fluxo de água e a evitar o entupimento da camada de areia. (OLIVEIRA, 2022).

Abaixo da camada de cascalho, geralmente há uma camada de areia. A areia possui uma estrutura porosa que retém partículas sólidas suspensas na água. Isso ocorre através de processos de peneiração e adsorção física. As partículas maiores são retidas na superfície da areia, enquanto as partículas menores penetram um pouco mais na camada antes de serem retidas. À medida que a água passa pela camada de areia, ocorre um processo de filtração mecânica, onde as partículas ficam retidas na matriz porosa da areia. (TONETTI, 2012).

A camada de carvão ativado é a última etapa do processo de filtração. O carvão ativado é um material poroso com uma grande área superficial e propriedades adsorventes. Ele é altamente eficaz na remoção de substâncias orgânicas dissolvidas, gostos e odores desagradáveis da água. O carvão ativado funciona adsorvendo moléculas orgânicas na superfície de seus poros, prendendo-as e removendo-as da água. (FRANÇA, 2019).

**Figura 3** – Esquemática de filtro com materiais granulares

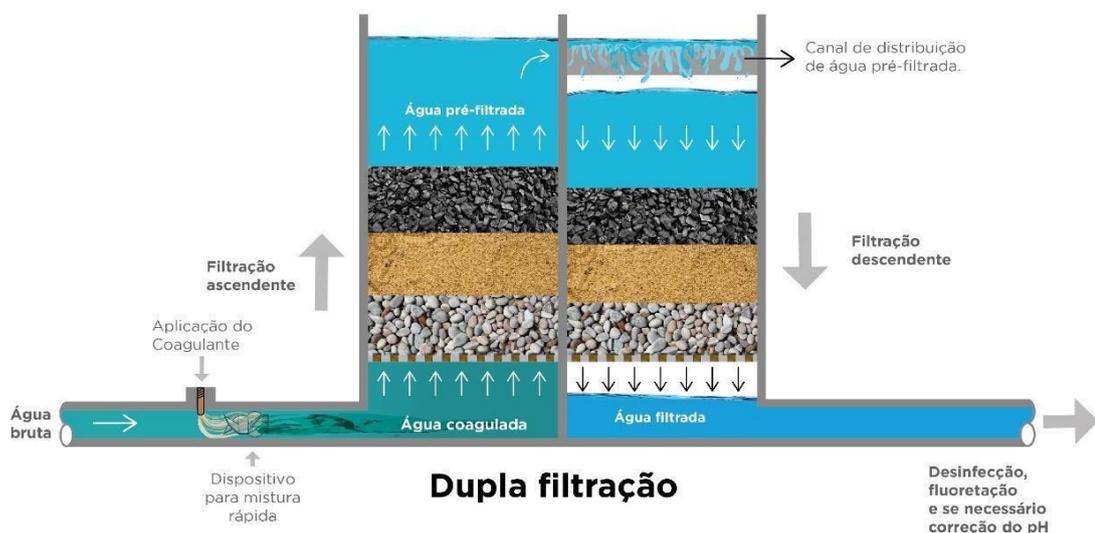


**Fonte:** Adaptado de Teixeira, 2019.

Segundo Barbosa (2014), essas camadas de filtração em série atuam sinergicamente para remover partículas sólidas, como sedimentos, microrganismos e substâncias químicas dissolvidas, melhorando significativamente a qualidade da água. Além da filtração mecânica proporcionada pela areia, a adsorção química realizada pelo carvão ativado é especialmente eficaz na remoção de contaminantes orgânicos.

A técnica de dupla filtração é uma abordagem avançada para garantir a máxima remoção de impurezas da água tratada. Ela envolve o uso de dois conjuntos de filtros, um em série após o outro, para melhorar a eficiência da filtração. (CIRNE, 2019). Albuquerque (2019) diz que nesse sistema, a água flui de cima para baixo através das camadas de filtração, começando com a camada de areia grossa e cascalho, seguida pela camada de areia fina e, finalmente, a camada de carvão ativado. Esse sistema é eficaz na remoção de partículas sólidas e na adsorção de compostos orgânicos. Silva Amaral (2018) diz em seu estudo que na filtração ascendente, a água é direcionada de baixo para cima através das camadas de filtração, começando com o carvão ativado, seguido pela camada de areia fina e, finalmente, a camada de areia grossa e cascalho. Esse sistema é projetado para remover partículas mais finas e pode ser eficaz na remoção de compostos químicos e microrganismos.

**Figura 4** – Desenho esquemático de uma tecnologia da Dupla Filtração



**Fonte:** Scalize, 2017.

A dupla filtração é adotada quando se busca um nível excepcional de pureza da água tratada, especialmente em situações em que a água de entrada contém uma ampla variedade de impurezas. A combinação de sistemas descendentes e ascendentes maximiza a eficiência da remoção, garantindo que a água que sai do processo de filtração seja de alta qualidade e adequada para o consumo humano. (CIRNE, 2019).

É importante destacar que a eficácia da filtração depende da manutenção adequada das camadas de filtração e do monitoramento constante para garantir que essas camadas não fiquem saturadas e continuem a funcionar eficazmente. A filtração é uma etapa crítica no tratamento de água, que prepara a água para a etapa final de desinfecção, garantindo que a água seja segura e de alta qualidade antes de ser distribuída para o consumo humano.

Posterior à etapa de filtração, a água tratada pode conter micro-organismos patogênicos remanescentes que precisam ser eliminados para garantir que a água seja segura para o consumo humano. Meyer (1994), relata em seu estudo que a desinfecção é o processo pelo qual esses micro-organismos, incluindo bactérias, vírus e protozoários, são inativados ou mortos. O desinfetante mais amplamente utilizado no tratamento de água é o cloro, devido à sua eficácia comprovada, custo-benefício e capacidade de manter a água desinfetada ao longo do sistema de distribuição.

O processo de desinfecção com cloro é baseado na química da oxidação. O cloro é introduzido na água tratada na forma de hipoclorito de sódio (solução de água sanitária) ou gás cloro. Em contato com a água, o cloro forma ácido hipocloroso (HClO) e íons hipoclorito (ClO<sup>-</sup>), que são os agentes ativos de desinfecção. (PIANOWSKI, 2002).

O ácido hipocloroso é altamente eficaz na inativação de micro-organismos. Ele penetra nas membranas celulares dos patógenos e interfere em processos metabólicos vitais, como a respiração celular e a replicação do DNA, levando à morte desses organismos. Os íons hipoclorito também desempenham um papel na desinfecção, embora em menor grau que o ácido hipocloroso. (SANCHES, 2003).

No estudo de Nascimento (2017) ele relata que a eficácia da desinfecção com cloro depende de vários fatores, incluindo a concentração de cloro adicionada, o tempo de contato, o pH da água e a presença de materiais orgânicos. O pH da água afeta o equilíbrio entre o ácido hipocloroso (HClO) e o íon hipoclorito (ClO<sup>-</sup>), sendo que o HClO é mais eficaz na desinfecção e predomina em pHs mais baixos. A presença de matéria orgânica, como compostos orgânicos naturais ou produtos de degradação de matéria orgânica, pode reagir com o cloro livre, formando subprodutos de desinfecção indesejados, como trihalometanos (THMs). Portanto, é importante monitorar e controlar esses parâmetros para garantir a eficácia da desinfecção e minimizar a formação de subprodutos indesejados.

Além do cloro, outros desinfetantes, como o ozônio, o dióxido de cloro e o peróxido de hidrogênio, também são utilizados em sistemas de tratamento de água, dependendo das necessidades específicas e das regulamentações locais. Cada um desses desinfetantes possui

mecanismos de ação únicos e vantagens específicas, mas o cloro ainda é amplamente utilizado devido à sua confiabilidade e eficácia comprovadas. (FURTADO, 2011).

Dessa forma, a desinfecção da água é uma etapa crítica no tratamento de água potável que utiliza produtos químicos como o cloro para inativar ou matar micro-organismos patogênicos, garantindo que a água seja segura para o consumo humano. O controle preciso das condições de desinfecção e a monitorização rigorosa são fundamentais para garantir a eficácia e a segurança desse processo. (SAKAI, 2017).

Segundo Kuhnen (2017), o flúor é um elemento químico que desempenha um papel essencial na prevenção da cárie dentária, uma das doenças bucais mais comuns e prejudiciais em todo o mundo. A adição controlada de flúor à água potável, conhecida como fluoretação da água, é uma estratégia de saúde pública amplamente reconhecida e implementada em muitos países. A ação do flúor na prevenção da cárie dentária está relacionada a vários mecanismos, o flúor é incorporado na estrutura do esmalte dentário durante o desenvolvimento dos dentes. Essa incorporação forma uma camada mais resistente de esmalte, tornando os dentes mais resistentes à desmineralização causada pelos ácidos produzidos por bactérias na boca. (MONTEIRO, 2015).

O flúor inibe a atividade das bactérias presentes na boca, especialmente aquelas envolvidas na produção de ácidos que desmineralizam o esmalte dentário. Isso reduz a quantidade de ácido produzida e, portanto, diminui o risco de cáries. (MONTEIRO, 2015). Em áreas onde o esmalte dentário está levemente desmineralizado devido à exposição ácida, o flúor na saliva ajuda na remineralização dessas áreas, fortalecendo os dentes. (BRAGA, 2009).

De acordo com Loivos (2012), a fluoretação da água é uma prática altamente eficaz e segura quando implementada dentro das concentrações recomendadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pelas autoridades de saúde locais. A concentração ideal de flúor na água é geralmente de cerca de 0,7 a 1,2 partes por milhão (ppm), o que fornece os benefícios protetores sem causar efeitos adversos significativos.

É importante destacar que a fluoretação da água é uma abordagem de saúde pública que beneficia toda a comunidade, independentemente da idade, status socioeconômico ou acesso aos cuidados odontológicos. Isso é particularmente importante para crianças em famílias de baixa renda, que podem não ter acesso regular a serviços odontológicos. No entanto, é fundamental monitorar continuamente os níveis de flúor na água para garantir que permaneçam dentro das faixas recomendadas, pois a ingestão excessiva de flúor pode causar fluorose dental, uma condição que afeta a estética dos dentes. (BRITO, 2020).

Por outro lado, a adição de flúor à água potável desempenha um papel crucial na prevenção da cárie dentária, protegendo a saúde bucal da população. Essa estratégia baseia-se em princípios científicos sólidos e é amplamente apoiada por organizações de saúde em todo o mundo como uma medida eficaz de saúde pública. (FERREIRA, 2015).

Ajustar o pH da água em sistemas de tratamento desempenha um papel crítico, tanto do ponto de vista químico quanto do ponto de vista de infraestrutura de distribuição de água. (ANDRADE, 2019), e é um aspecto essencial para garantir a qualidade da água potável fornecida às residências.

Do ponto de vista químico, o pH da água é uma medida que reflete a concentração de íons hidrogênio ( $H^+$ ) em solução. Em uma escala de pH de 0 a 14, uma solução ácida tem um pH menor que 7, enquanto uma solução alcalina ou básica tem um pH maior que 7. Derisio (2016) relata em seu livro que a água bruta coletada de fontes naturais, como rios e lagos, pode ter um pH variável devido a fatores geológicos e ambientais. Ajustar o pH da água para um valor específico, geralmente próximo a 7 (considerado neutro), é crucial para várias razões científicas e práticas.

Água com um pH muito baixo (ácida) ou muito alto (alcalina) pode ser corrosiva para as tubulações de distribuição de água. A corrosão pode liberar metais prejudiciais, como chumbo, ferro e cobre, na água, comprometendo sua segurança. (SILVA DA FONSECA, 2007). Por outro lado, água alcalina pode causar incrustações nas tubulações, reduzindo o fluxo de água. O pH da água também pode afetar os tratamentos subsequentes, como a desinfecção. Valores de pH inadequados podem reduzir a eficácia dos desinfetantes, como o cloro, na eliminação de microrganismos patogênicos. (LAVOR, 2019).

O pH da água pode influenciar a compatibilidade dos materiais das tubulações e dos equipamentos da estação de tratamento. Valores extremos de pH podem causar deterioração de materiais e componentes. (COSTA, 1998). Com isso, para ajustar o pH da água, produtos químicos alcalinos, como hidróxido de sódio (soda cáustica) ou cal, podem ser adicionados de forma controlada. Esses produtos químicos reagem com os íons  $H^+$  na água, aumentando o pH e tornando-a menos corrosiva.

Dessa forma, o ajuste cuidadoso do pH da água é um aspecto crítico do tratamento de água, visando a compatibilidade com as tubulações, a proteção contra a corrosão e a manutenção da qualidade da água ao longo de seu transporte até as residências, de acordo com o estudo de (Gauto, 2013). É uma abordagem fundamentada em princípios químicos que contribui para a entrega segura e eficiente de água potável à população.

### **3.2 Tecnologias sociais de baixo custo**

As Tecnologias Sociais de Baixo Custo (TSBC) representam abordagens inovadoras e economicamente acessíveis que visam resolver desafios sociais e ambientais, como o tratamento de água em comunidades de baixa renda. De acordo com Souza (2020), quando aplicadas ao tratamento de água, essas tecnologias têm o potencial de melhorar significativamente o acesso à água potável de qualidade, promovendo simultaneamente o desenvolvimento sustentável e a inclusão social.

Uma característica essencial das TSBC é seu custo relativamente baixo em comparação com tecnologias convencionais. Elas são projetadas para serem acessíveis às comunidades com recursos financeiros limitados, tornando possível o tratamento de água em áreas onde soluções mais caras seriam inviáveis. (DAGNINO, 2014). As TSBC geralmente são desenvolvidas com base em uma compreensão profunda das necessidades e contextos locais. Isso implica considerar fatores como fontes de água disponíveis, padrões de uso e preferências culturais para garantir que a tecnologia seja relevante e aceitável para a comunidade. (DAGNINO, 2014).

Para serem eficazes em comunidades que podem ter recursos limitados de capacitação técnica, as TSBC são frequentemente projetadas com simplicidade em mente. A operação e manutenção devem ser acessíveis à população local, muitas vezes com treinamento mínimo. (RAMOS, 2017).

Além de serem acessíveis, as TSBC frequentemente se concentram em minimizar o impacto ambiental. Isso pode envolver o uso eficiente de recursos, a redução de produtos químicos ou a reutilização de materiais disponíveis localmente. (ALEIXO DE OLIVEIRA, 2012). As TSBC são implementadas com um foco na participação ativa da comunidade. Isso envolve a sensibilização sobre a importância do tratamento de água, a capacitação das pessoas locais para operar as tecnologias e a promoção de um senso de propriedade e responsabilidade compartilhada. (MELLO, 2009).

### **3.3 Sistemas de tratamento de água de baixo custo**

Os Sistemas de Tratamento de Água de Baixo Custo (STABC) são um conjunto de tecnologias e processos que visam purificar a água de forma acessível, especialmente em áreas onde os recursos financeiros são limitados. Esses sistemas se baseiam em princípios científicos para remover impurezas da água, tornando-a segura para consumo humano.

O processo de coagulação envolve a adição de coagulantes, como sulfato de alumínio ou cloreto férrico, à água bruta. Esses coagulantes neutralizam as cargas elétricas das partículas suspensas na água, fazendo com que elas se aglomerem. (FRANCO, 2009). Em seguida, ocorre

a floculação, onde a água é agitada lentamente para formar flocos maiores a partir das partículas coaguladas. Esse processo facilita a remoção subsequente das partículas. (VUITIK, 2010).

Brinck (2009), relata em seu estudo que a filtração é um passo crucial no tratamento de água. Os STABC frequentemente utilizam camadas de materiais filtrantes, como areia, cascalho e carvão ativado, para remover partículas suspensas, sedimentos e até mesmo microrganismos. As camadas atuam como barreiras físicas que retêm as impurezas, tornando a água mais clara e segura.

Sendo assim, a desinfecção é uma prática essencial para erradicar microrganismos patogênicos da água, sendo a cloração e a exposição à radiação ultravioleta (UV) métodos consagrados nesse processo. Na cloração, o cloro é cuidadosamente adicionado à água, desencadeando um processo que resulta na inativação de bactérias, vírus e protozoários, agindo de maneira a comprometer suas membranas celulares e processos metabólicos vitais. Já a exposição à radiação UV constitui uma abordagem inovadora, na qual a luz ultravioleta penetra nos microrganismos, provocando danos ao seu material genético e impedindo sua capacidade de reprodução. A aplicação dessas técnicas não apenas garante a segurança microbiológica da água, prevenindo a disseminação de doenças transmitidas pela água, mas também promove a saúde pública em escala global, contribuindo para o amplo acesso a água potável e segura. (SOUZA, 2006).

Alguns STABC inovadores incorporam materiais de origem biológica, como cascas de coco ou carvão ativado a partir de resíduos de madeira, para a adsorção eficiente de impurezas orgânicas e contaminantes químicos na água. Esses materiais, devido à sua estrutura porosa, apresentam uma notável capacidade de adsorção, proporcionando superfícies específicas elevadas para a retenção de moléculas indesejadas. Essa abordagem não apenas destaca-se por sua eficácia na purificação da água, mas também oferece uma solução sustentável e acessível, aproveitando recursos naturais abundantes. (SANTOS, 2005).

Assim, a eletrocoagulação é um método inovador de tratamento de água que envolve a aplicação de corrente elétrica para gerar íons metálicos a partir de eletrodos. Esses íons promovem a coagulação e floculação de partículas, facilitando sua remoção e melhorando a qualidade da água. Destacando-se pela eficácia na remoção de diversos poluentes, como sólidos suspensos e metais pesados, a eletrocoagulação apresenta versatilidade e escalabilidade, sendo uma solução promissora para situações com água contaminada. (THEODORO, 2010).

### 3.3.1 Filtração Lenta de Areia

Ressalta-se que a filtração lenta de areia é um método de tratamento de água eficaz e de baixo custo, destaca-se por permitir que a água flua gradualmente através de uma camada de areia, eliminando partículas e microrganismos patogênicos. Essa abordagem simples e acessível é especialmente benéfica em comunidades rurais, onde recursos financeiros e tecnológicos são limitados. Além de sua eficiência na remoção de contaminantes, a filtração lenta de areia adapta-se às condições locais, oferecendo uma solução personalizada para as necessidades específicas de cada comunidade. (RODRIGUES, 2022).

Destaca-se a desinfecção solar no tratamento de água utiliza a luz solar direta, especialmente a radiação ultravioleta, para inativar microrganismos patogênicos na água, tornando-a segura para o consumo humano. Essa prática é notável pelo baixo custo associado, sendo particularmente relevante em regiões com recursos financeiros limitados. A simplicidade do processo, que dispensa investimentos significativos em infraestrutura, torna a desinfecção solar uma solução acessível e sustentável para melhorar a qualidade da água e garantir acesso à água potável em comunidades vulneráveis, ao mesmo tempo em que oferece uma abordagem personalizada para atender às necessidades específicas de cada localidade. (LOURENÇÃO, 2009).

## 3.4 Critérios para a qualidade da água de acordo com a legislação brasileira

A qualidade da água no Brasil é regida por uma complexa rede de regulamentos, normas e padrões que emanam de uma variedade de instituições governamentais e entidades regulatórias. A base legal que fundamenta essa regulamentação inclui a Constituição Federal de 1988, que atribui ao poder público a responsabilidade pela gestão dos recursos hídricos, e a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), que estabelece princípios e diretrizes para a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos no país. Além disso, a Lei nº 11.445/2007 instituiu diretrizes nacionais para o saneamento básico, incluindo o abastecimento de água potável.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é uma das principais instâncias responsáveis por definir e estabelecer padrões de qualidade da água no Brasil. Através de resoluções, o CONAMA estabelece os limites máximos permitidos para diversos parâmetros, tais como turbidez, cor, pH, concentrações de substâncias químicas e indicadores microbiológicos. Estes padrões são segmentados de acordo com diferentes usos da água, contemplando desde águas destinadas ao consumo humano até aquelas utilizadas em processos industriais e de irrigação.

Os parâmetros de qualidade da água compreendem um conjunto de variáveis físicas, químicas e biológicas que refletem a integridade e a adequação da água para diferentes finalidades. No contexto brasileiro, esses parâmetros são minuciosamente definidos e regulamentados por órgãos como o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o Ministério da Saúde e a Agência Nacional de Águas (ANA). A Resolução CONAMA nº 357/2005, por exemplo, delinea padrões para águas doces superficiais, águas subterrâneas e águas salinas, conferindo proteção aos ecossistemas aquáticos e à saúde pública. Tais padrões representam a espinha dorsal da gestão da qualidade da água no país.

A análise da qualidade da água destinada ao consumo humano abrange vários parâmetros essenciais para garantir sua segurança direta. A turbidez é monitorada para avaliar a presença de partículas em suspensão, enquanto a cor é examinada como indicador de impurezas orgânicas. O teor de cloro residual é fundamental para verificar a eficácia da desinfecção, e o pH desempenha um papel crucial na estabilidade química da água. A presença de coliformes fecais e *Escherichia coli* é rigorosamente controlada, servindo como indicadores de contaminação fecal e potenciais riscos à saúde humana. (PAULOS, 2008).

Para águas superficiais e subterrâneas, parâmetros como oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), concentrações de nitrogênio e fósforo total são criteriosamente monitorados com o intuito de avaliar a saúde dos ecossistemas aquáticos e a adequação da água para usos industriais e agrícolas.

Vale salientar que é de suma importância enfatizar que a Resolução CONAMA nº 357/2005, ao delinear distintos valores para os parâmetros de qualidade da água conforme sua classe e uso previsto, efetua uma abordagem profundamente fundamentada na necessidade de harmonizar a proteção do meio ambiente aquático com as demandas sociais e econômicas. Tal estratégia, embasada em princípios de gestão sustentável dos recursos hídricos, reflete o reconhecimento de que as águas brasileiras são recursos finitos e vitais, e sua utilização deve ser cuidadosamente regulamentada para evitar impactos prejudiciais.

Dessa forma, a Resolução CONAMA nº 357/2005 representa uma base sólida para a gestão responsável e sustentável dos recursos hídricos no Brasil, demonstrando um compromisso com a proteção ambiental, a saúde pública e o desenvolvimento socioeconômico equilibrado. Ela exemplifica a interseção entre a ciência, a legislação e a prática, sendo um instrumento essencial na busca pela conservação dos valiosos recursos aquáticos do país.

### 3.5 Caracterização físico-química

A coloração da água refere-se à presença de pigmentos, substâncias orgânicas dissolvidas ou sólidas em suspensão que conferem uma tonalidade específica à água. A determinação da cor da água é uma medida importante na análise da qualidade da água, uma vez que pode indicar a presença de substâncias orgânicas naturais, compostos químicos, sedimentos ou poluentes que afetam sua transparência e estética.

A cor da água é frequentemente medida em unidades de absorvância, onde um espectrofotômetro é utilizado para quantificar a capacidade da água de absorver luz em determinado comprimento de onda. A cor é geralmente expressa em unidades de absorvância de cor (UC), que podem ser convertidas em unidades de cor verdadeira (TCU), proporcionando uma indicação quantitativa da intensidade da coloração.

Diversos fatores podem contribuir para a coloração da água, incluindo a decomposição de matéria orgânica vegetal, a presença de taninos, a lixiviação de minerais, a atividade microbiana e a influência de poluentes industriais ou urbanos. A cor natural da água pode variar de tons amarelados a marrons, dependendo das fontes de origem e das condições ambientais.

A coloração da água, embora muitas vezes não represente um risco direto à saúde humana, pode ter implicações indiretas, como a presença de subprodutos de desinfecção, quando a água é tratada com produtos químicos como o cloro. Além disso, águas excessivamente coloridas podem dificultar a eficácia de processos de tratamento, como a desinfecção e a remoção de substâncias indesejáveis, tornando o tratamento mais complexo e dispendioso.

O pH da água é uma medida que quantifica a acidez ou alcalinidade de uma solução aquosa. Essa propriedade é determinada pela concentração de íons hidrogênio ( $H^+$ ) presentes na água, que influenciam diretamente suas características químicas e biológicas. A escala de pH varia de 0 a 14, sendo 7 considerado neutro, valores abaixo indicando acidez e valores acima indicando alcalinidade.

A manutenção do pH da água dentro de faixas específicas é fundamental em diversas aplicações, incluindo o abastecimento público de água, processos industriais, agricultura, aquicultura e ecossistemas aquáticos. Isso ocorre porque muitas reações químicas e processos biológicos são sensíveis às variações de pH, e valores inadequados podem afetar negativamente a qualidade da água e a saúde dos organismos aquáticos.

A variação do pH da água também pode ser um desafio no cotidiano, principalmente em contextos relacionados ao abastecimento de água e uso doméstico. Água com pH ácido, por exemplo, pode causar corrosão em encanamentos, prejudicando a infraestrutura de distribuição

de água em residências e edifícios. Isso não apenas representa um problema financeiro de manutenção, mas também pode afetar a qualidade da água consumida. Por outro lado, água alcalina pode deixar resíduos e incrustações em equipamentos, como chaleiras e cafeteiras, reduzindo sua eficiência e vida útil.

Além disso, a variação de pH pode influenciar o sabor e a palatabilidade da água, afetando a experiência de consumo. É importante ressaltar que o pH da água também está relacionado à sua capacidade de dissolver minerais e metais, o que pode afetar a qualidade percebida da água potável.

A turbidez da água é uma propriedade óptica que se refere à medida da dispersão e absorção de luz causada pela presença de partículas sólidas suspensas na água. Essas partículas, que podem incluir sedimentos, coloides, matéria orgânica e microrganismos, afetam a transmissão da luz através do meio aquoso, tornando-a menos transparente. A turbidez é geralmente expressa em unidades de Unidade Nefelometria de Turbidez (UNT) e é um indicador crucial da qualidade da água.

A avaliação da turbidez da água é de importância substancial, uma vez que pode influenciar diretamente a qualidade da água para consumo humano e uma variedade de usos industriais e ambientais. Águas turvas podem comprometer a potabilidade, uma vez que partículas suspensas podem abrigar microrganismos patogênicos, dificultando a eficácia dos processos de desinfecção. Além disso, a turbidez afeta a fauna aquática, pois diminui a penetração da luz, afetando processos fotossintéticos em ecossistemas aquáticos.

A dureza da água é uma característica intrínseca que se refere à concentração de íons metálicos, principalmente cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), dissolvidos na água. Esses íons conferem à água a capacidade de reagir com sabão, formando incrustações e precipitados, dificultando a formação de espuma e afetando sua utilidade em vários processos industriais e domésticos.

A dureza da água pode ser classificada em dois principais tipos: dureza temporária e dureza permanente. A dureza temporária é atribuída aos íons bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e pode ser removida por aquecimento ou tratamento químico com cal (hidróxido de cálcio) ou soda cáustica (hidróxido de sódio). A dureza permanente, por outro lado, está relacionada aos íons cálcio e magnésio que não podem ser removidos por aquecimento simples.

O Jar-Test, também conhecido como ensaio de coagulação-floculação em jarros, é uma análise laboratorial amplamente empregada no âmbito do tratamento de água. Este procedimento desempenha um papel fundamental na avaliação e otimização dos processos de coagulação e floculação, que constituem estágios essenciais na purificação da água bruta,

tornando-a apta para consumo humano e outras finalidades. A aplicação do Jar-Test oferece uma abordagem controlada e sistemática para determinar as condições ideais de tratamento, ajustando parâmetros como dosagem de coagulantes, dosagem de floculantes e tempos de reação para garantir a eficiência do processo.

A análise de microrganismos na água é um procedimento fundamental para a avaliação da qualidade microbiológica desse recurso vital. Nesse contexto, dois grupos de microrganismos são frequentemente estudados e monitorados: coliformes fecais e *Escherichia coli* (*E. coli*). Esses microrganismos são considerados indicadores de contaminação fecal e podem indicar potenciais riscos à saúde humana quando encontrados em níveis elevados na água.

Os coliformes fecais são um grupo de bactérias que inclui diferentes espécies, sendo a *E. coli* uma delas. A presença desses microrganismos na água está relacionada à contaminação fecal, uma vez que são naturalmente encontrados no trato intestinal de mamíferos, incluindo humanos. Desse modo, sua detecção em águas superficiais ou subterrâneas sugere a possibilidade de contaminação por esgoto doméstico ou de animais e a possível presença de patógenos associados ao trato intestinal, como vírus, parasitas e outras bactérias nocivas. Conseqüentemente, a análise desses indicadores microbiológicos desempenha um papel crucial na avaliação da qualidade sanitária da água para consumo humano e recreação.

Além disso, as normativas e regulamentos de qualidade da água, como a Resolução CONAMA nº 357/2005 no Brasil, estabelecem limites para a presença desses microrganismos em diferentes classes de água, garantindo assim a proteção da saúde pública e a preservação dos ecossistemas aquáticos.

#### 4 METODOLOGIA

O trabalho de campo foi realizado na comunidade Santa Fé, no Município de Viçosa-Alagoas. O rio utilizado como base do estudo é conhecido popularmente como Riachão, a nascente desse rio, situada na cidade de Pindoba - AL. Por sua vez, o rio percorre uma distância de 20 km, iniciando em Pindoba e desaguando no rio Paraíba do Meio.

A coleta das amostras se deu por um dia, com a participação de docente, auxiliar e o discente, a pesquisa durou seis meses. Inicialmente foi feito a coleta de 20 litros da água de duas fontes, uma no Rio Riachão (Figura 5) e outra em uma cacimba (Figura 6) localizada na comunidade Santa Fé. Após a coleta das amostras iniciou-se as análises utilizando os equipamentos específicos para cada parâmetro. A coleta foi feita seguindo as instruções do ITPS.

**Figura 5** – Rio Riachão, local onde foi coletada a amostra para a análise



**Fonte:** Autor, 2023.

O Rio Riachão é classificado como um rio de Classe 1, apresentando água própria para abastecimento humano após tratamento simplificado, além de ser indicado para a irrigação de hortaliças consumidas cruas e frutas que crescem rentes ao solo e são ingeridas sem remoção da película.

**Figura 6** – Cacimba onde foi coletado a amostra para a análise



**Fonte:** Autor, 2023.

As etapas a serem avaliadas são: Parâmetros gerais das águas (cor, turbidez e pH), análise microbiológica, tratamento de turbidez pelo Jar-Test e filtração com múltiplas camadas. A metodologia empregada foi de acordo com o Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA). As análises realizadas no LSA foram: pH, turbidez, cor e análise microbiológica. A análise de turbidez foi feita através do aparelho turbidímetro. As análises foram conduzidas pelos seguintes métodos: baseou-se no método de Standard (2001); o manual do fabricante Instrutherm (2013); manual do fabricante PoliControl (2010); metodologia utilizada por Zolett (2013) e o manual prático de análise de água da FUNASA (2013), sendo essa abordagem aplicada para ambas as amostras.

Foi necessário materiais como areia lavada, carvão e cascalho para montar o filtro. Além disso, também foi necessário utilizar equipamentos como: teste de jarros, estufa, pHmetro, turbidímetro, colorímetro, balança analítica, bomba, autoclave e vidrarias. Todos esses equipamentos e materiais foram utilizados nos laboratórios LASSOP (Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos) e no LSA. No LASSOP, foram realizados o tratamento para turbidez utilizando o Jar-Test (teste de jarros) e foi feito a filtração em múltiplas camadas utilizando a areia, carvão e cascalho, essa filtração tem como objetivo melhorar todos os parâmetros analisados. Foi necessário o uso para realizar as análises. Assim, cada parâmetro analisado foi utilizado um equipamento específico para obter os resultados.

A Figura 7 exibe o modelo específico de pHmetro empregado como instrumento de medição de pH durante a pesquisa. Este dispositivo é amplamente adotado em laboratórios de

diversas áreas científicas, em virtude de sua comprovada confiabilidade e eficiência. Sua popularidade decorre não apenas de seu desempenho preciso na mensuração do pH de soluções, mas também de seu custo acessível em comparação com outros equipamentos similares disponíveis no mercado.

**Figura 7** – Phmetro digital, modelo utilizado na análise



**Fonte:** Green Tech, 2024.

O turbidímetro destacado na Figura 8, foi o equipamento empregado no estudo em questão. Destaca-se por sua eficácia comprovada e pela facilidade de uso que oferece aos pesquisadores. Sua presença na pesquisa é fundamentada não apenas pela sua capacidade de medir a turbidez com precisão, mas também pela sua versatilidade e confiabilidade.

**Figura 8** – Turbidímetro digital, modelo utilizado na análise



**Fonte:** Labolan, 2024.

Na Figura 9, é apresentado o colorímetro utilizado para avaliar a cor das amostras. Este modelo em particular é amplamente empregado devido às suas características que facilitam e agilizam a análise da cor de amostras de água. Seu reconhecimento advém não apenas de sua eficácia na determinação precisa de coloração, mas também de sua capacidade de fornecer

resultados de maneira rápida e eficiente, tornando-o uma ferramenta indispensável em laboratórios.

**Figura 9** – Colorímetro digital, modelo utilizado na análise



**Fonte:** Lab House. 2024.

Na Figura 10, é mostrado o floculador de 8 pás utilizado no Jar-Test da pesquisa. Este equipamento demonstra eficiência no processo de floculação de amostras de água, destacando-se por sua capacidade de aglutinar partículas suspensas de maneira eficaz.

**Figura 10** – Modelo de floculador utilizado no Jar-Test



**Fonte:** Autor, 2024.

A seguir procedimento experimental realizado conforme indica método de Standard (2001) para analisar a coloração aparente, enxaguou-se a cubeta com a amostra e adicionou-se o conteúdo na cubeta, fechando-a e limpando-a com papel absorvente, segurando-a pela tampa; introduziu-se a cubeta na porta cubeta, alinhando a marcação. Em seguida, fechou-se a tampa da porta cubeta; a tecla “liga” foi acionada para realizar a leitura; pressionou-se a tecla “liga”

por aproximadamente 5 segundos até que o display mostrasse “desligar”. O resultado da cor foi visualizado no visor em unidades UC<sup>-</sup>.

Análise do Potencial Hidrogeniônico (pH) como preconizado no manual do fabricante Instrutherm (2013), com o equipamento calibrado em pH 7.00, foi realizada a análise da amostra; em um béquer de 100mL, a amostra foi inserida e o eletrodo foi imerso nela; aguardou-se 30 segundos para que a medição estabilizasse; observou-se o valor do pH no visor do equipamento.

Procedimento experimental realizado conforme baseado no manual do fabricante PoliControl (2010) para analisar a turbidez, pressionou-se a tecla liga/leitura para a inicialização do equipamento; aguardou-se 30 segundos para a estabilização do aparelho; procedeu-se à calibração do equipamento antes da leitura da amostra; colocou-se a cubeta contendo a amostra no local indicado, certificando-se de que a mesma estava limpa; pressionou-se a tecla liga/leitura; esperou-se a estabilização da leitura e anotou-se o valor. O resultado da turbidez foi visualizado no visor em unidades NTU.

Procedimento experimental realizado para análise do Jar-Test conforme descreve a metodologia utilizada por Zolett (2013) que está de acordo com o manual do fabricante, o equipamento foi devidamente esterilizado e testado para verificar seu funcionamento; após confirmar o funcionamento adequado do equipamento, as amostras foram inseridas no aparelho; o equipamento possui seis recipientes, entretanto, inicialmente, apenas quatro foram utilizados. As amostras de água do rio foram alocadas nos recipientes 1 e 2, enquanto as amostras de água da cacimba foram colocadas nos recipientes 3 e 4; antes da adição dos coagulantes, realizou-se a análise do pH das amostras para a identificação do coagulante adequado.

Tendo em vista que o pH das duas amostras se manteve em torno de 7, optou-se inicialmente pela utilização de ambos os coagulantes; em cada recipiente, adicionou-se 4mL dos coagulantes previamente preparados e completou-se o volume até 1L com a amostra correspondente, seguindo este procedimento para os quatro recipientes; nos recipientes 1 e 3, foi adicionado o coagulante aniônico Polyfloc AP1100P (Figura 11), enquanto nos recipientes 2 e 4 (Figura 11) foi utilizado o coagulante catiônico Polyfloc CP1154; após a preparação das amostras, deu-se início ao equipamento, que agitou a água por 1 minuto; posteriormente, para obter resultados mais expressivos, outros coagulantes foram empregados nos jarros 5 e 6, que ainda não haviam sido utilizados.

No recipiente 5 (Figura 13), foram acrescentados 946 mL da amostra de água do rio e no recipiente 6 (Figura 13), adicionou-se 946 mL da amostra de água da cacimba. Em ambos

os jarros, introduziu-se 50 mL do coagulante sulfato de ferro e procedeu-se à agitação por 1 minuto; após a conclusão da agitação, adicionaram-se 4 mL do coagulante aniônico Polyfloc AP1100P para verificar sua interação com o sulfato de ferro e as amostras e agitou-se por mais 1 minuto; ao registrar os resultados, as amostras de todos os recipientes foram descartadas e os recipientes foram higienizados para permitir os ensaios posteriores; esta etapa da análise foi refeita utilizando os jarros 1 e 2 (Figura 14), substituindo-se o coagulante sulfato de ferro pelo coagulante sulfato de alumínio com a finalidade de obter resultados mais aprimorados; em seguida, nos jarros 3 e 4 (Figura 16), que continham 946 mL da amostra de água do rio e 946 mL da amostra de água da cacimba, respectivamente, foram realizados ensaios para modificar o pH das amostras para ácido (pH 2). Para isso, foram adicionados 50 mL de ácido clorídrico (HCl) a 20% em cada jarro.

Nos jarros 5 e 6 (Figura 18), igualmente com 946 mL da amostra de água do rio e 946 mL da amostra de água da cacimba, procederam-se ensaios para alterar o pH das amostras para alcalino (pH 12). Utilizou-se 50 mL de hidróxido de sódio (NaOH) a 3% em cada jarro; após a adição dos reagentes, os recipientes foram agitados por 1 minuto, seguido pela observação dos resultados; ao finalizar da agitação, adicionaram-se 4 mL do coagulante aniônico Polyfloc AP1100P nos quatro recipientes para analisar sua interação com os pHs ácidos e alcalinos das amostras. Em seguida, agitou-se por mais 1 minuto. Essas intervenções objetivam investigar a coagulação das amostras em diferentes faixas de pH; ao concluir os ensaios, os resultados foram observados e anotados.

Para a análises de microrganismos presentes (coliformes fecais e *escherichia coli*). baseou-se no manual prático de análise de água da FUNASA (2013), a membrana para filtração foi inserida no porta-filtro utilizando uma pinça previamente aquecida e resfriada; o frasco contendo a amostra foi homogeneizado vigorosamente, no mínimo, 25 vezes; delicadamente transferiu-se a amostra para o porta-filtro, evitando respingos de água nas bordas superiores; a bomba de vácuo foi ligada para iniciar a sucção; após o processo de filtração, a pressão de vácuo foi reduzida e o funil foi retirado do suporte; com o auxílio de uma pinça aquecida e resfriada, a membrana foi retirada do suporte e colocada na placa de Petri, preparada previamente. O lado com padrões na membrana foi posicionado para cima; a placa de Petri foi lacrada e mantida a 36 °C por aproximadamente 24 horas; após o período de incubação, a membrana foi verificada para contagem das colônias.

Para a filtração em múltiplas etapas, inicialmente, com base no estudo apresentado por Teixeira (2019), foi concebido um filtro composto por diversas camadas distintas. Na primeira camada, com uma espessura de 2,5 cm, foram dispostos seixos, seguidos por uma camada de 4

cm de cascalho na segunda etapa. A terceira camada, com uma espessura de 3,5 cm, foi preenchida com areia lavada. Posteriormente, na quarta camada, com 2 cm de espessura, foi aplicado carvão ativado. Por fim, para fornecer suporte ao filtro, um pedaço de algodão foi posicionado na base.

Após a montagem do sistema de filtro conforme descrito anteriormente, uma etapa crucial foi conduzida para garantir sua eficácia: a realização de três lavagens utilizando água destilada. Essas lavagens foram executadas meticulosamente para eliminar partículas menores que poderiam comprometer a capacidade de filtração do dispositivo.

Durante o procedimento de lavagem do filtro, uma quantidade precisa de 500 mL da amostra da água do rio foi cuidadosamente medida e introduzida no sistema. Em seguida, o tempo de percolação, isto é, o tempo necessário para que a água passasse completamente através do filtro, foi meticulosamente cronometrado. Após a conclusão desse processo, durante o qual todo o volume de água do rio passou pelo filtro, o tempo de percolação foi registrado para análise posterior.

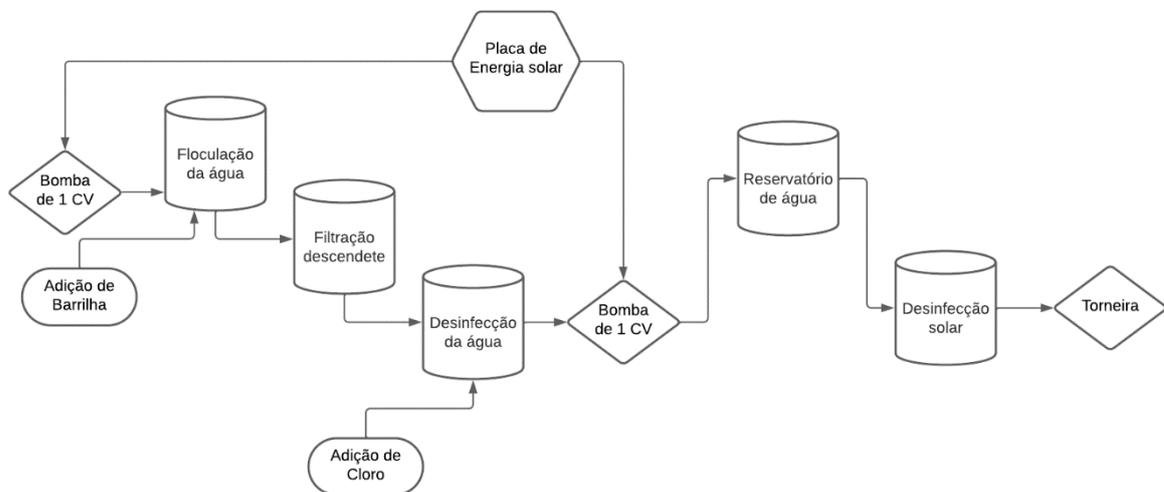
Após a conclusão da filtragem da água do rio, foi conduzida uma etapa adicional de limpeza do filtro, utilizando água destilada para garantir a remoção completa de quaisquer resíduos ou impurezas remanescentes. Uma vez finalizada a limpeza, o filtro foi preparado para a próxima fase do experimento: a inserção da amostra de água proveniente da cacimba. Nesta etapa, novamente foram utilizados 500 mL da amostra, e o tempo de percolação foi cronometrado para avaliar a eficácia do filtro sob as condições da nova fonte de água.

Por fim, as amostras foram comparadas visualmente antes e depois do processo de filtração, a fim de avaliar a eficiência do filtro. Essa comparação direta permitiu verificar as mudanças na aparência das amostras, fornecendo informações sobre o desempenho do sistema de filtragem.

Com o intuito de tornar o filtro mais econômico, uma nova montagem foi realizada, preservando todas as camadas originalmente utilizadas, à exceção da camada de carvão ativado. Esta adaptação visava explorar alternativas mais acessíveis sem comprometer significativamente a eficácia do filtro. Todos os procedimentos experimentais foram então reexecutados, mantendo constantes as quantidades das amostras empregadas. Essa abordagem permitiu uma comparação direta entre os dois sistemas de filtragem, avaliando tanto sua eficiência quanto sua viabilidade econômica.

Com base nas metodologias previamente estudadas, foi elaborado um método que busca ser eficaz, acessível em termos de custos e simples de implementar. Esse método integra todas as tecnologias sociais discutidas anteriormente, aproveitando as melhores práticas identificadas durante a pesquisa. O objetivo é garantir que o processo de tratamento de água seja não apenas eficiente em termos de qualidade, mas também acessível e viável para aplicação em diferentes comunidades. Ao incorporar essas tecnologias sociais, o método visa maximizar os benefícios ambientais e sociais, promovendo assim a sustentabilidade e o bem-estar das populações atendidas.

**Figura 11** – Método proposto para tratamento das fontes das águas



**Fonte:** Autor, 2024.

Na Figura X, é apresentado o método proposto para o tratamento de água nas fontes que foram a base deste estudo. Este método inclui os seguintes componentes: o tanque de floculação, onde a barrilha é adicionada; o tanque de filtração descendente, onde ocorre a filtração com materiais granulares; o tanque de desinfecção, onde são utilizados cloro em barra ou hipoclorito de sódio; as bombas responsáveis pela captação e transporte da água entre os tanques; e o tanque de desinfecção solar.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ensaio de coloração aparente, a amostra de água do rio demonstrou um valor superior ao estabelecido pelas diretrizes nacionais. Conforme a Portaria do Ministério da Saúde Nº 518, de 25 de março de 2004, o parâmetro ideal para a coloração aparente em água destinada ao consumo humano é de, no máximo, 15 uH (ou uC). O teste indicou um valor de 199 uH para a amostra do rio. A amostra de água da cacimba também apresentou um valor superior ao estabelecido pelas diretrizes nacionais. O teste indicou um valor de 81 uH para a amostra da cacimba.

Observou-se que o valor de coloração da água proveniente da cacimba, embora elevado, foi inferior ao da água do rio. Segundo Hillebrand (2020), essa disparidade pode ser atribuída à menor interferência de elementos disruptivos e à escassez de matéria orgânica na fonte da cacimba, fatores que podem influenciar na alteração da cor. No entanto, ambos os valores excederam consideravelmente os padrões estabelecidos.

Esses resultados evidenciam a necessidade implementação de tratamento da água para adequar suas características aos parâmetros de qualidade estabelecidos pelas normativas em vigor. Ao considerar o sistema convencional de tratamento para cor na água, destaca-se seu significativo custo elevado em sua implementação, tornando-se inviável para comunidades rurais desprovidas de acesso ao abastecimento público de água. Assim, é crucial a adoção de tecnologias sociais como alternativa viável.

Apesar do custo elevado associado aos métodos convencionais de tratamento de água, é importante salientar que um dos enfoques a serem considerados é o uso de coagulantes, em especial o sulfato de alumínio, amplamente empregado em Estações de Tratamento de Água (ETAs). Este agente reagente apresenta um custo relativamente baixo no mercado, cerca de 9,00 reais por quilo de acordo com informações da Casa dos Químicos (2023), o que o torna uma opção economicamente acessível para o tratamento de água.

O sulfato de alumínio desempenha um papel fundamental no processo de coagulação da água. No estudo de Campos (2005), ele relata que a função primordial desse composto é promover a formação de flocos por meio da neutralização de cargas elétricas presentes nas partículas coloidais e suspensas na água. Ao ser adicionado à água, o sulfato de alumínio sofre hidrólise, formando hidróxidos de alumínio. Estes hidróxidos agem como centros de coagulação, agregando as partículas em suspensão e coloidais para formar flocos maiores. Estes flocos facilitam a remoção de impurezas por processos subsequentes, como sedimentação e filtração, contribuindo assim para a melhoria da qualidade da água.

Outra alternativa que pode ser utilizada em conjunto ao sulfato de alumínio é a barrilha, também conhecida como carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ou soda. Este composto químico é amplamente empregado no tratamento de água devido às suas propriedades alcalinizantes e desempenha um papel essencial nos processos de coagulação e floculação de partículas presentes na água. (PEREIRA, 2015).

O custo baixo da barrilha é uma de suas vantagens econômicas, pois 1 kg desse composto pode ser adquirido por cerca de 10,00 reais, de acordo com informações da Casa dos Químicos (2023). O uso eficiente desse produto é evidenciado pela pequena quantidade necessária em cada tratamento de água, que geralmente varia entre 5 a 5 a 15 gramas, dependendo das características da água a ser tratada. Essa pequena quantidade é suficiente para alcalinizar a água e promover as reações químicas necessárias para o tratamento em um reservatório de 1000 litros de acordo com Henrimar, (2023).

Nesse sentido, segundo o estudo de Nunes (2013), a barrilha se destaca como uma tecnologia social relevante e de baixo custo a ser empregada nos processos de tratamento de água, devido à sua eficiência na elevação do pH e na remoção de impurezas, o que contribui para a disponibilização de água mais limpa e segura para consumo humano e outras finalidades. A utilização adequada e controlada desse composto químico, juntamente com outros agentes de tratamento, é fundamental para garantir a eficácia do processo e a conformidade com os padrões de qualidade exigidos.

Diante da inacessibilidade alternativas anteriores devido a questões de custo ou disponibilidade, uma alternativa de baixo custo, viável e fundamentada em tecnologias sociais é a aplicação de um método doméstico que não requer despesas adicionais: o uso de sementes de Moringa Oleífera no reservatório de armazenamento de água. Estudos, como o de Santana (2020), indicam que a Moringa Oleífera apresenta uma eficiência de remoção de cor em torno de 97%.

Entretanto, é necessário notar que a disseminação dessa árvore ainda é limitada no Brasil, o que pode não ser viável para a comunidade alvo deste estudo. Diante disso, uma alternativa a considerar seria a utilização do extrato da Aloe vera (Babosa) como agente floculante. Pesquisas, como o estudo conduzido por Melo (2020), demonstraram que o extrato da babosa apresenta uma eficiência de remoção de cor em torno de 52%, ao utilizar uma concentração de 10 mL de extrato de babosa em 100 mL de água com pH 7,6. No entanto, para tratar a quantidade de água proposta neste trabalho, uma caixa d'água de 1000 litros, seriam necessários 10 litros de extrato de babosa, considerando a mesma proporção usada no experimento mencionado.

A Aloe vera, popularmente conhecida como babosa, é uma planta encontrada comumente em residências localizadas em zonas rurais. Suas propriedades medicinais e adaptabilidade a diferentes condições climáticas contribuem para sua presença frequente nessas áreas. É uma espécie que pode ser plantada ao longo de todo o ano devido à sua natureza resiliente e capacidade de adaptação aos diversos climas e solos. Sua ampla disponibilidade e facilidade de cultivo a tornam uma opção viável para uso doméstico e práticas de medicina alternativa em comunidades rurais. (CORDEIRO, 2020).

Também é válido mencionar que estudos na literatura evidenciam que nessa espécie, há a presença de grupos fitoquímicos como taninos, saponinas, flavonoides, mucilagens, além de derivados específicos, como quitosana e antraceno. Estes componentes influenciam diretamente o processo de coagulação, conforme mencionado por Irma (2013).

### **5.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

A análise do potencial hidrogeniônico (pH) das amostras de água do rio e de uma cacimba foi conduzida conforme os critérios estabelecidos pela Portaria N° 2.914, de 12 de dezembro de 2011, que estipula um intervalo de pH aceitável para consumo humano entre 6 e 9,5. Os valores de pH registrados nas amostras são indicativos fundamentais para avaliar a adequação da água para consumo humano. Ambas as amostras analisadas mostraram-se dentro dos parâmetros aceitáveis. A água do rio apresentou um pH de 6,60, enquanto a amostra proveniente da cacimba registrou um pH ligeiramente inferior, porém ainda dentro dos limites aceitáveis, com um valor de 6,18.

Os resultados obtidos sugerem que, em virtude da conformidade dos valores de pH das amostras analisadas com os padrões estabelecidos, não é necessária a realização de correções adicionais. Este cenário evidencia a adequação da qualidade do pH para o uso humano, de acordo com as diretrizes estabelecidas pela legislação em vigor. No entanto, de acordo com Dias (2017), no site NewsLab, é importante ressaltar que variações no pH, particularmente na água proveniente de fontes como cacimbas, podem ocorrer devido ao dióxido de carbono dissolvido na água.

Nesse contexto, a utilização de Barrilha (Carbonato de Sódio) emerge como uma alternativa viável para elevar o pH da água e corrigir essas variações. (JUÁREZ-SANTILLÁN, 2022). A Barrilha, de custo acessível, com preço médio de aproximadamente 10 reais, encontra-se disponível em estabelecimentos como casas de materiais de construção, tornando-se uma tecnologia social de fácil acesso para as comunidades rurais.

A função da Barrilha reside na capacidade de atuar como um agente alcalinizante. Quando adicionada à água, ela promove a elevação do pH por meio da liberação de íons hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) na solução. Esses íons reagem com os ácidos presentes na água, neutralizando-os e, assim, elevando o pH para níveis mais adequados ao consumo humano. (PEREIRA, 2011).

A adoção de Barrilha como medida corretiva para ajuste do pH da água em áreas rurais, especialmente proveniente de fontes como cacimbas, pode representar uma solução prática e de baixo custo, assegurando a melhoria da qualidade e adequação para o consumo humano.

## 5.2 Turbidez

Durante a análise, observou-se que tanto a amostra de água do rio quanto da cacimba excederam os limites estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde N° 518, de 25 de março de 2004, a qual estipula que o valor aceitável para a turbidez da água destinada ao consumo humano é de 1,0 uT (ou NTU). Contudo, constatou-se que a amostra de água do rio apresentou uma turbidez de 11,6 uT, enquanto a amostra proveniente da cacimba registrou uma turbidez de 6,87 uT.

Para Alcântara (2007), a elevada turbidez verificada nas amostras de água pode ser associada à presença de partículas sólidas em suspensão, incluindo silte, argila, sílica, coloides e matéria orgânica e inorgânica finamente dispersas, juntamente com organismos microscópicos e algas. No estudo de Andrade (2009) ele relata que esses elementos podem ter origens multifacetadas, tais como processos erosivos do solo, sobretudo em áreas desprovidas de cobertura vegetal, atividades de exploração mineral, como extração de areia ou argila, práticas industriais e a introdução de esgoto doméstico não tratado nos corpos hídricos.

A presença significativa desses materiais em suspensão indica a necessidade urgente de intervenção para aprimorar a qualidade da água, a fim de garantir sua conformidade com os padrões aceitáveis para consumo humano e preservação ambiental. No entanto, o tratamento convencional da turbidez não é viável para comunidades remotas desprovidas de abastecimento da rede pública, uma vez que os métodos utilizados demandam infraestruturas extensas que não são adequadas nesses contextos.

Nesse sentido, é importante ressaltar que a redução da turbidez em fontes de água muitas vezes é alcançada por meio de processos de filtração. Entretanto, tais sistemas convencionais demandam grandes estruturas e o uso de materiais que envolvem custos consideráveis, como mencionado anteriormente. Para contornar essas limitações, tecnologias sociais têm emergido como alternativas viáveis. Uma abordagem eficaz para tratar a turbidez da água é a utilização

de filtros descendentes que empregam materiais de baixo custo e não requerem substituições frequentes, tais como areia lavada, cascalho e carvão ativado.

A técnica de filtração descendente é um processo promissor para mitigar a turbidez na água, sendo uma solução de baixo custo e aplicabilidade viável, principalmente em comunidades onde a infraestrutura convencional é limitada (Albuquerque, 2019). Esses filtros são projetados para remover partículas suspensas, incluindo sólidos e sedimentos, presentes na água, contribuindo assim para a melhoria da sua qualidade.

A utilização de materiais como areia lavada, cascalho e carvão ativado em filtros descendentes proporciona uma superfície porosa que facilita a retenção de partículas indesejadas. A areia lavada atua como uma barreira física inicial, retendo partículas maiores, enquanto o cascalho oferece suporte estrutural e aprimora o processo de filtração. O carvão ativado, por sua vez, desempenha um papel crucial na remoção de impurezas orgânicas e compostos químicos, ajudando a aprimorar a qualidade estética e potabilidade da água. (HAMOUDA, 2015).

### **5.3 Jar-Test**

A análise realizada através do ensaio de Jar-Test não resultou de maneira satisfatória, pois as amostras submetidas a seis coagulantes diferentes e à variação de pH não apresentaram coagulação. Essa ausência de coagulação pode ser atribuída à natureza das impurezas presentes na água. (BEGNINI, 2017). É importante considerar que algumas impurezas podem ser mais complexas de coagular devido às suas características físico-químicas particulares, como tamanho, carga superficial ou natureza dos contaminantes.

Outro fator determinante que pode ter influenciado nos resultados é a possibilidade de incompatibilidade entre o agente coagulante utilizado e as impurezas específicas presentes na amostra de água analisada. Em certos casos, o tipo de coagulante escolhido pode não ser adequado para lidar com as impurezas particulares, tornando-se menos eficaz ou incapaz de gerar a coagulação esperada. (VAZ, 2011).

Na figura 11, são exibidas as amostras de água do rio e da cacimba submetidas a dois coagulantes distintos. Nos recipientes 1 e 3, foi aplicado o coagulante aniônico Polyfloc AP1100P, enquanto nos recipientes 2 e 4, o coagulante catiônico Polyfloc CP1154 foi introduzido.

**Figura 12** – Amostras contendo coagulante aniônico Polyfloc AP1100P coagulante catiônico Polyfloc CP1154.

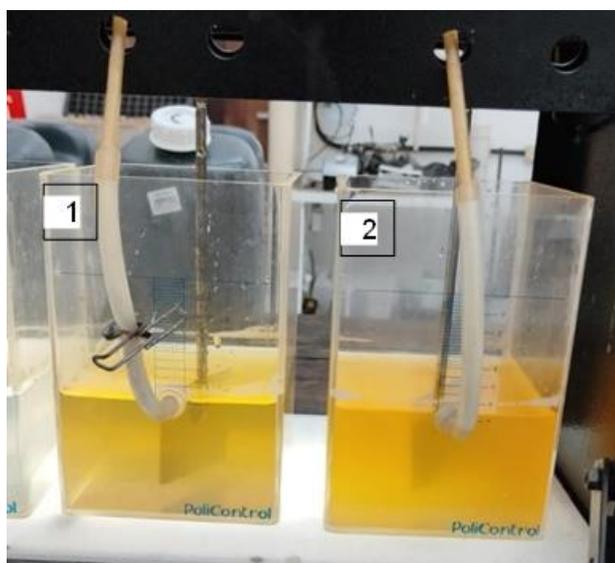


Fonte: Autor, 2023.

Na figura 11, verificou-se a ausência de qualquer reação de coagulação nos recipientes analisados. Diante desse resultado, procedeu-se a testes adicionais com diferentes coagulantes para determinar uma resposta mais efetiva.

No segundo ensaio, uma tentativa de coagulação foi realizada utilizando 50 mL de sulfato de ferro, conforme ilustrado na figura 12. Neste ensaio, foram utilizados apenas dois recipientes: o recipiente 1 contendo a amostra do rio, enquanto o recipiente 2 contendo a amostra da cacimba. Contudo, não foi observada coagulação. Posteriormente, adicionou-se 4 mL do coagulante aniônico Polyfloc AP1100P, conforme indicado na figura 13, com o intuito de verificar possíveis reações. No entanto, não foi registrada coagulação em nenhuma das duas condições avaliadas.

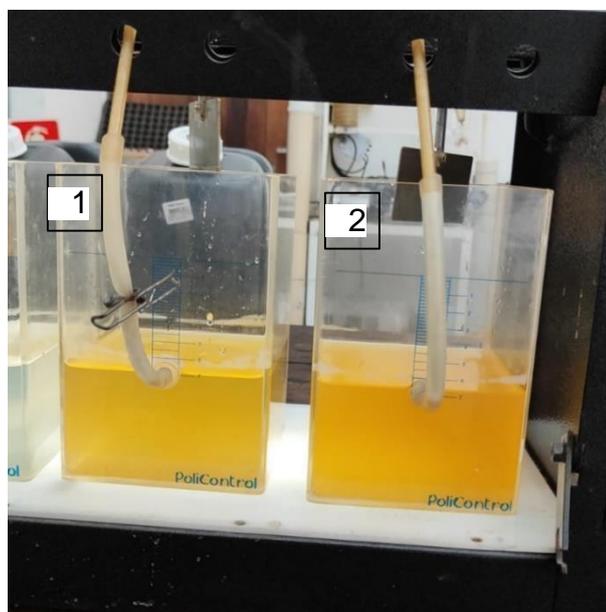
**Figura 13** – Amostras com o coagulante sulfato de ferro



Fonte: Autor, 2023.

Na Figura 12, são exibidos os recipientes 1 e 2, sendo que o recipiente 1 contém a amostra do rio e o recipiente 2 contém a amostra da cacimba. Nesta fase, não foi observada a coagulação das amostras na presença de sulfato de ferro.

**Figura 14** – Amostras com o coagulante sulfato de ferro e o coagulante aniônico Polyfloc AP1100P

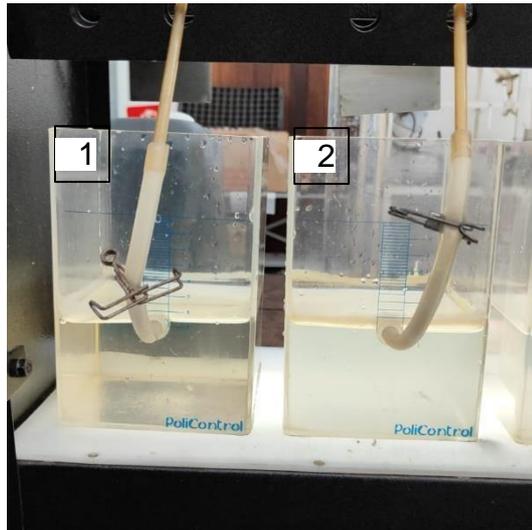


**Fonte:** Autor, 2023.

Na Figura 13, são mostradas as amostras na presença do sulfato de ferro e com a adição do coagulante aniônico Polyfloc AP1100P. Nesta fase, também não foi possível observar alterações nos recipientes.

Foi realizada uma terceira tentativa empregando 50 mL do coagulante sulfato de alumínio, conforme demonstrado na figura 14. No recipiente 1 contendo a amostra do rio, enquanto o recipiente 2 contendo a amostra da cacimba. No entanto, os resultados obtidos não foram satisfatórios, não apresentando coagulação. Nesse mesmo ensaio, foi introduzido 4 mL do coagulante aniônico Polyfloc AP1100P com o propósito de obter um melhor resultado. Contudo, mesmo sob essa condição, não foi observada coagulação como pode ser verificado na figura 15.

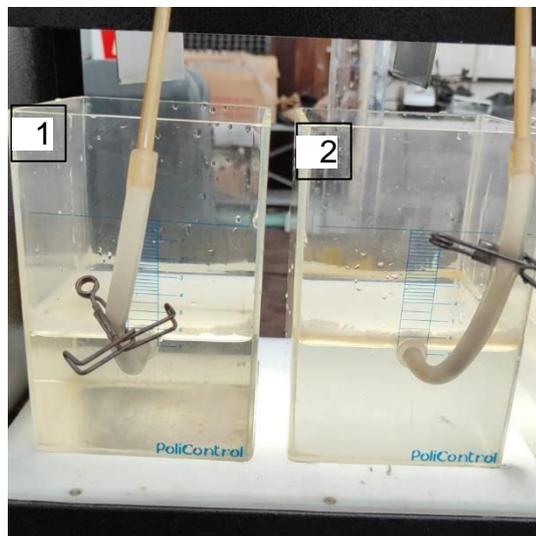
**Figura 15** – Amostras com o coagulante sulfato de alumínio



Fonte: Autor, 2023.

Na figura 14, é possível observar os recipientes que contêm as amostras, sendo que estas estão sujeitas à presença do coagulante sulfato de alumínio, seguida da agitação no floculador.

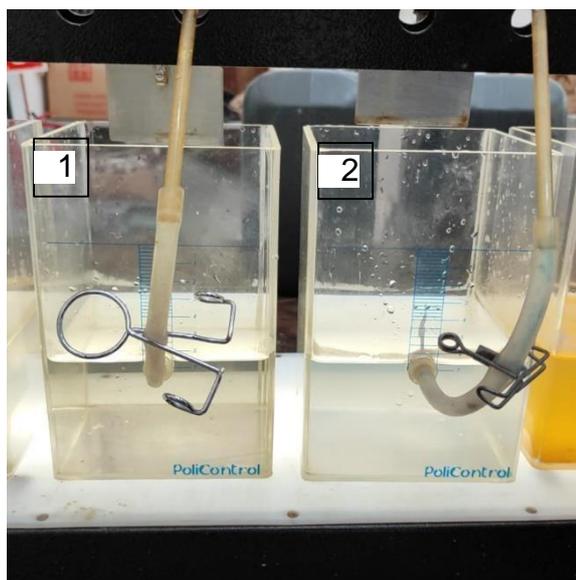
**Figura 16** – Amostras com o coagulante sulfato de alumínio e o coagulante aniônico Polyfloc AP1100P



Fonte: Autor, 2023.

Após a realização de ensaios empregando os coagulantes tradicionais sem evidenciar coagulação aparente, novos experimentos foram conduzidos, desta vez variando o pH das amostras. Em uma nova abordagem, dois recipientes foram utilizados: o recipiente 1 contendo a amostra de água do rio, enquanto o recipiente 2 contendo a amostra de água da cacimba. Durante este ensaio, promoveu-se a alteração do pH das amostras para um pH ácido (pH 1) utilizando ácido clorídrico 20%, conforme retratado na figura 16.

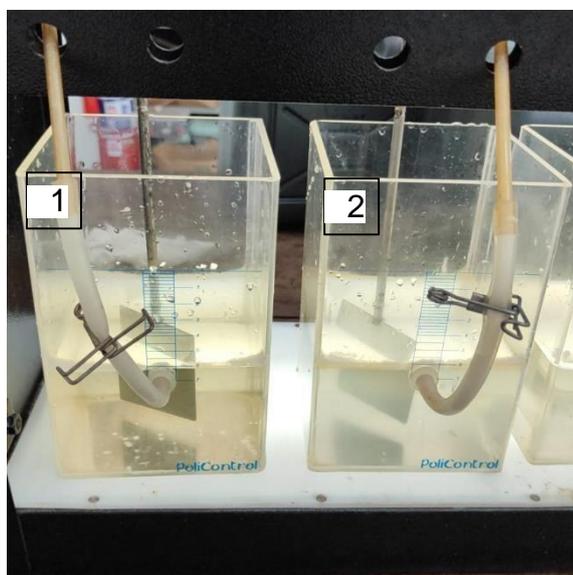
**Figura 17** – Amostras com ácido clorídrico 20%



**Fonte:** Autor, 2023.

Após a agitação das amostras, o coagulante aniônico Polyfloc AP1100 foi adicionado, o que resultou na observação de algumas partículas decantadas, conforme ilustrado na figura 17. No entanto, não se verificou o processo de coagulação completo.

**Figura 18** – Amostras com pH 1 e o coagulante aniônico Polyfloc AP1100P

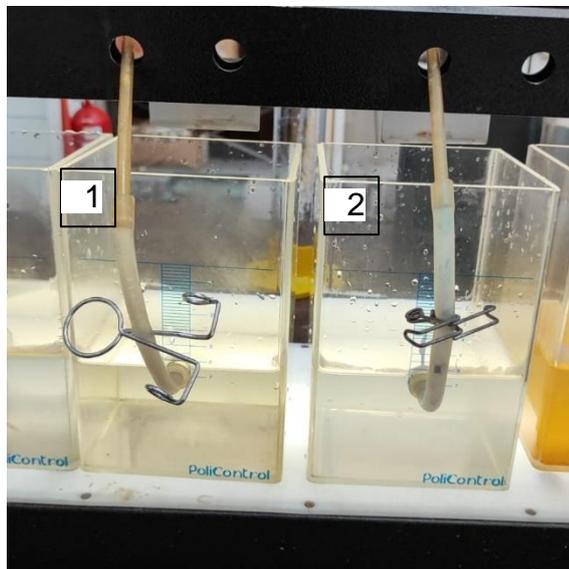


**Fonte:** Autor, 2023.

No último ensaio, realizado com o intuito de observar o processo de coagulação, utilizou-se hidróxido de sódio a 3% para modificar o pH das amostras para um nível alcalino (pH 12), conforme ilustrado na figura 18. No recipiente 1 estava contida a amostra de água do

rio e, no recipiente 2, a amostra de água da cacimba. Após a alcalinização das amostras, procedeu-se à adição do coagulante aniônico Polyfloc AP1100.

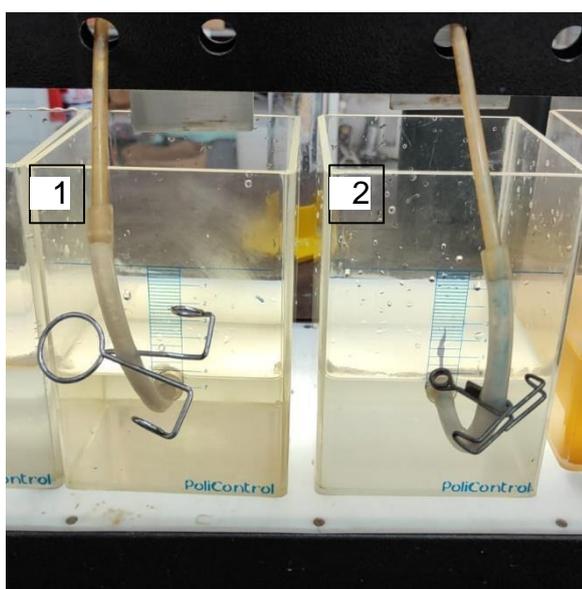
**Figura 19** – Amostras com hidróxido de sódio a 3%



**Fonte:** Autor, 2023.

Inicialmente, não houve nenhuma alteração aparente; entretanto, posteriormente, observou-se a decantação de algumas partículas. Neste ensaio, a decantação foi mais visível do que no experimento com pH ácido, como pode ser observado na figura 19. Não obstante a decantação mais aparente, não se verificou a coagulação das amostras, indicando resultados insatisfatórios.

**Figura 20** – Amostras com pH 12 e o coagulante aniônico Polyfloc AP1100P



**Fonte:** Autor, 2023.

Conforme mencionado anteriormente, a não coagulação das amostras pode ter sido atribuída às condições das amostras ou aos coagulantes empregados. Dessa forma, torna-se necessário a realização de ensaios de coagulação mais sofisticados nas amostras para a observação e análise da formação de coágulos dos compostos presentes nos materiais coletados.

#### **5.4 Análises de microrganismos presentes**

A análise dos microrganismos presentes foi realizada por meio da técnica de câmara de contagem, onde as colônias foram identificadas e contadas. Esta técnica é um método amplamente utilizado para quantificar a densidade de microrganismos em uma amostra. Consiste em uma câmara de vidro ou plástico com uma grade reticulada, cujas dimensões são conhecidas. Para realizar a contagem, uma pequena quantidade da amostra é colocada na câmara de contagem e coberta por uma lâmina de vidro ou lamínula. Os microrganismos presentes na amostra são então observados sob um microscópio óptico. A grade reticulada facilita a contagem dos microrganismos, pois fornece uma referência espacial precisa. Ao contar os microrganismos presentes em várias áreas da câmara de contagem, é possível calcular a densidade microbiana total na amostra.

Os resultados da análise dos microrganismos presentes nas amostras revelaram-se favoráveis, demonstrando conformidade com os parâmetros estabelecidos pela Resolução 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Essa resolução é uma peça fundamental na legislação ambiental brasileira, que define os padrões de qualidade da água para diversos usos, incluindo o consumo humano. De acordo com essa regulamentação, a presença de até 4000 pontos de coliformes fecais em 100 mL de água é considerada aceitável.

A importância desses parâmetros reside no seu papel na proteção da saúde pública, garantindo que a água consumida pela população atenda a padrões adequados de segurança e potabilidade. A presença de coliformes fecais e *Escherichia coli* na água pode indicar contaminação por matéria orgânica de origem fecal, o que aumenta o risco de transmissão de doenças de veiculação hídrica.

Ao concluir o experimento, a amostra coletada no rio evidenciou a presença de 100 colônias de coloração azul, indicativa da bactéria *Escherichia coli*. Adicionalmente, foram detectadas na mesma amostra 245 colônias de coloração vermelha, sinalizando a presença de coliformes fecais. Na amostra coletada na cacimba, foi observada uma concentração menor desses microrganismos. Foram identificadas 13 colônias azuis, indicando a presença de *Escherichia coli*, e 164 colônias vermelhas, indicando a presença de coliformes fecais. (SANT'ANNA, 2003).

Dessa forma, os resultados favoráveis obtidos na análise das amostras indicam que a água está dentro dos limites estabelecidos pela legislação ambiental, fornecendo assim um indicativo positivo da qualidade do recurso hídrico analisado. Essa conformidade é essencial para assegurar a segurança da água para consumo humano e para preservar os ecossistemas aquáticos.

Entretanto, por conter a presença dos microorganismos mencionados, mesmo que dentro dos parâmetros estabelecidos, a água deve ser tratada. A etapa de desinfecção, onde é adicionado o cloro em barra, é responsável pela remoção desses microorganismos. O cloro em barra apresenta um custo acessível, sendo vendido a R\$ 49,00 o quilo. Com base em que Nautilus (2024) descreve, a quantidade necessária para tratar 1000 litros de água é de 4 gramas, o que significa que 1 kg de cloro em barra pode ser utilizado em até 250 tratamentos. Essa eficiência demonstra uma considerável economia no processo de tratamento de água.

Outra opção para a desinfecção da água é o hipoclorito de sódio, o hipoclorito de sódio é um desinfetante comumente utilizado no tratamento de água. Ao ser adicionado à água, ele se dissocia em íons hipoclorito, que são os agentes ativos de desinfecção. O hipoclorito de sódio atua eliminando bactérias, vírus e outros microorganismos patogênicos, além de oxidar matéria orgânica e outros contaminantes. Também pode formar cloraminas, desinfetantes secundários que ajudam a manter a água livre de microorganismos durante o transporte pelas redes de distribuição. (VT ENGENHARIA, 2024). Ele está disponível por R\$ 10,00 o litro. Vale ressaltar que, além de ser uma alternativa acessível, o hipoclorito de sódio é fornecido gratuitamente pelo Sistema Único de Saúde (SUS), garantindo o acesso à água tratada para a população.

## **5.5 Filtração em Múltiplas Etapas**

### **5.5.1 Filtro utilizando carvão ativado**

O filtro com carvão ativado é amplamente usado para purificar água devido à sua alta capacidade de adsorver uma variedade de contaminantes. O carvão ativado tem uma estrutura porosa que aumenta sua área superficial, permitindo a adsorção de compostos indesejados. Ele remove contaminantes através de forças físicas e químicas de adsorção. Pode ser funcionalizado para direcionar a remoção de contaminantes específicos e precisa ser regenerado ou substituído periodicamente para manter sua eficácia.

**Figura 21** – Filtro montado utilizando camada de carvão ativado



**Fonte:** Autor, 2024.

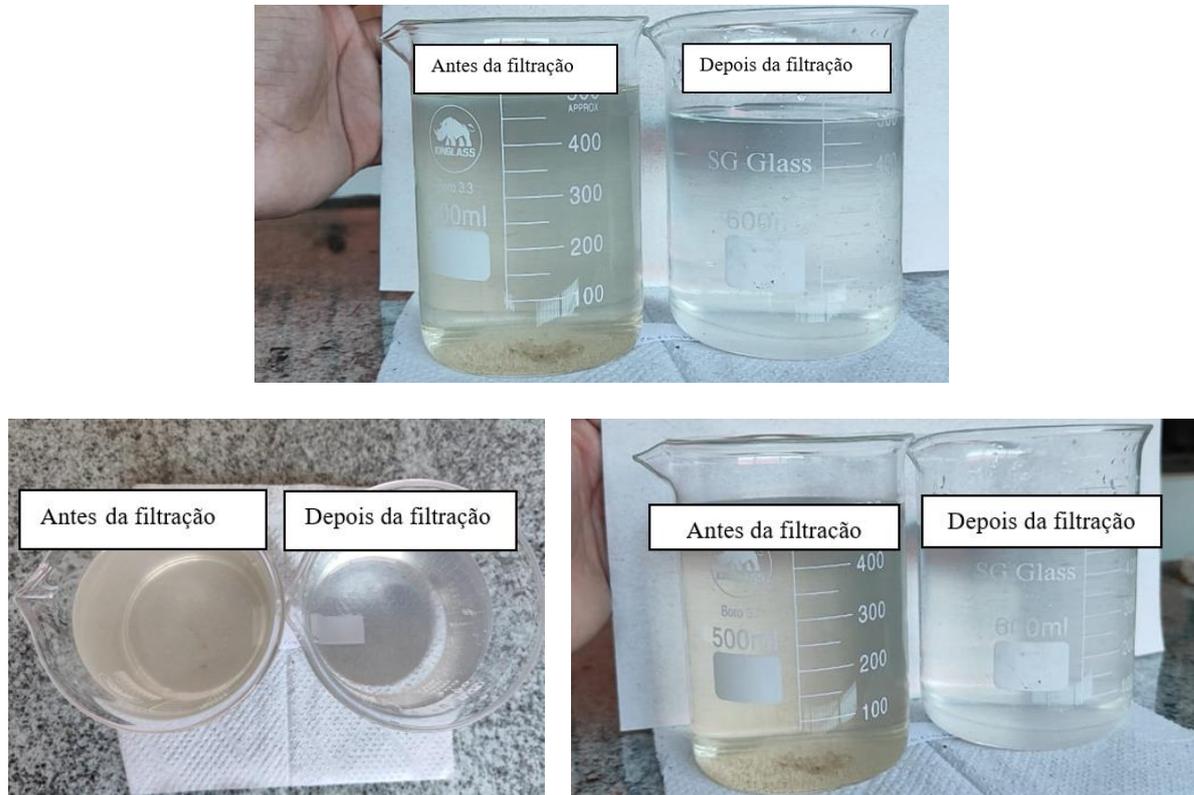
A Figura 20 apresenta um filtro improvisado no laboratório, composto por diferentes tipos de materiais filtrantes. A primeira camada é de seixos, seguida pela segunda camada de cascalho, a terceira camada de areia lavada, a quarta camada de carvão ativado e, por fim, a quinta e última camada é de algodão, que proporciona suporte às camadas anteriores. Este tipo de filtro, em uma escala maior, pode ser uma solução viável para o tratamento de água em pequenas comunidades, oferecendo uma opção de baixo custo.

O filtro utilizado foi desenvolvido com base no estudo de Teixeira (2019), que o descreve como composto por uma sucessão estratificada de materiais filtrantes. Este arranjo inclui uma camada de seixos seguida por uma camada de cascalho, ambas desempenhando um papel crucial na distribuição uniforme do fluxo de água. Subsequentemente, são encontradas camadas de areia e carvão ativado, que são responsáveis pela filtração propriamente dita, atuando na remoção de impurezas e compostos indesejados. Além disso, um pedaço de algodão é empregado para fornecer suporte estrutural ao filtro. Cada material desempenha uma função distinta dentro do sistema, contribuindo para a eficácia global do processo de purificação da água.

A amostra antes do processo de filtração apresentou uma coloração amarelada proeminente, evidenciando a presença notável de substâncias que afetavam sua transparência. Essa coloração, indicava a presença de impurezas ou compostos solúveis na água, conferindo-lhe uma tonalidade característica. Além disso, a análise visual revelou a formação de aglomerados que gradualmente se depositaram no fundo do recipiente. Esses aglomerados,

constituídos provavelmente por partículas sólidas ou matéria orgânica em suspensão, contribuíram para a turbidez da amostra, evidenciando uma condição de não homogeneidade da água.

**Figura 22** – Amostra da água do rio antes e depois após filtração com camada de carvão ativado

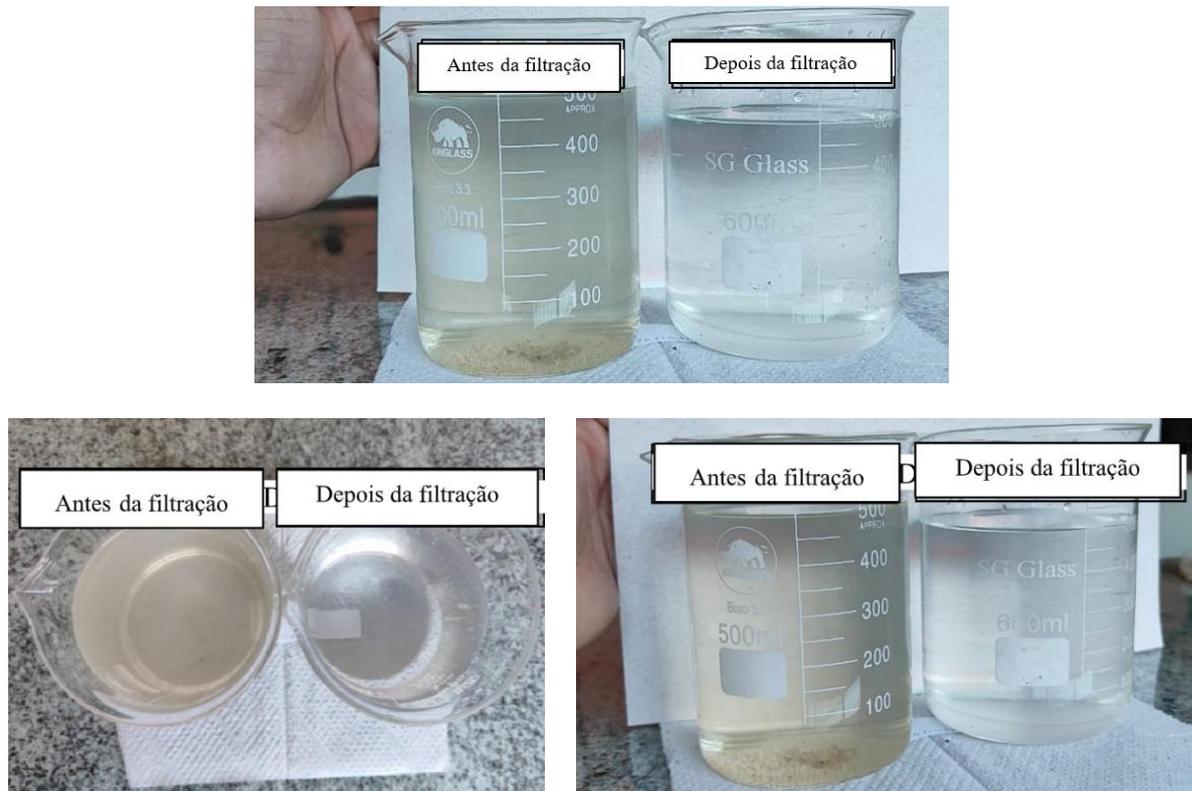


**Fonte:** Autor, 2024.

Após a conclusão da filtração, a água resultante mostrou-se transparente, sem a coloração amarelada anteriormente evidente. Não foram detectados quaisquer sedimentos, indicando que o sistema de filtragem foi eficaz na remoção das impurezas presentes na água. Esses resultados indicam uma melhoria significativa na qualidade da água, demonstrando a eficácia do experimento de filtragem.

A amostra de água proveniente da cacimba, assim como a amostra do rio, revelou uma coloração amarelada bastante pronunciada, indicativa da possível presença de materiais orgânicos dissolvidos ou em suspensão. A observação também revelou a formação de coágulos na amostra, sugerindo a presença de impurezas ou sólidos suspensos. Além disso, a análise visual demonstrou uma turbidez significativamente mais elevada na água da cacimba em comparação com a amostra do rio, indicando uma maior concentração de partículas em suspensão ou matéria orgânica na água proveniente da cacimba.

**Figura 23** – Amostra da água da cacimba antes e depois após filtração com camada de carvão ativado



**Fonte:** Autor, 2024.

Após a aplicação do processo de filtração, a água da cacimba mostrou resultados promissores. Sua transparência melhorou significativamente, sem apresentar qualquer coloração visível. Além disso, não foram encontrados sedimentos ou materiais em suspensão, indicando uma eficaz remoção das impurezas. A turbidez da água também foi reduzida, sugerindo uma diminuição na concentração de partículas suspensas e matéria orgânica dissolvida. Esses resultados destacaram a eficiência do processo de filtração na melhoria da qualidade da água da cacimba, tornando-a mais segura para o consumo humano.

#### 5.5.2 Filtro sem uso do carvão ativado

O filtro utilizando carvão ativado demonstrou bons resultados; no entanto, o uso desse material em grande escala encarece consideravelmente o tratamento. Dessa forma, foi montado um novo filtro sem o uso do carvão ativado para avaliar a eficiência do sistema. Esse novo filtro empregou apenas as camadas de seixos, cascalho, areia lavada e algodão, conforme ilustrado na figura 23.

**Figura 24** – Filtro sem o uso da camada de carvão ativado



**Fonte:** Autor, 2024.

Na Figura 23, observa-se um filtro improvisado montado no laboratório, composto por diferentes tipos de materiais filtrantes. A camada superior é constituída por seixos, seguida pela camada de cascalho, a subsequente é de areia lavada e, por fim, a camada inferior é de algodão, que oferece suporte às camadas superiores. Os materiais utilizados neste filtro são de baixo custo para a implementação.

**Figura 25** – Água do rio tratada utilizando filtro sem carvão ativado

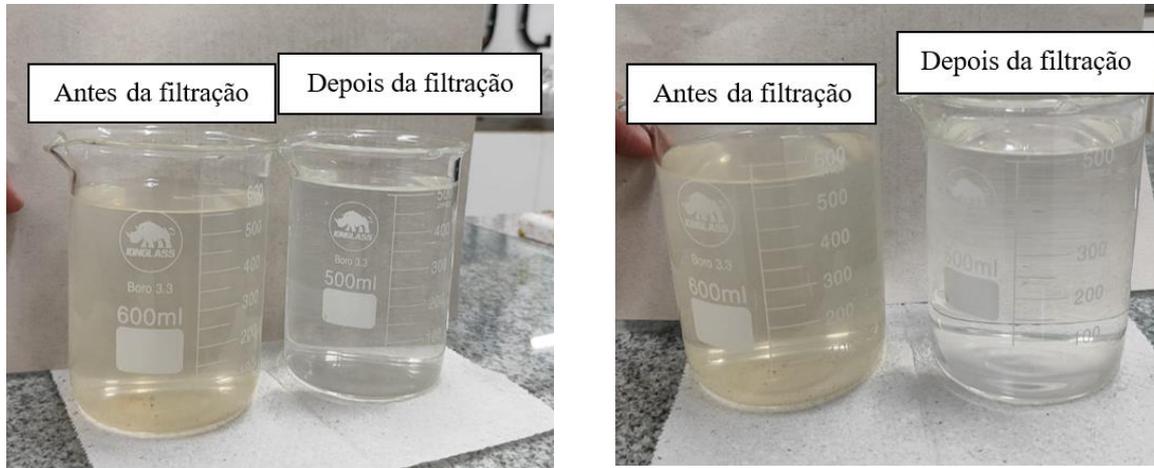


**Fonte:** Autor, 2024.

Na Figura 24, é apresentado o desempenho do filtro sem carvão ativado no tratamento da água do rio. Este meio filtrante demonstrou ser promissor para o tratamento dessas águas, evidenciando sua eficácia na remoção de impurezas e na melhoria da qualidade do recurso

hídrico tratado. A água após a filtragem mostrou-se mais límpida, sem coloração aparente, e não foi observada a presença de partículas suspensas.

**Figura 26** – Água da cacimba tratada utilizando filtro sem carvão ativado



**Fonte:** Autor, 2024.

Evidenciou-se que a água proveniente da cacimba apresentava uma coloração mais acentuada em comparação com a água do rio. Todavia, o filtro demonstrou sua eficácia mesmo diante dessa circunstância, resultando em uma água límpida, transparente, de baixa turbidez e isenta de partículas em suspensão.

Durante o processo de filtração utilizando o filtro contendo carvão ativado, o tempo de percolação da água foi meticulosamente cronometrado. Para filtrar aproximadamente 500 mL de água do rio, registrou-se um intervalo de 1 minuto e 34 segundos, enquanto para a mesma quantidade de água da cacimba foi de 1 minuto e 38 segundos. Já no processo de filtração sem o uso de carvão ativado, os tempos de percolação para as mesmas quantidades de amostras foram, respectivamente, de 1 minuto e 18 segundos para a amostra do rio e 1 minuto e 20 segundos para a amostra da cacimba.

Após projetar o tempo para uma escala correspondente a 1000 litros, que é a quantidade total de água a ser tratada, o procedimento demandou aproximadamente 52,22 horas para ambas as fontes de água utilizando carvão ativado na composição do filtro. Enquanto para o filtro que não utiliza carvão ativado, o tempo necessário para filtrar 1000 litros foi de 43,33 horas. O cálculo para se obter o tempo necessário de filtragem foi feito através da seguinte equação:

$$T * 2 = X * \frac{1000}{3.600}$$

Onde T denota o intervalo de tempo em segundos requerido para filtrar 500 mL, este será duplicado para representar a quantidade em 1 litro da amostra, denominado como X. Em seguida, X ser multiplicado por 1000, que corresponde à quantidade total de água a ser tratada, em seguida dividido por 3.600 que é a quantidade de segundos que possui uma hora.

No entanto, com a implementação do sistema que utiliza uma bomba periférica de 1 CV com vazão de 3 m<sup>3</sup>/h, houve uma redução considerável no tempo de filtragem. Ao calcular o tempo necessário para a filtragem utilizando a seguinte equação:  $T = \frac{Vo}{Va}$ , onde T é o tempo a ser calculado, Vo é o volume e Va é a vazão, dessa forma temos que:

Sabendo que 1 metro cúbico (m<sup>3</sup>) = 1000 litros (L). Então, a vazão da bomba é de:

$$\frac{3 \text{ m}^3}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} = 3.000 \text{ L/h}$$

$$T = \frac{Vo}{Va}$$

$$T = \frac{1000 \text{ L}}{3.000 \text{ L/h}}$$

$$T = 0,33 \text{ horas}$$

Convertendo horas em minutos, multiplicamos por 60:

$$T = 0,33 \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hora}} = 19,8 \text{ minutos}$$

Calculando a eficiência da filtração utilizando a bomba periférica de 1 CV, temos a seguinte equação:

Tempo inicial de filtragem (TI) = 43,33 horas

Novo tempo de filtragem com a bomba (TN) = 19,8 minutos

Convertendo o tempo inicial de filtragem para minutos para que possamos compará-lo diretamente com o novo tempo em minutos:

$$TN = 43,33 \text{ horas} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hora}} = 2.599,8 \text{ min}$$

Calculando a eficiência da bomba, onde E representa a eficiência, temos que:

$$E = \frac{(TI - TN)}{TI} \times 100\%$$

$$E = \frac{(2.599,8 \text{ min} - 19,8 \text{ min})}{2.599,8} \times 100\%$$

$$E = 99,23\%$$

Portanto, a eficiência da bomba é de aproximadamente 99,23% para o tempo de filtragem de 43,33 horas, enquanto para o tempo de filtragem de 52,22 horas, a eficiência é de aproximadamente 99,36 %. Isso representa uma melhoria significativa no tempo de filtragem após a implementação da bomba.

O uso de uma bomba periférica de 1 CV é uma alternativa viável e promissora para otimizar o processo de filtração. De acordo com informações fornecidas pela Equatorial, a companhia elétrica responsável pela região de Viçosa, a tarifa de energia elétrica é fixada em 0,96152 reais por kWh. Considerando o consumo da bomba de 1 kWh por hora e sua frequência de uso estimada em 19,8 minutos por dia durante os 30 dias do mês, o custo mensal de operação da bomba alcança aproximadamente 9,51 reais. Contudo, considerando que esse sistema seja utilizado apenas 15 dias por mês, esse valor reduz para 4,75 reais, tornando-o mais acessível. Esses valores podem ser verificados através do cálculo feito abaixo:

$$\text{Consumo em 19,8 min} = 1 \text{ kWh} \times \frac{19,8}{60} \text{ horas} = 0,33 \text{ kWh}$$

$$\text{Custo diário} = 0,33 \text{ kWh} \times 0,96152 \text{ reais/kWh} = 0,3173016 \text{ reais/dia}$$

$$\text{Custo mensal} = 0,3173016 \text{ reais/dia} \times 30 \text{ dias} = 9,51 \text{ reais}$$

Essa análise de custo revela que a adoção da bomba periférica de 1 CV apresenta-se como uma escolha economicamente vantajosa. Ao reduzir significativamente o tempo necessário para a filtragem, a bomba não apenas aumenta a eficiência do tratamento de água, mas também contribui para a redução dos custos operacionais. Assim, o investimento na bomba periférica não apenas garante uma operação mais eficiente do sistema de filtração, mas também proporciona uma economia significativa a longo prazo.

O sistema proposto é direcionado para comunidades rurais, porém é importante ressaltar que nem todas têm acesso à eletricidade. Nesse sentido, o sistema poderia se tornar inviável em algumas áreas. Para torná-lo mais sustentável e adaptável a essas realidades, uma alternativa seria a integração de placas solares. Apesar do custo inicial relativamente alto para sua implementação, as placas solares oferecem uma significativa redução nos custos de energia ao longo do tempo. Além disso, sua capacidade de fornecer energia em locais remotos, onde não há acesso à eletricidade convencional, é tão crucial quanto a economia financeira proporcionada.

É importante destacar que os resultados obtidos no estudo foram alcançados exclusivamente por meio de ensaios realizados sob condições de gravidade, sem a intervenção de uma bomba. Dessa forma, a introdução de uma bomba no processo de tratamento de água pode potencialmente afetar os resultados alcançados. Isso se deve ao fato de que a adição de uma bomba pode alterar diversos aspectos do sistema, como a taxa de fluxo, a eficácia da filtração e a distribuição dos produtos químicos utilizados no tratamento. Por exemplo, o aumento da velocidade do fluxo de água devido à operação da bomba pode resultar no entupimento dos poros dos materiais granulares no filtro ou na compactação das camadas do filtro, comprometendo assim a eficiência do processo de filtração.

Outro aspecto crucial a ser considerado é a periodicidade na substituição dos materiais do filtro. Conforme Borges (2010), recomenda-se realizar essa troca a cada 6 meses. Essa prática é fundamental para assegurar a eficiência contínua do sistema de filtragem e manter a qualidade da água tratada. A substituição regular dos materiais do filtro é necessária para evitar o acúmulo de sedimentos, resíduos orgânicos e microorganismos, que podem comprometer a eficácia do tratamento e até mesmo resultar em riscos à saúde. Dessa forma, garantir a manutenção adequada do filtro, incluindo a troca periódica dos materiais, é essencial para garantir um fornecimento consistente de água limpa.

## 5.6 Enquadramento dos corpos hídricos baseado na legislação brasileira

No contexto da avaliação ambiental, é crucial comparar os resultados obtidos em estudos específicos com os padrões estabelecidos pelas regulamentações pertinentes. Neste estudo, são examinados os resultados dos parâmetros analisados em comparação com os padrões definidos pela normativa 357/05 do CONAMA.

**Tabela 1- Comparação entre os resultados obtidos e a resolução do CONAMA nº 357/05.**

<b>Parâmetro analisado</b>	<b>Amostra do rio</b>	<b>Amostra da cacimba</b>	<b>Parâmetro CONAMA</b>
Coloração (uH)	199	81	15
pH	6,60	6,18	6,0 a 9,0
Turbidez (uT)	11,6	6,87	1,0
Coliformes Fecais	245	164	4.000 em 100 mL

A Tabela 1, detalha uma comparação minuciosa entre os resultados que foram obtidos durante a análise dos parâmetros específicos em estudo e os padrões estabelecidos pela normativa 357/05 do CONAMA. Essa tabela proporciona uma visão abrangente das discrepâncias ou conformidades entre os dados obtidos e os requisitos regulamentares, permitindo uma avaliação clara do nível de conformidade com as diretrizes estabelecidas.

## 6 CONCLUSÃO

No âmbito do experimento abrangente conduzido para avaliar a qualidade da água proveniente do rio Riachão e de uma cacimba na comunidade Santa Fé onde foi realizado a coleta das amostras, uma série de análises meticulosas foram realizadas. Os resultados obtidos dessas análises fornecem uma visão abrangente sobre a viabilidade e eficácia de diferentes métodos de tratamento e filtragem. Neste contexto, a implementação de soluções acessíveis e sustentáveis surgiu como um ponto crucial, especialmente para comunidades rurais desprovidas de acesso ao abastecimento público de água. Os próximos parágrafos abordam os principais aspectos e considerações resultantes deste estudo, destacando tanto os desafios enfrentados quanto as soluções promissoras identificadas para garantir a disponibilidade de água potável segura para a comunidade analisada.

Os resultados para coloração aparentem revelaram valores consideravelmente superiores aos padrões estabelecidos pelas diretrizes nacionais de qualidade de água. Por outro lado, em relação ao potencial hidrogeniônico (pH) das amostras de água do rio e da cacimba, observou-se conformidade com os padrões estabelecidos para águas potáveis, conforme determinado pela legislação vigente.

Entretanto, a análise de turbidez das amostras revelou valores que excedem os padrões estabelecidos para águas potáveis, indicando uma presença significativa de partículas sólidas em suspensão. Diante disso, a ausência de coagulação nas amostras de água do rio e da cacimba, mesmo após uma série de tentativas utilizando diferentes coagulantes e variação de pH, sugere que a água pode não conter uma quantidade significativa de impurezas que possam ser coaguladas. Esses resultados levantam a possibilidade de que as impurezas presentes na água sejam de natureza menos suscetível à coagulação, o que indica a importância de uma análise mais aprofundada das características individuais das amostras.

Além disso, com base nos resultados da análise microbiológica, é evidente que as amostras atendem aos padrões estabelecidos pela Resolução 357/05 do CONAMA para água de boa potabilidade. Não foram detectadas concentrações de *Escherichia coli* e coliformes fecais que excedam os limites permitidos por essa regulamentação.

Por fim, os resultados obtidos com ambos os tipos de filtro - um utilizando carvão ativado e o outro sem - foram altamente promissores na melhoria da qualidade da água das amostras. Essa eficácia dos filtros na remoção de impurezas e na redução da turbidez foi claramente evidenciada. Ademais, a inclusão da bomba periférica de 1 CV revelou-se uma medida essencial para otimizar o sistema de filtração, garantindo não apenas uma operação mais

eficiente, mas também uma economia considerável a longo prazo em termos de despesas operacionais.

Em suma, os resultados deste estudo destacam a importância de abordagens integradas e sustentáveis no tratamento e fornecimento de água potável para comunidades rurais. As descobertas fornecem uma base sólida para a implementação de soluções eficazes e acessíveis, visando garantir o acesso contínuo à água de qualidade e promover a saúde e o bem-estar das comunidades servidas.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Maria Virgínia da Conceição. et. al. **Filtração direta descendente: conceito, características e aplicações no tratamento de água**. Universidade Estadual da Paraíba. Paraíba, 2019.
- ALCÂNTARA, Enner. et. al. **Integração de dados de alta frequência temporal e imagens MODIS/TERRA para o estudo da turbidez na planície de Curuai**. Universidade Estadual Paulista - Unesp. São Paulo, 2007.
- ALMEIDA, Caio Augusto de. **Aspectos do ciclo de vida de espécies bentônicas nativas e sua utilização na avaliação da qualidade de sedimentos de lagos naturais e reservatórios**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo, 2007.
- ANDRADE, Aparecido Ribeiro de. et. al. **A poluição urbana e o impacto na qualidade da água do rio das antas - Irati/PR**. Universidade Federal de Goiás, campus Jataí. Goiás, 2009.
- ANDRADE, Lázaro Ramom dos Santos. et. al. **Universalização do serviço de abastecimento de água na percepção do usuário no município de Itapororoca (PB)**. Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, 2019.
- BARBOSA, Charles S. et al. **Remoção de compostos fenólicos de soluções aquosas utilizando carvão ativado preparado a partir do aguapé (Eichhornia crassipes): estudo cinético e de equilíbrio termodinâmico**. Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Química. São Luís, Maranhão, Maranhão, 2014.
- BATISTA, Vanessa. et al. **Tecnologias sociais voltadas para o saneamento básico de comunidades ribeirinhas na Amazônia**. Ecogestão Brasil. Belém – PA, 2021.
- BEGNINI, Mauro Luiz. et. al. **Tratamento de água: gradiente de velocidade na coagulação-floculação**. Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química. Minas Gerais, 2017.
- BORGES, Rívea Medri. **Avaliação da remoção de compostos farmacológicos em filtros de carvão granular biologicamente ativado em escala de laboratório**. 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/e0acbfb-e5997-42d4-bd7a-2e9664721ca6/content>. Acesso em: 01 mar. 2024.
- BOTERO, W. G. **Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: Perspectivas de aplicação agrícola**. Quim. Nova, Vol. 32, No. 8, 2009.
- BRAGA, Sheila Regina Maia. **Comparação do potencial erosivo de duas fontes ácidas sobre o esmalte e avaliação de métodos de controle da erosão dental**. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.
- BRAIN KART. **Separation of Mixtures**. 2023. Disponível em: [https://www.brainkart.com/article/Separation-of-Mixtures\\_43022/](https://www.brainkart.com/article/Separation-of-Mixtures_43022/). Acesso em: 21 set. 2023.

- BRITO, Evelyn da Silva. et. al. **Fluorose – da etiologia ao tratamento: uma revisão de literatura**. Centro Universitário Uninorte - Grupo ser educacional. Amazonas, 2020.
- CAMPOS, Sandro Xavier. et. al. **Influência das características das substâncias húmicas na eficiência da coagulação com sulfato de alumínio**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, Brazil, 2005.
- CARRISSO, Regina. et al. **Classificação e Peneiramento: Tratamento de minérios**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia Mineral. Rio Grande do Norte, 2023.
- CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia**. CPRM, ELETROBRÁS. Rio de Janeiro, 1994. p. 384.
- Casa dos Químicos. **Carbonato de Sódio (Barrilha Leve) 1 Kg**. 2023. Disponível em: <https://www.casadosquimicos.com.br/produto/carbonato-de-sodio-barrilha-leve-1-kg-150156>. Acesso em: 04 jan. 2024.
- Casa dos Químicos. **Sulfato de Alumínio 1 Kg**. 2023. Disponível em: <https://www.casadosquimicos.com.br/produto/sulfato-de-aluminio-1-kg-150181>. Acesso em: 21 dez. 2023.
- CETESB. **O problema da escassez de água no mundo**. 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escasez-de-agua-no-mundo/>. Acesso em: 24 jul. 2023.
- CIRNE, José Raniery Rodrigues. et. al. **Tecnologia de dupla filtração para o tratamento de água eutrofizada: Revisão**. Universidade Estadual da Paraíba. Paraíba, 2019.
- Coagulation flocculation**. Université d’Abomey-Calavi. Benim, 2013.
- CORDEIRO, Sandra Zorat. **Aloe vera (L.) Burm.f**. 2020. Disponível em: <https://www.unirio.br/ccbs/ibio/herbariohuni/aloe-vera-l-burm-f>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- COSTA, Paula Alessandra Bonin da. **Utilização de sais de orto-polifosfatos na inibição do processo de corrosão em tubulações da rede de distribuição de água**. Universidade de São Paulo, Departamento de Hidráulica e Saneamento. São Paulo, 1998.
- DAGNINO, Renato. et al. **Tecnologia Social: Ferramenta para construir outra sociedade**. Campinas: Editora da Unicamp, 2009. 182 p.
- DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. Oficina de textos. 4. ed. São Paulo, 2016. p. 22.
- DIAS, Fernando. **Efeitos do CO2 em sistemas de purificação de água**. NewsLab. 2017. Disponível em: <https://newslab.com.br/efeitos-do-co2-em-sistemas-de-purificacao-de-agua/>. Acesso em: 21 dez. 2023.
- ENDURAMAXX. **What are the Principles of Flocculation & Coagulation in Wastewater treatment**. 2024. Disponível em: <https://blog.enduramaxx.co.uk/news/what-are-the->

principles-of-flocculation-coagulation-in-wastewater-treatment/. Acesso em: 02 jan. 2024.

EQUATORIAL. **Valor de tarifas e serviços**. 2024. Disponível em: <https://pa.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/valor-de-tarifas-e-servicos/#residencial-normal>. Acesso em: 20 fev. 2024.

FABRIS, Antonio Ribeiro. **Avaliação da temperatura e precipitação pluviométrica no entorno do Colégio Estadual Tancredo Neves em Maringá – PR**. 2012. Disponível em:

[http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes\\_pde/2012/2012\\_uem\\_geo\\_pdp\\_antonio\\_ribeiro\\_fabris.pdf](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2012/2012_uem_geo_pdp_antonio_ribeiro_fabris.pdf). Acesso em: 27 set. 2023.

FAPESP; ZIEGLER, Maria Fernanda. **Desafios globais envolvem acesso à água, alimento e energia**. 2018. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/desafios-globais-envolvem-acesso-a-agua-alimento-e-energia/29007/>. Acesso em: 24 jul. 2023.

FERNANDES, Gonçalo. **Praias fluviais e Desenvolvimento Turístico: significado e contribuições para a apreciação do destino Estrela Geopark**. 2021. Disponível em: [https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/7276/1/CITUR\\_2020\\_Proceedings%20Book%20ITC20.pdf#page=304](https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/7276/1/CITUR_2020_Proceedings%20Book%20ITC20.pdf#page=304). Acesso em: 27 set. 2023.

FERREIRA, Regina Glaucia Lucena Aguiar. et. al. **Fluoretação da água: significados e lei da obrigatoriedade na visão de lideranças em saúde**. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

FRANÇA, Simone Alves de Souza. et al. **Avaliação de sistemas de filtração a baixo custo para tratamento de águas cinzas para reuso não potável**. Centro Universitário Mauricio de Nassau. Campina Grande, Paraíba, 2019.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual Prático de Análise de Água**. 2013.

FURTADO, Marcelo. **Desinfecção – Alternativas ao cloro melhoram qualidade da água, com segurança**. 2011. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/desinfeccao-alternativas-ao-cloro-melhoram-qualidade-da-agua-com-seguranca/>. Acesso em: 03 nov. 2023.

GAUTO, Marcelo. et. al. **Química industrial**. Tekne Editora. 1. ed. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2013. p. 24.

GREENTECH. **Medidor pH de Mesa Laboratório**. 2024. Disponível em: <https://greentechmexico.com/shop/medidores-de-orp-redox/medidor-ph-de-mesa-laboratorio-mw150-max-milwaukee/>. Acesso em: 28 mar. 2024.

HAMOUDA, Reena Waheep. **Evaluation of Selected Local Media for Water Treatment by Columns Filtration**. Al-Azhar University-Gaza. Palestina, 2015.

HENRIMAR. **Como usar a barrilha para balancear o pH**. Disponível em: <https://henrimar.com.br/saiba-como-usar-barrilha-para-balancear-o-ph-da-piscina/>. Acesso em: 04 jan. 2024.

- HILLEBRAND, Felipe José. **Caracterização da matéria orgânica dissolvida em processos de tratamento de água para consumo humano usando fracionamento rápido.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre (RS). Rio Grande do Sul, 2020.
- HIRATA, Ricardo. et al. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento.** Universidade de São Paulo, Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas. São Paulo, 2019.
- INSTRUTHERM. **Manual de instruções: Medidor de pH modelo: pH-2600.** 2013. Disponível em: [https://www.instrutherm.com.br/media/catalog/product/p/h/ph-2600\\_vers\\_pdf.pdf](https://www.instrutherm.com.br/media/catalog/product/p/h/ph-2600_vers_pdf.pdf). Acesso em: 06 nov. 2023.
- IRMA, Nougode Yéwêgnon. et. al. **Evaluation of Aloe vera leaf gel as a Natural Flocculant: Phytochemical Screening and Turbidity removal Trials of water by**
- JESSIE, Kamila. **O que é coagulação e por que é tão importante para o tratamento de água?** 2020. Disponível em: <https://engenharia360.com/o-papel-da-coagulacao-no-tratamento-de-agua/>. Acesso em: 02 out. 2023.
- JIAO, Jiu Jimmy. et al. **An analytical solution of groundwater response to tidal fluctuation in a leaky confined aquifer.** Department of Earth Sciences, University of Hong Kong. Hong Kong, China, 1999.
- JUÁREZ-SANTILLÁN, Luis Felipe. et. al. **Peróxido de hidrógeno y bicarbonato de sodio para control de gomosis en el cultivo de naranja Valencia.** Univerisdad Tecnológica de Gutiérrez Zamora. Mexico, 2022.
- KUHNEN, Mirian. et. al. **Qualidade da água tratada: avaliação dos teores de flúor em 10 anos de heterocontrole no município de Lages, Santa Catarina, Brasil.** Universidade do Planalto Catarinense. Santa Catarina, 2017.
- LABHOUSE. **Colorímetro Microprocessado Digital.** 2024. Disponível em: <https://www.labhouse.com.br/colorimetro-microprocessado-digital-cloro>. Acesso em: 28 mar. 2024.
- LABOLAN. **Turbidímetro Tub.** 2024. Disponível em: <https://www.labolan.es/es/producto/turbidimetro-tub.html>. Acesso em: 28 mar. 2024.
- LAVOR, Catarina Ferreira Cipauba de. **Verificação da conformidade da qualidade da água de piscinas de acordo com a NBR 10818/2016.** Universidade Federal do Ceará. Ceará, 2019.
- LEGNER, Carla. **Coagulantes Para Efluentes.** 2017. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/18/coagulantes-para-efluentes>. Acesso em: 02 out. 2013.
- LOIVOS, Ana Catarina Busch. **Heterocontrole das águas de abastecimento no estado do Rio de Janeiro.** Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Odontologia. Rio de Janeiro, 2012.

- MAT, Mahmut. **Transporte e Deposição de Sedimentos**. 2023. Disponível em: <https://pt.geologyscience.com/ramos-de-geologia/sedimentologia/transporte-e-deposi%C3%A7%C3%A3o-de-sedimentos/>. Acesso em: 27 set. 2023.
- MELO, Andriane. et. al. **Avaliação de Aloe arborescens como coagulante para remoção de cor e turbidez em tratamento convencional de água**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano Campus Rio Verde. Goiás, 2020.
- MEYER, Sheila T. **O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública**. Instituto de Ecologia e Meio Ambiente, Secretaria do Meio Ambiente Ciência e Tecnologia do Distrito Federal. Brasília, 1994.
- Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS N° 888, de 4 de maio de 2021**. 2021. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_24\\_05\\_2021\\_rep.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_24_05_2021_rep.html). Acesso em: 13 dez. 2023.
- Ministério da Saúde. **Portaria N° 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. 2011. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Acesso em: 13 dez. 2023.
- Ministério da Saúde. **Portaria N° 518, de 25 de março de 2004**. 2004. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2004/prt0518\\_25\\_03\\_2004.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2004/prt0518_25_03_2004.html). Acesso em: 13 dez. 2023.
- MONTEIRO, Tânia Margarida Lopes. **Fluorose e os seus fatores etiológicos**. Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2015.
- NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do (org.) et al. **Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicações em matrizes ambientais**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2017.
- NAUTILUS. **Como usar a quantidade certa de cloro**. 2024. Disponível em: <https://nautilusbr.com/blog/cloro-para-piscina/>. Acesso em: 01 abr. 2024.
- NUNES, Shirille Katia da Silva. **Tratamento de água de produção de petróleo visando o aproveitamento na obtenção de barrilha**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte, 2013.
- OLIVEIRA, Everton. **Técnicas de tratamento de água superficial**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/dbd7558e-3dcd-4935-89e9-3a3cefa1ff56/3099795.pdf>. Acesso em: 25 out. 2023.
- ONU. **25% da população mundial não tem acesso a água potável, alerta ONU**. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/204766-25-da-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-n%C3%A3o-tem-acesso-%C3%A1gua-pot%C3%A1vel-alerta-onu>. Acesso em: 23 jul. 2023.
- PEREIRA, Carlos Alberto. et. al. **Depressants for dolomites in willemite flotation**. Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia de Minas. Minas Gerais, Brazil, 2011.

- PEREIRA, Francisco Sávio Gomes. **Processos Químicos**. Instituto Federal de Pernambuco, Campus Ipojuca. Pernambuco, 2015.
- PIANOWSKI, Eloisa Helena. et. al. **Desinfecção de efluentes sanitários com uso de cloro: avaliação da formação de trihalometanos**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.
- POLICONTROL. **Manual Turbidímetro 2000AP**. 2010. Disponível em: [https://kupdf.net/download/manualturbidimentoap2000rev02-03-2010\\_641126b9e2b6f51220c97827\\_pdf](https://kupdf.net/download/manualturbidimentoap2000rev02-03-2010_641126b9e2b6f51220c97827_pdf). Acesso em: 06 nov. 2023.
- SAKAI, Suzana. **Agentes Químicos Desinfetantes: Essenciais Para O Tratamento De Água**. 2017. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Noticia/67429/agentes-quimicos-desinfetantes-essenciais-para-o-tratamento-de-agua>. Acesso em: 03 nov. 2023.
- SANCHES, Sérgio M. et. al. **Agentes Desinfetantes Alternativos para o Tratamento de Água**. 2003. Disponível em: <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc17/a03.pdf>. Acesso em: 30 out. 2023.
- SANT'ANA, Anderson de S. et. al. **Qualidade microbiológica de águas minerais**. SENAI, Centro de Tecnologia de Alimentos e Bebidas. Rio de Janeiro, 2003.
- SANTANA, Giuliana Buzelli. et. al. **Aplicação da semente de moringa (Moringa oleífera) como coagulante natural no tratamento de efluente de uma indústria de tintas no Ceará**. Centro Universitário UniFanor. Ceará, 2020.
- SCALIZE, Paulo Sérgio. **Tecnologias sociais de saneamento rural**. 2017. Disponível em: [https://publica.ciar.ufg.br/ebooks/saneamento-e-saude-ambiental/modulos/5\\_modulo\\_saneamento/02-1.html](https://publica.ciar.ufg.br/ebooks/saneamento-e-saude-ambiental/modulos/5_modulo_saneamento/02-1.html). Acesso em: 21 set. 2023.
- SETTI, Arnaldo A. et al. **Recursos Hídricos. In: Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 2ª ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2001.
- SILVA DA FONSECA, Djane. e.t al. **Avaliação dos impactos da poluição nos recursos hídricos da bacia do rio mundaú (AL e PE)**. Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas. Paraíba, 2007.
- SILVA, Elmo Rodrigues da. **O curso da água na história: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos: Contribuições conceituais e metodológicas**. Fundação Oswaldo Cruz, Escola nacional de saúde pública. Rio de Janeiro, 1998.
- SILVA, Felipe. et. al. **Avaliação de um sistema composto por filtração ascendente e radiação ultravioleta no tratamento da água de chuva**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, 2018.
- SOUZA, Samuel Autran Dourado e. **Educação ambiental na implantação de tecnologia social em saneamento sustentável**. Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Educação. Rio Grande do Sul, 2020.

- STANDARD. **Methods for the Examination of water and wastewater.** 20 ed. Washington, 2001.
- TEIXEIRA, Celimar Azambuja. et. al. **Comparative Analysis of Granular and Membrane Filters for Rainwater Treatment.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2019.
- TONETTI, Adriano Luiz. et al. **Tratamento de esgoto e produção de água de reúso com o emprego de filtros de areia.** Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 2012.
- TUNDISI, José G. **Recursos Hídricos no Brasil: uma síntese. In: Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro.** Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro, 2014.
- VAZ, Luiz Gustavo de Lima. et. al. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia.** Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) - Centro de Engenharias e Ciências Exatas. Paraná, 2011.
- VT Engenharia Ambiental. **O que é Hipoclorito de Sódio em Estações de Tratamento de Água?** 2024. Disponível em: <https://vtengenhariaambiental.com.br/glossario/o-que-e-hipoclorito-de-sodio-em-estacoes-de-tratamento-de-agua>. Acesso em: 01 mar. 2024.
- WHATELY, Marussia. et. al. **O século da escassez: Uma nova cultura de cuidado com a Água: Impasses e Desafios.** Editora Schwarcz-Companhia das Letras. São Paulo, 2016. p. 7.
- ZOLETT, Elis Regina. et. al. **Uso de polímero natural a base de tanino (tanfloc) para o tratamento de água para o consumo humano.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, 2013.