



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO TRINDADE FERREIRA

**APLICAÇÃO DE SEMENTES DE *MORINGA OLEÍFERA* COMO AGENTE  
COAGULANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE RESERVATÓRIOS DO  
AGRESTE E SERTÃO DA PARAÍBA**

JOÃO PESSOA

2023

LEONARDO TRINDADE FERREIRA

**APLICAÇÃO DE SEMENTES DE *MORINGA OLEÍFERA* COMO AGENTE  
COAGULANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE RESERVATÓRIOS DO  
AGRESTE E SERTÃO DA PARAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil da  
Universidade Federal da Paraíba, como um dos  
requisitos obrigatórios para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Albanise Barbosa  
Marinho

JOÃO PESSOA

2023

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

F383a Ferreira, Leonardo Trindade.

Aplicação de sementes de Moringa oleífera como agente coagulante no tratamento de águas de reservatórios do Agreste e Sertão da Paraíba / Leonardo Trindade Ferreira. - João Pessoa, 2023.

59 f. : il.

Orientação: Albanise Barbosa Marinho.  
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Escassez hídrica. 2. Tratamento de águas. 3. Moringa oleífera. 4. Coagulação. 5. Coagulante natural. I. Marinho, Albanise Barbosa. II. Título.

UFPB/BSCT

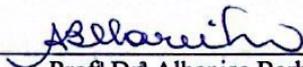
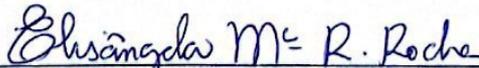
CDU 624(043.2)

## FOLHA DE APROVAÇÃO

LEONARDO TRINDADE FERREIRA

### APLICAÇÃO DE SEMENTES DE *MORINGA OLEÍFERA* COMO AGENTE COAGULANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE RESERVATÓRIOS DO AGRESTE E SERTÃO DA PARAÍBA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 06/06/2023 perante a seguinte Comissão Julgadora:

 Prof. Dr. Albanise Barbosa Marinho Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	<u>APROVADO</u>
 Prof. Dr. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	<u>APROVADO</u>
 Prof. Dr. Elisângela Maria Rodrigues Rocha Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	<u>APROVADO</u>

Prof. Pablo Brilhante de Souza  
Matrícula Siape: 1483214  
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Civil

*Dedico este trabalho aos meus avós,  
Luiza e Miguel (in memoriam), que  
acreditaram em minha capacidade  
antes mesmo que eu pudesse.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e Santa Rita de Cássia, santa celebrada no dia em que nasci e que a tenho como protetora, por iluminarem e guiarem o meu caminho ao longo de toda a minha vida, especialmente durante este período.

Aos meus queridos pais, Izabel Cristina Trindade e Lúcio de Souza Ferreira, por proporcionarem todo o apoio possível para que eu tivesse a oportunidade de cursar uma graduação. Obrigado pelo amor, ternura, confiança, incentivo e cuidado, mas principalmente por serem exemplos de perseverança e resiliência. Esta conquista é dedicada a vocês.

Às minhas tias Célia, Marta, Mônica, Nena e Selma Trindade, ao meu tio Miguel Trindade e aos demais familiares, por acreditarem que eu teria capacidade e determinação para chegar até aqui. O apoio de vocês foi primordial para tornar este período mais ameno e feliz. Agradeço especialmente à minha prima-sobrinha Maria Eduarda Trindade de Figueiredo por ser uma alegria constante em minha vida nestes últimos dois anos.

À Professora Albanise Barbosa Marinho, por ter me dado a oportunidade de desenvolver este trabalho. Agradeço pelo apoio, amizade, ensinamentos, solicitude, colaboração, paciência e por ser um exemplo de profissional a ser seguido.

À Professora Elisângela Maria Rodrigues Rocha pela disponibilidade, colaboração e ensinamentos.

Agradeço aos amigos Isabelle Nunes, Fabio Queiroz, Rogério Marinho, Samara Fernandes, Vanessa Lins e Waleska Martins por estarem ao meu lado no início desta aventura. Fabio, obrigado pela amizade, serenidade, imensurável amparo e por me ajudar a escapar das aflições que surgiam com a graduação e a vida. Sem a sua ajuda eu não teria conseguido chegar até aqui. Waleska e Isabelle, agradeço pelo companheirismo, apoio e amizade. O trajeto foi mais alegre e plácido ao lado de vocês.

Às amigas Ellen Victória e Myrella Pequeno, por terem sido companheiras de importância indiscutível nestes anos de graduação. A parceria, amizade, incentivo e força vinda de vocês foi essencial para esta caminhada.

À amiga Beatriz Frade, por estar na minha vida desde o começo. Bia, obrigado por sempre se fazer presente mesmo quando não é fisicamente possível. É um prazer compartilhar a vida, as leituras e as músicas com você.

Às amigas Anne Eliza Viana, Luarah Vasconcelos e Mariana Duarte, por me acolherem quando mais precisei, em um recomeço. Agradeço pelo apoio, leveza, parceria, companheirismo e pelos momentos de alegria. Esta conquista não seria possível sem vocês. Agradeço à Naíra Amaral e Nathaly Félix pelo suporte e amizade.

Ao LABSAM e aos técnicos Dorivaldo, Elson e Romildo, pelos ensinamentos, colaboração e assistência. Agradeço à Viviane França pela disponibilidade, parceria e colaboração com as diferentes etapas desta pesquisa e à Amanda, Iris, Millena e Samara pelo auxílio e ensinamentos.

Agradeço aos demais colegas e amigos que me apoiaram direta ou indiretamente a tornar a graduação um sonho possível de ser realizado.

## RESUMO

A escassez hídrica é um fenômeno que provoca diversas consequências socioambientais no Brasil e no mundo. Faz-se necessário, portanto, o desenvolvimento de tecnologias que promovam cada vez mais a acessibilidade à água de forma segura e eficaz, como o tratamento de águas por métodos alternativos. Estudos demonstram que a semente de *Moringa oleífera* (*MO*) possui propriedades de coagulação e que o uso de sulfato de alumínio como coagulante químico pode estar ligado ao desenvolvimento de doenças neurológicas. Como forma de tornar os processos de tratamento de águas cada vez mais seguros e sustentáveis, o desempenho da semente de *MO* como coagulante natural está sendo estudado. Desta forma, o presente trabalho teve o intuito de avaliar a eficiência da semente de *Moringa oleífera* como coagulante natural no tratamento de águas coletadas no estado da Paraíba, em um pequeno reservatório no município de Queimadas/PB e no Açude Grande, em Cajazeiras/PB e subsequente uso em atividades de agricultura familiar. As sementes de *MO* foram descascadas, secas em estufa, pulverizadas e aplicadas nas águas em estado bruto, que foram submetidas a 2 e 48 horas de sedimentação. De maneira a facilitar a aplicação da metodologia pelos produtores rurais em campo, utilizou-se o coagulante natural em tratamentos variando de 20 a 100 sementes por 500 mL de amostra. A análise de qualidade da água foi feita por meio dos seguintes parâmetros físico-químicos: turbidez, cor aparente (CA), pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) e dureza total, como forma de avaliar o desempenho do coagulante e constatar a configuração de tratamento mais eficiente. A aplicação desta metodologia resultou em uma remoção de 88,25% e 70% de turbidez e cor aparente, respectivamente, para a água coletada em Queimadas/PB. Entretanto, demonstrou ineficiência para a água do Açude Grande/PB ao se verificar um acréscimo em turbidez e cor aparente entre os diferentes números de sementes e tempos de sedimentação.

**PALAVRAS-CHAVES:** Escassez hídrica, Tratamento de águas, *Moringa oleífera*, Coagulação, Coagulante natural.

## ABSTRACT

Water scarcity is a phenomenon which causes many socio environmental issues in Brazil and in the world. Accessibility to safe and efficient water resources through the development of technologies such as alternative water treatment methods is needed. Studies show that *Moringa oleifera* seeds (*MO*) have coagulation properties and that the usage of standard chemical coagulants such as aluminum sulfate, could be linked to the development of neurological diseases. In order to turn water treatment methodologies safer and more sustainable, done with local inputs and with lower financial costs, the performance of *Moringa oleifera* seeds as a natural coagulant has been studied. Therefore, this present study aims to analyze the efficiency of *MO* seeds as a natural coagulant in the treatment of water samples from a small reservoir in the city of Queimadas and Açude Grande reservoir, in Cajazeiras, state of Paraíba. *MO* seeds were shelled, oven dried, powdered and applied in raw water, which was then submitted to 2 and 48 hours of settling time. In order to make this methodology easier to apply by rural producers during field activities, the natural coagulant was used in a range of 20 to 100 seeds per 500 mL of water sample. Water quality analysis was done using the following physical-chemical parameters: turbidity, apparent color (AC), pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS) and total hardness, so that the coagulant's performance and the most efficient treatment arrangement could be verified. This methodology resulted in a 88,25% and 70% removal of turbidity and apparent color, respectively, from Queimadas' water sample. Nonetheless, it was inefficient on treatment of Açude Grande's water sample by increasing initial turbidity and apparent color according to the number of seeds and settling time.

**KEYWORDS:** Water scarcity, Water treatment, *Moringa oleifera*, Coagulation, Natural coagulant.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Funcionamento de uma ETA .....	19
Figura 2 - Carga elétrica em uma partícula coloidal .....	20
Figura 3 - Etapas de preparação de coagulantes naturais .....	23
Figura 4 - Localização dos pontos de coleta no mapa da Paraíba .....	29
Figura 5 - Pequeno reservatório, Queimadas/PB.....	30
Figura 6 - Açude Grande, Cajazeiras/PB.....	31
Figura 7 - Etapas da preparação do coagulante natural: a) contagem das sementes e identificação das proporções; b) descascamento das sementes; c) secagem em estufa; d) pulverização; e) pesagem em balança analítica .....	33
Figura 8 - Amostra de água coletada do Açude Grande, Cajazeiras .....	34
Figura 9 - Aplicação do tratamento em diferentes proporções para as amostras coletadas do: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras .....	35
Figura 10 - <i>Jar-test</i> .....	36
Figura 11 - Águas, em estado bruto, coletadas no: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras .....	38
Figura 12 - Resultados obtidos para a turbidez de acordo com os diferentes tempos de decantação e proporções de sementes, para as amostras do: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras .....	40
Figura 13 - Comparativo entre a água bruta coletada no pequeno reservatório em Queimadas e tratada com 60 sementes de <i>MO</i> em 2 horas de decantação.....	41
Figura 14 - Comparativo entre a água bruta coletada no Açude Grande, em Cajazeiras e tratada com 100 sementes de <i>MO</i> em 48 horas de decantação.....	41
Figura 15 – Resultados obtidos para a cor aparente de acordo com os diferentes tempos de decantação e proporções de sementes, para as amostras do: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras .....	43
Figura 16 - Comparativo entre a água bruta coletada no pequeno reservatório, em Queimadas e tratada com 20 sementes de <i>MO</i> em 2 horas de decantação .....	44
Figura 17 - Comparativo entre a água bruta coletada no Açude Grande, em Cajazeiras e tratada com 20 sementes de <i>MO</i> em 2 horas de decantação.....	44

Figura 18 - Resultados obtidos para o pH de acordo com os diferentes tempos de decantação e proporções de sementes, para as amostras do: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras.....45

Figura 19 – Resultados obtidos para os sólidos totais dissolvidos (STD) de acordo com os diferentes tempos de decantação e proporções de sementes, para as amostras do: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras.....46

Figura 20 – Resultados obtidos para a condutividade elétrica (CE) de acordo com os diferentes tempos de decantação e proporções de sementes, para as amostras do: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras.....48

Figura 21 – Resultados obtidos para a dureza total de acordo com os diferentes tempos de decantação e proporções de sementes, para as amostras do: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras .....49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices pluviométricos dos municípios de Queimadas e Cajazeiras, referentes ao primeiro semestre de 2022 e 2023, respectivamente .....	30
Tabela 2 – Valores médios das massas das sementes de <i>MO</i> de acordo com as proporções utilizadas nos tratamentos.....	33
Tabela 3 - Caracterização da água em estado bruto .....	38
Tabela 4 - Resumo das análises de variância dos parâmetros turbidez, CA, pH e CE da água coletada no município de Queimadas, Paraíba e tratada com sementes de <i>Moringa oleífera</i> .	50
Tabela 5 - Resumo das análises de variância dos parâmetros dureza total e STD da água coletada no município de Queimadas, Paraíba e tratada com sementes de <i>Moringa oleífera</i> .	51
Tabela 6 - Resumo das análises de variância dos parâmetros físico-químicos da água coletada no Açude Grande, Cajazeiras/PB e tratada com sementes de <i>Moringa oleífera</i> .....	52
Tabela 7 - Resumo das análises de variância dos parâmetros físico-químicos da água coletada no Açude Grande, Cajazeiras/PB e tratada com sementes de <i>Moringa oleífera</i> .....	52

## LISTA DE SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba  
ANA – Agência Nacional de Águas  
ANOVA – *Analysis of Variance*  
CA – Cor Aparente  
CE – Condutividade Elétrica  
COD – Carbono Orgânico Dissolvido  
CV – Coeficiente de Variação  
DP – Desvio Padrão  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
DT – Dureza Total  
EDTA – *Ethylenediamine tetraacetic acid*  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
ETA – Estação de Tratamento de Água  
FV – Fonte de Variação  
GL – Grau de Liberdade  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INSA – Instituto Nacional do Semiárido  
LABSAM – Laboratório de Saneamento Ambiental  
MO – *Moringa oleífera*  
NBR – Norma Brasileira  
Ns – Não Significativo Pelo Teste  
NS – Número de Sementes  
PB – Paraíba  
PET – Polietileno Tereftalato  
PVC – Policloreto de Vinilo  
RPM – Rotações por Minuto  
SODIS – *Solar Water Disinfection*  
STD – Sólidos Totais Dissolvidos  
SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste  
TD – Tempo de Decantação  
UC – Unidades de cor  
uH – Unidades de Hazen

UNT – Unidades Nefelométricas de Turbidez

VA – Volume de Amostra

VMP – Valor Máximo Permitido

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. OBJETIVOS GERAIS.....	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
3.1. ÁGUA: QUALIDADE E QUANTIDADE .....	17
3.1.1. Poluição ambiental .....	17
3.1.2. Contaminação de corpos hídricos.....	17
3.1.3. Escassez hídrica.....	18
3.2. TRATAMENTO DE ÁGUAS .....	18
3.2.1. Processos de tratamento.....	19
3.2.2. Coagulação e floculação.....	20
3.3. TRATAMENTO DE ÁGUAS POR MÉTODOS ALTERNATIVOS .....	21
3.3.1. Coagulantes naturais.....	22
3.3.2. <i>Moringa oleífera</i> .....	23
3.3.2.1. Propriedades físico-químicas da semente de <i>Moringa oleífera</i> .....	24
3.4. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS .....	25
3.4.1. Turbidez.....	25
3.4.2. Cor aparente.....	26
3.4.3. pH .....	26
3.4.4. Sólidos totais dissolvidos.....	27
3.4.5. Condutividade elétrica.....	27
3.4.6. Dureza total.....	28
4. METODOLOGIA .....	29
4.1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	29
4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE ÁGUA.....	29

4.2.1.	Pequeno reservatório, Queimadas/PB .....	30
4.2.2.	Açude Grande, Cajazeiras/PB .....	31
4.3.	PREPARAÇÃO DO COAGULANTE NATURAL.....	32
4.4.	APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS E ANÁLISE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	34
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	38
5.1.	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA .....	38
5.2.	ANÁLISE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS APÓS O TRATAMENTO COM SEMENTES DE <i>MORINGA OLEÍFERA</i> .....	39
5.2.1.	Turbidez.....	39
5.2.2.	Cor aparente.....	42
5.2.3.	pH .....	45
5.2.4.	Sólidos totais dissolvidos.....	46
5.2.5.	Condutividade elétrica.....	47
5.2.6.	Dureza total.....	49
5.2.7.	Análise estatística .....	50
6.	CONCLUSÕES.....	53
	REFERÊNCIAS .....	54

## 1. INTRODUÇÃO

Em escala nacional, discute-se amplamente a qualidade da água provida ao abastecimento da população. No Nordeste brasileiro, as reservas hídricas em níveis abaixo do convencional podem ser resultado de fatores como características geoambientais. A intensificação da escassez hídrica pode ocorrer devido à baixos níveis de precipitação (SILVA et al., 2020). Além disso, a ineficácia em gestão pode levar a um repasse inconstante dos recursos hídricos, condicionante à escassez hídrica na região (COSTA et al., 2022).

A segurança na qualidade da água consumida pela população em situação de escassez hídrica deve ser constantemente monitorada, visto que nestes casos faz-se necessário a realização de processos de tratamento para que os padrões de potabilidade sejam garantidos (SILVA et al., 2020). De acordo com Megersa et al. (2016), áreas rurais de países em desenvolvimento estão no centro da preocupação acerca do consumo impróprio de água, considerando que o não tratamento de água é refletido em 75% do surgimento de doenças.

Em situações de racionalização de recursos hídricos, faz-se necessário a procura por meios que garantam a manutenção de atividades antrópicas, visto que o consumo humano é tido como uma prioridade (COSTA et al., 2022).

A inserção de sistemas de saneamento em comunidades rurais é passiva às características locais. Isto posto, o direcionamento de procedimentos de tratamento de águas deve ser feito perante metodologias simplificadas e realizadas com custos reduzidos, considerando o usuário como instalador e monitorador do sistema. A aplicação de coagulantes naturais nestes processos está entre as ações aconselhadas à essa população (ARANTES et al., 2015).

A biodegradabilidade e baixos níveis de toxicidade favorecem a utilização de coagulantes naturais em detrimento dos coagulantes químicos. A *Moringa oleífera* é uma árvore com cultivo beneficiado em regiões do tipo secas e úmidas, além de frutificar em solos com deficiência em nutrientes. A presença de proteínas catiônicas na composição das sementes dessa árvore atribui características coagulantes a espécie, fator responsável por colaborar na redução de turbidez e cor durante os processos de tratamento de água (OLIVEIRA et al., 2018).

Diante do exposto, o presente trabalho teve o intuito de avaliar a eficiência da aplicação da semente de *Moringa oleífera* como coagulante natural em amostras de águas coletadas em um pequeno reservatório, no município de Queimadas e no Açude Grande, em Cajazeiras, interior da Paraíba. Para este propósito, foram feitas análises de qualidade das águas por meio de parâmetros físico-químicos para a obtenção de um panorama da funcionalidade e influência

do coagulante natural no processo de tratamento de água. Por fim, fez-se uso de testes de variância para constatar a significância do tratamento para com os parâmetros testados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVOS GERAIS**

Verificar a eficiência da semente de *Moringa oleífera* como coagulante natural no tratamento de águas coletadas em um pequeno reservatório no município de Queimadas e no Açude Grande, localizado em Cajazeiras, Paraíba e destinadas ao uso em atividades de agricultura familiar.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar o número ideal de sementes para o uso em tratamento de águas;
- Identificar o tempo de decantação ideal para o processo de coagulação e floculação;
- Avaliar o desempenho do coagulante natural por meio da análise de qualidade da água com os seguintes parâmetros físico-químicos: turbidez, cor aparente, pH, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e dureza total das amostras de água dos corpos hídricos.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. ÁGUA: QUALIDADE E QUANTIDADE**

##### **3.1.1. Poluição ambiental**

A multidisciplinaridade da área ambiental designa o conceito de poluição ambiental perante alguns setores. Este fenômeno pode ser descrito por meio da atuação de agentes de diversos tipos na mudança de características inerentes ao meio ambiente de modo a atingir negativamente a saúde, segurança e bem-estar dos indivíduos (VIANNA, 2015).

De acordo com Vianna (2015), a classificação da poluição ambiental é dada pela divergência das subseqüentes áreas: do solo, hídrica, atmosférica, entre outras. Compostos químicos e resíduos eletrônicos e orgânicos estão entre os agentes poluidores.

##### **3.1.2. Contaminação de corpos hídricos**

A perda na qualidade da água é ocasionada por algumas substâncias como os metais pesados, tintas, patógenos e matéria orgânica. Além disso, os corpos hídricos têm como vulnerabilidade a poluição, exclusivamente (SARAVANAN et al., 2021). A mudança de características físico-químicas da água ao ponto de dificultar o aproveitamento dos seus benefícios por meio da inserção de substâncias ou energias é tido como poluição hídrica (VIANNA, 2015).

O despejo de esgoto doméstico em corpos d'água sem o tratamento prévio é responsável por disseminar inúmeras conseqüências ambientais, entre elas a propagação de doenças e poluição de águas superficiais. Isto posto, existe um risco permanente às comunidades rurais que consomem águas com potabilidade baixa (MONACO, 2010). A intensificação da matéria orgânica causada pela disposição de esgotos domésticos não tratados também ocasiona a queda das taxas de oxigênio na água pela presença de algas e conseqüentemente contribui para a mortandade de seres, desequilibrando o ecossistema local (VIANNA, 2015).

De acordo com Saravanan et al. (2021), a contínua exacerbação da poluição de corpos hídricos e o consumo de água neste estado é uma realidade em uma grande quantidade de países em desenvolvimento.

Efluentes industriais contribuem para a poluição de corpos hídricos (SARAVANAN et al., 2021). Além destes, poluentes orgânicos podem ser incorporados às águas superficiais através da ação de poluentes transportados pelo ar, como materiais particulares (UKAOGO; EWUZIE; ONWUKA, 2020).

Em contrapartida, a poluição das águas também ocorre de maneira natural: os corpos hídricos são contaminados através de formações minerais presentes em águas subterrâneas. Este minério é formado abundantemente por metais tóxicos e está ligado às altas taxas de arsênio (UKAOGO; EWUZIE; ONWUKA, 2020).

Uma forma de atenuar as consequências causadas pela poluição hídrica à saúde da população e ao meio ambiente é através de metodologias de tratamento do tipo físicas, químicas e biológicas. Entre os processos responsáveis pela remoção de poluentes em corpos hídricos se encontram a sedimentação, adsorção e floculação (SARAVANAN et al., 2021).

### **3.1.3. Escassez hídrica**

De acordo com De Oliveira Gomes et al. (2022), a acessibilidade da água para às diversas formas de vida é refletida em 0,63% do quantitativo disponível no planeta. A água potável, por sua vez, é inacessível para aproximadamente 900 milhões de pessoas (PICCOLI et al., 2016). A ausência de fontes seguras para o consumo de água traz consequências à população. Das mortes em que a diarreia foi apontada como a causa, 88% foram devido à escassez de água potável e saneamento básico (DE OLIVEIRA GOMES et al., 2022).

Os residentes de áreas rurais no Brasil somam cerca de 30 milhões de pessoas, o que resulta em aproximadamente 8 milhões de residências. Deste quantitativo, cerca de 65,5% realiza a captação de águas para consumo humano por meios alternativos, muitas vezes em fontes que não tiveram o tratamento prévio, inviabilizando a segurança da população (IBGE, 2010; DOS SANTOS; DA CRUZ; GONTIJO, 2019).

## **3.2. TRATAMENTO DE ÁGUAS**

O desenvolvimento de comunidades depende de um eficiente sistema de abastecimento de águas. As fontes hídricas têm sua qualidade significativamente afetada por ações antrópicas, como por disposição errada de resíduos sólidos e disposição de efluentes em corpos hídricos, favorecendo a disseminação de agentes químicos e biológicos (FERREIRA; PAIVA; MARQUES, 2020).

Na água é possível encontrar matéria orgânica e mineral sob três tipos de partículas impuras: suspensão, em estado coloidal e em solução (RICHTER, 2009). As fases de coagulação, floculação, sedimentação e filtração são aplicadas em estações de tratamento de água (ETA), sob forma de tratamento convencional, com o propósito de remover compostos contaminantes e tornar a água própria para consumo (ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2013).

### 3.2.1. Processos de tratamento

A escolha de processos de tratamento deve ser realizada com o objetivo de remover ou reduzir características indesejáveis da água bruta. O estado originário da água bruta e a qualidade requerida para a água tratada são os fatores principais para a seleção dos processos unitários de tratamento. Os processos mais indicados requerem escolha perante um conjunto de fatores, como segurança, facilidade de manuseio do processo, custos e utilização de equipamentos indicados (RICHTER, 2009).

As ETAs têm por principal objetivo a verificação da adequação dos processos de tratamento aos padrões de qualidade, entretanto, necessita-se da análise destes métodos como fomento ao desenvolvimento de alternativas mais baratas e de maior qualidade (ALMEIDA; SILVA; DE PAULA, 2017).

No Brasil, a classificação das estações de tratamento em uso pode ser feita de acordo com três setores: estações de tratamento convencionais, estações de flotação a ar dissolvido e estações de filtração direta. A condição físico-química e a tratabilidade de uma água são fatores determinantes durante a escolha e adequação de um tipo ao processo de tratamento. O descuido com a tratabilidade, entretanto, vem sendo fonte de impasses operacionais para as instalações (RICHTER, 2009).

As estações de tratamento de água convencionais são amplamente utilizadas em território nacional e operam conforme a Figura 1. Este segmento é apropriado para cargas de turbidez inferiores a 1.000 UNT, ou seja, águas com turbidez média a elevada (RICHTER, 2009).

Figura 1 - Funcionamento de uma ETA



Fonte: Júnior e Abreu (2018).

### 3.2.2. Coagulação e floculação

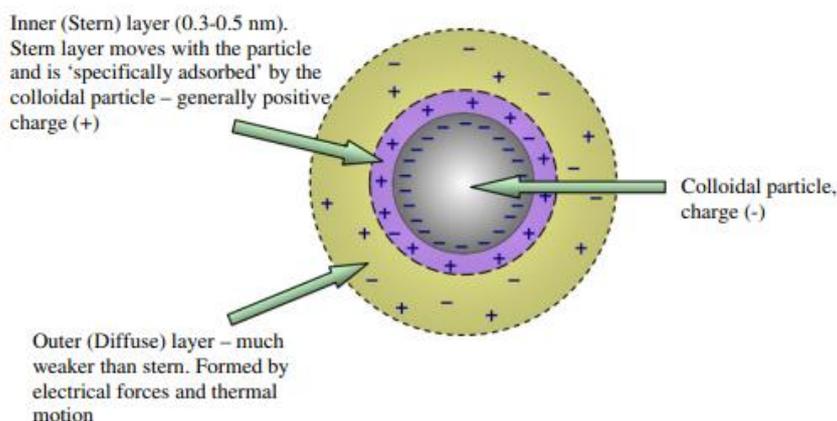
A coagulação faz parte das etapas de tratamento de águas. A partir da aplicação de coagulantes derivados de compostos químicos, age na remoção da turbidez e outros componentes (YIN, 2010).

Em águas com turbidez e cor evidentes, o processo de coagulação é responsável por transformar o estado físico-químico das partículas coloidais de maneira a facilitar a remoção destas por métodos de separação físicos, como a sedimentação (RICHTER, 2009).

A coagulação pode ser dividida em fases consecutivas: a coagulação, de fato e a floculação. De maneira inicial, a coagulação em si promove a desestabilização das partículas em suspensão por meio da atenuação da força que as sustentam separadas (RICHTER, 2009). Segundo Pritchard (2010), a separação entre as partículas é mantida por uma camada elétrica dupla.

Com sedimentação irregular, a presença de inúmeras impurezas em águas é na forma de coloides. Estas partículas, que possuem uma camada elétrica dupla, são caracterizadas por cargas elétricas negativas (Figura 2) com diâmetros entre  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  mm (PRITCHARD, 2010).

Figura 2 - Carga elétrica em uma partícula coloidal



Fonte: Pritchard (2010).

A neutralização das partículas ocorre através da adição de um coagulante e subsequente mistura da água, comprimindo a camada elétrica dupla dos coloides (PRITCHARD, 2010). Em seguida, formam-se flocos, partículas de maiores volumes e visíveis a olho nu, por meio da floculação. Este processo ocorre em decorrência do transporte de fluido e como resultado do embate entre as partículas anteriormente desequilibradas, ou seja, por meio da ligação entre partículas primárias (RICHTER, 2009).

Os processos de coagulação e floculação constituem etapas importantes para os métodos de tratamento de água, visto que a eficácia de subsequentes processos está subordinada à eficácia destes dois procedimentos (RICHTER, 2009). A importância dos coagulantes pode ser estendida ao tratamento de efluentes, visto que a área de atuação destes compostos é na remoção de turbidez e alteração de parâmetros físico-químicos como pH e alcalinidade (JUNHO et al., 2020).

A mistura do coagulante com a água desempenha um papel importante durante a coagulação e se divide entre lenta e rápida. O gradiente de velocidade, responsável por definir a intensidade da mistura, se une ao tempo na diferenciação entre os dois tipos de velocidade. A coagulação e a floculação ocorrem durante a mistura rápida e lenta, respectivamente (RICHTER, 2009).

Além de promover a chance de contato entre as partículas previamente desestabilizadas, a mistura rápida contribui para uma dispersão do coagulante de maneira uniforme. A mistura lenta permite o desenvolvimento dos flocos de modo a promover a sua sedimentação por gravidade (PRITCHARD, 2010).

Utiliza-se do método *Jar-test* para realizar a agitação entre as distintas proporções de coagulantes e assim promover o processo de coagulação-floculação. O aparelho é composto por agitadores mobilizados eletricamente e comporta béqueres de até 2 litros. O ensaio é geralmente seguido pela decantação e filtração (RICHTER, 2009).

A sedimentação pode ser definida como o uso da diferença entre as densidades de partículas sólidas suspensas e da água para a separação física destes dois elementos através de forças gravitacionais. Quando a sedimentação simples não é útil, faz-se necessária a produção de flocos por meio de coagulantes de modo a facilitar a sedimentação, este processo que também é conhecido por decantação (RICHTER, 2009).

A remoção de bactérias, vírus e sólidos suspensos geralmente é feita por coagulantes inorgânicos, como sulfato férrico e sulfato de alumínio (PRITCHARD, 2010). Entretanto, além do sulfato de alumínio manter-se na água tratada em uma menor proporção, evidencia-se a sua influência no desenvolvimento de doenças neurodegenerativas, como o Alzheimer (JÚNIOR; ABREU, 2018).

### **3.3. TRATAMENTO DE ÁGUAS POR MÉTODOS ALTERNATIVOS**

A utilização de matérias-primas de origem natural e com características biodegradáveis para a produção de coagulantes e floculantes está cada vez mais difundida em metodologias de pesquisas que visam minimizar os danos ambientais (SOARES et al., 2021).

A busca por métodos alternativos de purificação da água para aplicação em comunidades rurais se faz necessária devido a limitação em estoque de coagulantes inorgânicos e os seus custos (PRITCHARD, 2010). A presença de coagulantes naturais nos processos de tratamento de água tem por objetivo o uso de uma metodologia simplificada e sustentável, com o uso reduzido de compostos químicos e absorção facilitada pela natureza (SOARES et al., 2021).

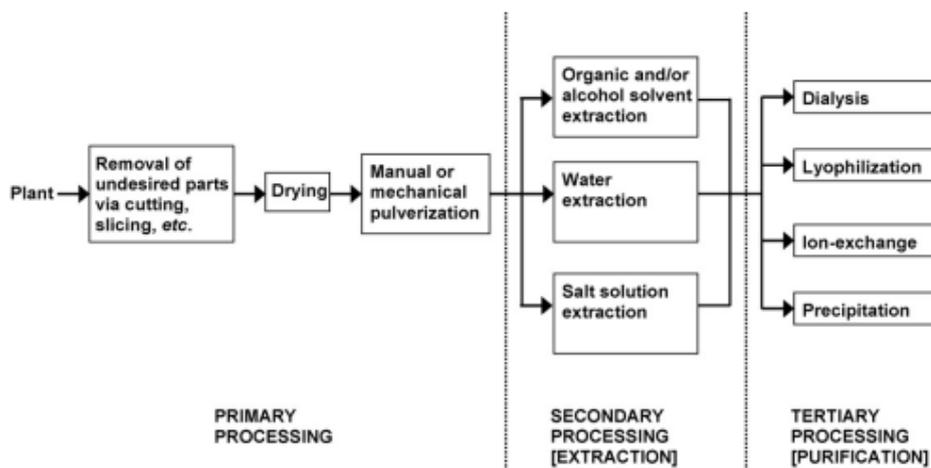
### **3.3.1. Coagulantes naturais**

Os coagulantes naturais podem ser produzidos localmente e com custos reduzidos (MONACO, 2010). Segundo Yin (2010), o cultivo de plantas que tem a função de coagulantes biológicos em comunidades rurais é responsável por ampliar as vantagens advindas com o tratamento de águas e efluentes têxteis, podendo-se observar uma diferenciação entre os procedimentos dos diversos tipos de compostos naturais.

Os baixos níveis de toxicidade e a fácil acessibilidade tornou o uso de coagulantes naturais como uma alternativa viável perante os coagulantes inorgânicos. A presença de proteínas catiônicas em compostos advindos de plantas e suas sementes permite a produção de flóculos e, portanto, demonstram efeitos positivos quando utilizados como coagulantes naturais (FIGUEIREDO et al., 2022).

Segundo Yin (2010), a comparação entre o desempenho de coagulantes naturais e inorgânicos é coerente, visto que os naturais exibiram taxas de remoção de turbidez na ordem de 99% quando equiparados com os valores iniciais. Pode-se separar a produção de coagulantes naturais em três etapas: primária, secundária e terciária (Figura 3). A classe primária consiste em etapas prévias ao tratamento em si, em que na ausência de equipamentos tecnológicos para esta finalidade, é feita a secagem e pulverização de partes das plantas escolhidas para a utilização no tratamento. As etapas secundária e terciária, respectivamente, tratam da extração de agentes ativos e purificação do composto (YIN, 2010).

Figura 3 - Etapas de preparação de coagulantes naturais



Fonte: Yin (2010).

Os impasses relacionados às águas impróprias para consumo por potabilidade e disposição de águas residuais sem tratamento prévio podem ser reduzidos com o uso de coagulantes naturais quando aplicados em processos de tratamento de água (MONACO, 2010). Entre os coagulantes naturais em evidência nos últimos anos, Júnior e Abreu (2018) citam as sementes de *Moringa oleífera*, a quitosana e os taninos vegetais.

### 3.3.2. *Moringa oleífera*

A *Moringa oleífera* (MO) teve origem na Índia e é caracterizada por se habituar à climas tropicais. Esta espécie é constituinte da família *Moringaceae* e tem afinidade por regiões de clima admissível, como os países da América e África (JÚNIOR; ABREU, 2018). Com a possibilidade de uso da planta em processos de tratamento de água, ressalta-se a possibilidade de aplicação em águas brutas ou no reaproveitamento de águas residuais destinadas às comunidades rurais no semiárido brasileiro (FIGUEIREDO et al., 2022).

O reaproveitamento do lodo produzido durante a aplicação do tratamento com sementes de *Moringa oleífera* pode ser feito. O reuso como fertilizante é considerado como uma opção, dado a ausência de compostos químicos que dificultam o processo, como o sulfato de alumínio (JUNHO et al., 2020).

Segundo Junho et al. (2020), a *Moringa oleífera* tem taxa de crescimento de aproximadamente 1 centímetro por dia podendo atingir até 10 metros. O fruto é produzido em formato de vagem com sementes aladas armazenadas em seu interior, sua produção é ininterrupta em períodos de seca e a espécie é resistente a este tipo de fenômeno, já que se adapta a ambientes áridos e úmidos (FERREIRA; PAIVA; MARQUES, 2020).

De acordo com Junho et al. (2020), o cultivo de *Moringa oleífera* em comunidades rurais com o objetivo de utilização das sementes em tratamento de águas pode suprir as necessidades de quatro famílias durante um ano, ao estimar o uso de 20 litros de água ao dia por pessoa (PRITCHARD, 2010).

Além de requerer baixo custo para o cultivo, a árvore de *Moringa oleífera* produz sementes em taxas elevadas, que podem atingir proporções de 50 a 70 kg/ano em circunstâncias favoráveis (JUNHO et al., 2020). Segundo Pritchard (2010), o quantitativo de sementes pode atingir 2.000 unidades ao ano.

A utilização da *Moringa oleífera* como coagulante natural em processos de tratamento de águas é promissora, visto que estudos relatam que a extração das sementes exibiu eficiência na alteração de parâmetros físico-químicos, como na redução da turbidez (MONACO et al., 2010).

#### 3.3.2.1. Propriedades físico-químicas da semente de *Moringa oleífera*

Em termos de massa, tem-se que 40% da composição das sementes de *Moringa oleífera* é formada por proteínas catiônicas e óleos comestíveis (JÚNIOR; ABREU, 2018). De acordo com Baptista et al. (2017), entre as proteínas extraíveis das sementes de *MO*, aproximadamente 44% era albumina e 53% globulinas do tipo I e II, em que apenas a albumina e a globulina do tipo I possuem potencial para a coagulação.

A *Moringa oleífera* exibe alta eficiência durante a etapa de coagulação por ser um polímero orgânico-catiônico responsável por formar coloides através da desorganização das partículas existentes na água (SANTOS et al., 2011). Desta forma, a adsorção e a neutralização de carga são os principais procedimentos em atuação nesta etapa (BAPTISTA et al., 2017).

Entre as metodologias de aplicabilidade da *Moringa oleífera* como coagulante, estão a possibilidade de uso após trituração ou pulverização das sementes. Entretanto, a existência de carboidratos e lipídeos em sua composição podem comprometer a eficiência do processo de coagulação, juntamente à adição de matéria orgânica à água bruta (JÚNIOR; ABREU, 2018).

Além do pó gerado durante a produção do coagulante natural, pode-se encontrar tecidos vegetais advindos das plantas pelas quais foram concedidas. Isto posto, uma situação de ineficiência no tratamento de águas pode ser gerada, visto que este composto estaria com uma carga elevada de matéria e constituintes orgânicos (YIN, 2010).

A matéria orgânica como subproduto do tratamento de águas deste coagulante natural é preocupante. Além de aumentar a cor, odor e facilitar a presença de microrganismos, também tem a sua demanda química de oxigênio (DQO) aumentada (BAPTISTA et al., 2017).

### **3.4. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS**

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos representam dados utilizados para analisar a qualidade de uma água. Como forma de regulamentar e controlar o uso da água, são estabelecidos padrões para estes parâmetros (RICHTER, 2009).

#### **3.4.1. Turbidez**

A turbidez é resultado da suspensão de diversos tipos de partículas na água em diferentes tamanhos. Estes sólidos possuem origens distintas: se dividem entre matéria orgânica, argilas, siltes, bactérias, algas, advindos de despejos de esgoto doméstico e microrganismos. Indiretamente, pode ser vista como um indicativo de sólidos em suspensão, usualmente em menores quantidades e, portanto, torna o parâmetro proveitoso ao manejo dos processos de tratamento de água (RICHTER, 2009). Através destas partículas suspensas se origina uma turvação na água (STEVENSON; BRAVO, 2019).

Segundo Nardy et al. (2020), a condição higiênica e sanitária da água pode ser denotada através do parâmetro de turbidez, que também demonstra possíveis ameaças apresentadas por uma fonte de consumo em termos biológicos e químicos. Estudos da ANA (2023) indicam que a erosão é um fenômeno recorrente em contribuição para o incremento de turbidez, principalmente com o transporte de material sólido em fortes precipitações.

A turbidez pode ser definida como uma propriedade ótica. A partir da passagem de um feixe de luz pela amostra, percebe-se que este caminho não é linear e, sim, interferido por sólidos presentes em suspensão na água. É expressa em unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (RICHTER, 2009).

Apesar da literatura técnica destinada ao uso de água em atividades de agricultura familiar não definir valores máximos permitidos (VMP) para uma parte dos parâmetros analisados, os resultados desta pesquisa foram comparados com os VMPs definidos pela portaria GM/MS N° 888/2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021), visto que ao investigar a potabilidade da água garante a sua qualidade. Logo, o Anexo 11 da portaria define o VMP para turbidez igual a 5 uT/UNT.

Estudos feitos por De Souza et al. (2023) apresentam uma redução de 94,43% da turbidez ao realizarem a secagem natural e trituração com casca das sementes de *Moringa*

*oleífera* previamente ao tratamento de águas. Araújo et al. (2020) obtiveram uma redução da turbidez de 92,97% ao utilizarem efluente de usina de concreto com uma proporção de 5 g de sementes de *MO* trituradas em 0,1 L de água destilada.

### 3.4.2. Cor aparente

O parâmetro de cor aparente é resultado de alguns fatores, pode estar relacionado à presença de substâncias em suspensão ou, perante bactérias e vírus, a existência de substâncias no estado coloidal. A disposição de esgotos domésticos e compostos industriais também exercem um papel na definição deste parâmetro, visto que auxiliam a distinguir se a cor demonstrada pela água é natural ou adicionada por meio de uma fonte de contaminação (DA SILVA et al., 2021).

O nível de poluição de uma água pode ser expresso por meio da sua cor aparente. Além disso, tem-se que valores elevados de demanda química de oxigênio (DQO) são inerentes às águas de cor elevada (RICHTER, 2009).

Para garantir a potabilidade da água, a portaria GM/MS N° 888/2021 (BRASIL, 2021) define 15 uH/UC como o valor máximo permitido para a cor aparente. Em estudos realizados por De Souza et al. (2023) com sementes de *Moringa oleífera* atuando como coagulante natural no tratamento de águas, foi observado uma eficiência na remoção da cor aparente. Entretanto, Eguchi e Arantes (2019) notaram um aumento do parâmetro em condições similares.

### 3.4.3. pH

O potencial de hidrogênio (pH) define uma solução perante níveis de alcalinidade ou acidez (CARVALHO, 2008). É essencial para processos de tratamento de águas por atuar no controle da corrosão e abrandamento da água, além de ser primordial para os métodos de coagulação (RICHTER, 2009).

De acordo com Sigler e Bauder (2017), valores inferiores a 7 classificam uma água como ácida, por enquanto que uma amostra neutra detém pH igual a 7 e básicas, superiores a 7. Este parâmetro é característico por ser um fator indicativo do estado da qualidade da água (SILVA; DE ARAÚJO, 2017).

Segundo Figueiredo et al. (2022), o uso de sementes de *Moringa oleífera* não torna a água ácida, portanto, o pH da amostra não sofre alterações significativas. Isto pôde ser verificado por Araújo et al. (2020), visto que não obtiveram alterações significativas no parâmetro após a utilização da metodologia. De Almeida (2010) indica que as águas destinadas ao uso em irrigação devem apresentar pH entre 6 e 8.5.

#### 3.4.4. Sólidos totais dissolvidos

A variável referente aos sólidos totais dissolvidos (STD) indica um quantitativo de matéria dissolvida em um volume de água. Esta massa pode ser integrada por diversos compostos solúveis em água, inclusive no formato coloidal. O pH e a temperatura da água, por contabilizarem a solubilidade de compostos em água, contribuem para a variação significativa do STD (FELIPPE; DE ALMEIDA NETO, 2019).

De maneira a garantir a potabilidade da água, a portaria GM/MS N° 888/2021 (BRASIL, 2021) define o valor máximo permitido para os sólidos totais dissolvidos como 500 mg/L. Semanka et al. (2022) e Amin et al. (2022) observaram resultados opostos ao tratarem águas com sementes de *Moringa oleífera*. Percebe-se que o acréscimo ou redução dos sólidos totais dissolvidos está condicionado à configuração experimental e amostra utilizadas.

#### 3.4.5. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) indiretamente mede a concentração de um poluente em águas, visto que demonstra a concentração de sais dissolvidos em uma amostra (DOVIDAUSKAS et al., 2017). Ligada à resistividade, a CE demonstra o potencial de condução de eletricidade da água. A mensuração deste parâmetro é realizada através da quantificação da diferença de potencial e corrente elétrica e é condicionada às características iônicas da água, como sua carga e concentração (RICHTER, 2009).

A gama de funcionalidade de um teste de condutividade elétrica é diversa. O estudo dos contaminantes em águas subterrâneas e a avaliação da contaminação advinda de lixões estão entre os casos em que o método é aplicável (NUNES, 2019). De acordo com Felipe e De Almeida Neto (2019), o potencial de condução de energia elétrica de uma solução é diretamente proporcional à massa de material dissolvido.

Segundo De Almeida (2010), o valor requerido para a condutividade elétrica em águas destinadas à irrigação é entre 0 e 3  $dS.m^{-1}$ . Entretanto, o autor relata que usualmente são utilizadas águas com valores de CE abaixo de 0,75  $dS.m^{-1}$ .

Em estudos utilizando a semente de *Moringa oleífera* como coagulante natural no tratamento de águas de poços artesianos e efluentes, respectivamente, Semanka et al. (2022) e Amin et al. (2022) observaram um aumento da condutividade elétrica.

### 3.4.6. Dureza total

A dureza total é responsável por mensurar em totalidade os íons  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$  presentes na água, conhecidos por integrarem a categoria de íons bivalentes. Esta característica da água é caracterizada por não produzir espumas quando em contato com sabões, reação que gera compostos insolúveis previamente à formação de espuma pela interação entre os sais de cálcio e magnésio e os sabões (RICHTER, 2009).

A dureza total é apresentada de acordo com o quantitativo de carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ) em  $Mg.L^{-1}$ . Este quantitativo é responsável por classificar a característica da água perante o parâmetro: águas duras detêm concentração de  $CaCO_3$  entre 150 e 300  $Mg.L^{-1}$  e aquelas adequadas como muito duras, a concentração de  $CaCO_3$  é superior a 350  $Mg.L^{-1}$  (DE MEDEIROS FILHO et al., 2020).

Nascimento et al. (2020) perceberam alterações mínimas na dureza total ao tratar água com sementes de *Moringa oleífera*. Contrariamente, Caldeira (2012) observou um acréscimo no parâmetro ao tratar água de poços artesianos em condições experimentais similares. A portaria GM/MS N° 888/2021 (BRASIL, 2021) define o valor máximo permitido para a dureza total igual a 300 mg/L para que a potabilidade seja garantida.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Como forma de verificar o efeito do uso de sementes de *Moringa oleífera* no tratamento de águas, procedeu-se uma pesquisa instalada no delineamento experimental inteiramente casualizado, no esquema de parcela subdividida com dois tratamentos na parcela, correspondentes ao tempo de decantação após a aplicação da mistura do coagulante natural (2 e 48 horas) e seis tratamentos na subparcela, referentes às seis proporções de sementes de *MO* (0, 20, 40, 60, 80 e 100 sementes/500 mL de amostra), para as duas amostras de água coletadas. Os testes foram conduzidos em três repetições. Para fins estatísticos, atribuiu-se à água bruta a configuração de aplicação de nenhuma semente (0 sementes).

A análise estatística dos dados foi fundamentada em análises de variância (ANOVA), com teste F em níveis de probabilidade de 1 e 5%. Subsequentemente à constatação da significância entre os tratamentos, realiza-se uma comparação por meio do teste de Tukey. O estudo estatístico dos resultados obtidos foi desenvolvido por meio dos *softwares* Excel e Assistat 7.0.

### 4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE ÁGUA

As amostras foram coletadas em dois reservatórios localizados nos municípios paraibanos de Queimadas e Cajazeiras, sob a premissa de verificação da eficiência do coagulante natural em condições distintas. O mapa da Figura 4 exibe a localização dos dois pontos de coleta.

Figura 4 - Localização dos pontos de coleta no mapa da Paraíba



Fonte: Adaptado de Google Maps (2023)

As coletas também ocorreram em anos distintos. A coleta no pequeno reservatório do município de Queimadas foi realizada no primeiro semestre de 2022 e no Açude Grande, no município de Cajazeiras, no primeiro semestre de 2023.

A Tabela 1 exibe um panorama dos índices de precipitação durante os períodos de coleta de amostras para os dois municípios abordados, de acordo com dados da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs). Para a obtenção destes dados, delimitou-se o período entre janeiro e abril dos respectivos anos de coleta.

Tabela 1 - Índices pluviométricos dos municípios de Queimadas e Cajazeiras, referentes ao primeiro semestre de 2022 e 2023, respectivamente

Precipitação	Município	
	Queimadas/PB (2022/1)	Cajazeiras/PB (2023/1)
Observada (mm)	246,5	1054,6
Média mensal (mm/mês)	82,17	263,65

Fonte: AESA (2023).

#### 4.2.1. Pequeno reservatório, Queimadas/PB

O primeiro ponto de coleta está localizado em um pequeno reservatório abrigado em uma comunidade rural do Sítio Soares no município de Queimadas, no estado da Paraíba, com coordenadas geográficas de 7°27'11 S para a latitude e 35° 52'58 W de longitude (Figura 5).

Figura 5 - Pequeno reservatório, Queimadas/PB



Fonte: Google Earth (2023)

Queimadas é um município do estado da Paraíba situado na região metropolitana de Campina Grande. Tem população estimada em aproximadamente 45 mil habitantes e área

territorial de 402.748 km<sup>2</sup> (IBGE, 2023). De acordo com o censo realizado pelo IBGE no ano de 2010, pouco mais de 45% da população se enquadra em situação domiciliar rural (IBGE, 2010). A cidade está situada em uma região central do estado da Paraíba, no Planalto da Borborema, no Agreste do estado, a uma altitude de aproximadamente 500m e precipitações médias inferiores a 800 mm. ano<sup>-1</sup> (FRANCISCO, 2010). O município integra a bacia do Rio Paraíba e está em proximidade ao Açude Senador Eptácio Pessoa (FRANCISCO et al., 2021).

O clima do município de Queimadas é classificado como semiárido quente (FRANCISCO, 2010). Também pode ser caracterizado pelos extensos intervalos de secas, em que os índices de evaporação são intensos. Os solos queimadenses são particularizados pela susceptibilidade à erosão e, portanto, são categorizados como Vertissolos (FRANCISCO et al., 2021).

#### 4.2.2. Açude Grande, Cajazeiras/PB

O segundo ponto de coleta foi no Açude Grande, situado no município de Cajazeiras, interior da Paraíba. O ponto tem por coordenadas geográficas 6°53'20.7"S para a latitude e 38°33'53.3"W de longitude (Figura 6).

Figura 6 - Açude Grande, Cajazeiras/PB



Fonte: Google Earth (2023)

O município de Cajazeiras está distante 475 km da capital da Paraíba, João Pessoa e é situado na região ocidental do estado da Paraíba. De acordo com estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tem área territorial de aproximadamente 562.703 km<sup>2</sup> e população de 62.576 habitantes (IBGE, 2023).

Segundo a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), o clima de Cajazeiras é classificado como semiárido. O Instituto Nacional do Semiárido (INSA) relata que

a localização geográfica da cidade facilita a incidência do fenômeno de secas na região, com probabilidades variando de 81% a 100% (DE SOUZA JUNIOR et al., 2020).

O município progrediu em volta do Açude Senador Eptácio Pessoa, conhecido na região por Açude Grande (DE SOUZA JUNIOR et al., 2020). Historicamente, este corpo hídrico é passivo ao despejo de esgotos, com três pontos mapeados em anos recentes. O esgotamento apropriado está presente em apenas 54,8% das residências de Cajazeiras, segundo o IBGE (DE SOUZA JUNIOR et al., 2020).

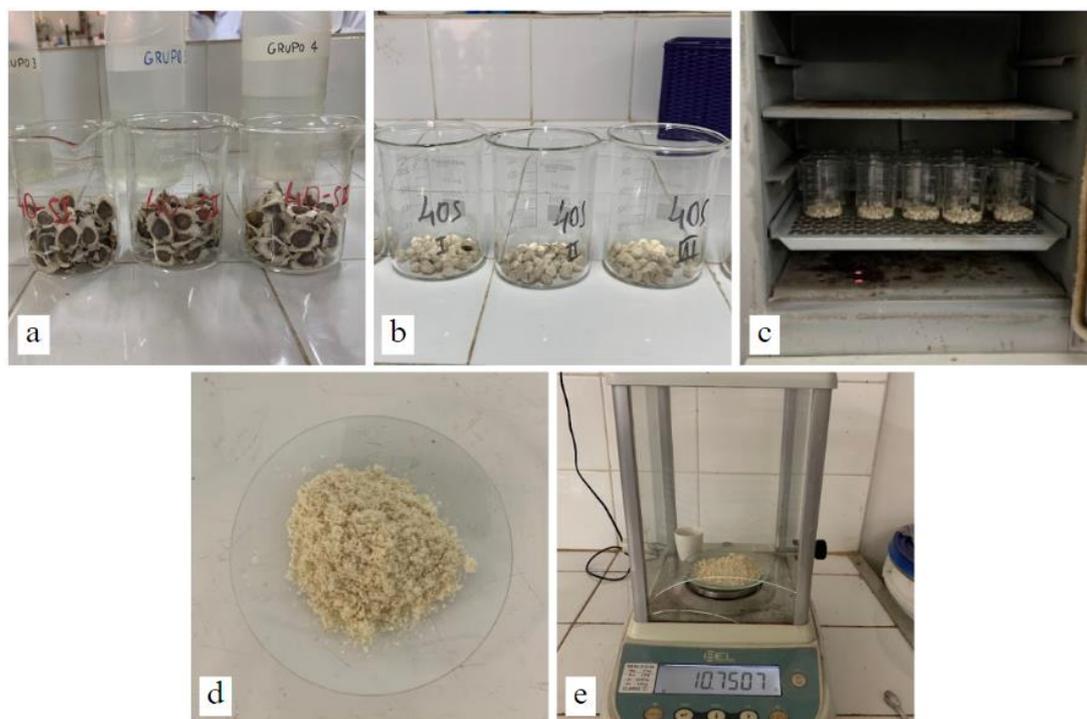
### **4.3. PREPARAÇÃO DO COAGULANTE NATURAL**

A preparação das sementes de *Moringa oleífera* teve início com a coleta das sementes no município de Redenção, no estado do Ceará e subsequente secagem à sombra. Durante a realização dos experimentos, utilizou-se de proporções da semente de *MO* como coagulante natural em número de sementes por volume de água coletada, de maneira a proporcionar praticidade na aplicação da metodologia por produtores rurais. Isto posto, as metodologias convencionais com proporções baseadas na massa das sementes também foram evitadas por requererem um repertório técnico e tecnológico avançado.

Os procedimentos experimentais deste trabalho foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental (LABSAM) da Universidade Federal da Paraíba, durante os anos de 2022 e 2023. Para a aplicação em testes laboratoriais, foi feita a contagem e extração da polpa da semente de *Moringa oleífera* - material esférico, sólido e com coloração branca envolto da casca - separada em béqueres e adequadamente identificada de acordo com a proporção estabelecida (Figuras 7-a e 7-b).

As sementes descascadas foram secas em estufa à temperatura aproximada de 70 °C por 30 minutos (Figura 7-c). Posteriormente à secagem, os béqueres com as sementes eram postos em bancada por aproximadamente dez minutos para atingirem a temperatura ambiente e então prosseguir-se às etapas subsequentes da preparação do coagulante.

Figura 7 - Etapas da preparação do coagulante natural: a) contagem das sementes e identificação das proporções; b) descascamento das sementes; c) secagem em estufa; d) pulverização; e) pesagem em balança analítica



Fonte: Autor (2022 e 2023)

Na sequência, cada porção de semente de *Moringa oleífera* foi triturada em um liquidificador doméstico para a obtenção de um pó uniforme, de maneira a facilitar a absorção do material pelas amostras (Figura 7-d). Por fim, as diferentes proporções foram pesadas em uma balança analítica da marca Bel (Figura 7-e). Na Tabela 2 encontram-se os valores médios das massas correspondentes às quantidades de sementes utilizadas após a etapa de preparação do coagulante natural.

Tabela 2 – Valores médios das massas das sementes de *MO* e desvio padrão (DP) de acordo com as proporções utilizadas nos tratamentos

Número de sementes de <i>MO</i>	Massa $\pm$ DP (g)
20	4,26 $\pm$ 0,34
40	8,63 $\pm$ 0,81
60	12,68 $\pm$ 1,58
80	17,43 $\pm$ 1,67
100	20,03 $\pm$ 1,98

Fonte: Autor (2022 e 2023)

#### 4.4. APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS E ANÁLISE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

As amostras de água foram coletadas em garrafas do tipo PET em volumes de 1,5L e 5L, respectivamente, para os pontos do pequeno reservatório da cidade de Queimadas e do Açude Grande, em Cajazeiras (Figura 8). Prezou-se pela refrigeração das amostras durante o trajeto até o local de testagem, onde as garrafas foram armazenadas em geladeiras convencionais destinadas exclusivamente a esta finalidade.

Figura 8 - Amostra de água coletada do Açude Grande, Cajazeiras



Fonte: Autor (2023)

A escolha dos tempos de decantação (2 e 48 horas) foi baseada em estudos de Muniz et al. (2015), em que observaram elevadas reduções da turbidez em maiores tempos de sedimentação ao tratarem águas de diferentes níveis de turbidez com sementes de *Moringa oleífera*.

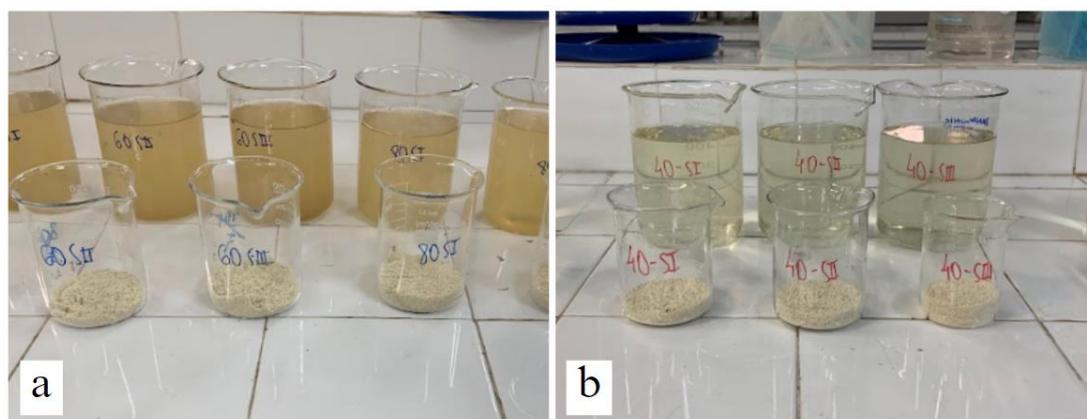
Preliminarmente à aplicação do tratamento alternativo foram feitas análises físico-químicas das amostras coletadas em estado bruto. Através de materiais publicados por De Almeida (2010) e pela Portaria GM/MS N° 888/2021 (BRASIL, 2021), os seguintes parâmetros foram selecionados para realizar a análise da qualidade da água: turbidez, pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), dureza total e cor aparente. Devido a deficiência em equipamentos, os parâmetros físico-químicos e biológicos em totalidade não foram analisados.

Os parâmetros foram analisados em totalidade para as diferentes configurações experimentais da amostra coletada no Açude Grande, em Cajazeiras. Para a amostra coletada

no município de Queimadas, entretanto, a realização das análises em totalidade só foi possível para o estado bruto e após 48 horas de decantação. Devido ao período de duração dos ensaios, para o tempo de 2 horas de decantação foram testados os parâmetros de turbidez, condutividade elétrica (CE), cor aparente (CA) e pH para a água coletada no pequeno reservatório em Queimadas, Paraíba.

As amostras de água foram separadas individualmente em volume de 500 mL através de uma proveta, despejadas em béqueres de 600 mL e identificadas de acordo com a proporção de sementes que iriam receber. O pó da semente de *Moringa oleífera* foi despejado na amostra, levemente homogeneizado à água com o auxílio de um bastão de vidro e ocluso com filme PVC (Figuras 9-a e 9-b).

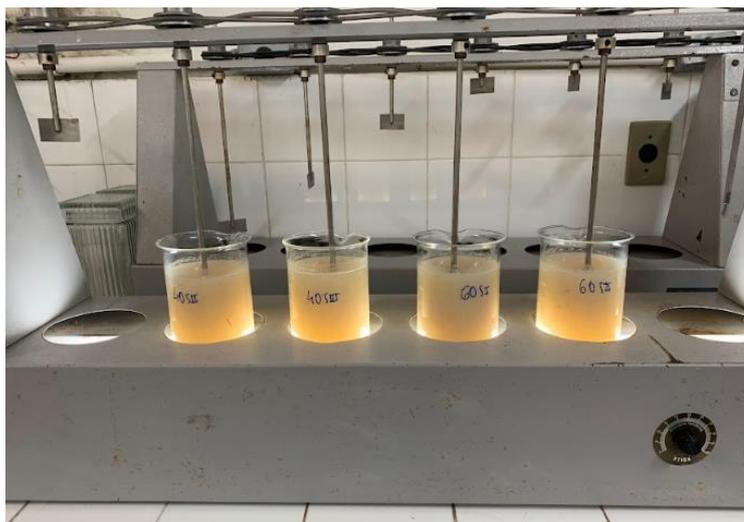
Figura 9 - Aplicação do tratamento em diferentes proporções para as amostras coletadas do: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras



Fonte: Autor (2022 e 2023)

Em seguida foi iniciado o *Jar Test* – ensaio de coagulação-floculação com equipamento de bancada em que o material foi misturado eletronicamente (Figura 10). A partir de metodologias propostas por Richter (2009), o planejamento experimental teve por intuito a aplicação de uma rotação de 120 rpm para a agitação rápida e 30 rpm para a agitação lenta, entretanto, por limitações técnicas do equipamento, a rotação real durante os testes variou de 128 a 136 rpm para a agitação rápida e 66 a 72 rpm para a agitação lenta. Estes intervalos foram obtidos por meio de um sensor que mede a rotação utilizada durante o ensaio.

Figura 10 - Jar-test



Fonte: Autor (2022)

Com o auxílio de micropipetas eletrônicas, eram extraídas alíquotas de até 250 mL dos tratamentos de acordo com os tempos de decantação e armazenadas em béqueres para a realização dos testes. Uma parte dos parâmetros foram medidos de maneira direta: o pH e a CE foram mensurados através do equipamento pHmetro de bancada, a turbidez por meio do turbidímetro de bancada e a CA por meio do medidor de cor aparente.

Os ensaios de sólidos totais dissolvidos (STD) e dureza total foram feitos de acordo com as metodologias propostas por Silva e Oliveira (2001). O ensaio de STD, por sua vez, necessitou de um maior número de etapas para a obtenção de dados. O cálculo do STD foi realizado por meio da Equação 1, em que os Pesos A e B referem-se à massa das cápsulas de porcelana com o volume de amostra (VA) durante as etapas do ensaio.

$$STD = \frac{1000 (Peso B - Peso A)}{\frac{VA}{1000}} \quad \text{Equação (1)}$$

O ensaio de dureza total foi feito por meio da diluição da amostra em água destilada, variando o volume em proporções entre 2 à 40 vezes de amostra e água destilada. Foram utilizados 50 ou 100 mL de amostra, bruta ou tratada, para a realização do teste. O cálculo da dureza total foi feito por meio da Equação 2, em que A corresponde ao volume consumido da solução padrão de EDTA durante a titulação, com normalidade (N) igual a 0,02 e VA se refere ao volume utilizado de amostra.

$$Dureza\ total = \frac{A*N*50000}{VA}$$

Equação (2)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

A Tabela 3 expressa o resultado da análise da qualidade da água em estado bruto por meio de parâmetros físico-químicos para os dois pontos de coleta.

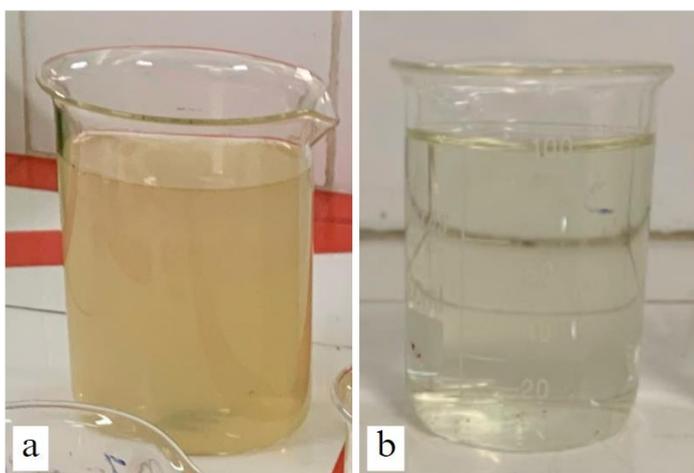
Tabela 3 - Caracterização da água em estado bruto

Amostra	Turbidez (UNT)	CA (UC)	CE (dS/m)	pH	STD (mg/L)	DT (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
Queimadas	193,44	400	0,09	6,22	199,33	50,66
Cajazeiras	5,63	66,67	0,49	6,92	287,66	108,33

Fonte: Autor (2022 e 2023)

A partir desta etapa, percebe-se a distinção entre a condição dos dois corpos hídricos. Frente a água coletada no Açude Grande, em Cajazeiras, a do pequeno reservatório em Queimadas é mais turva, de coloração mais forte, de menor dureza, com um quantitativo menor de sólidos dissolvidos e com um potencial menor de condução de energia elétrica. O pH, entretanto, demonstrou proporções similares, mas ainda assim a água coletada em Queimadas é mais neutra. Reitera-se que segundo Richter (2009), a turbidez pode ser relacionada aos sólidos em suspensão presentes na água. A Figura 11 ilustra um comparativo entre as águas coletadas.

Figura 11 - Águas, em estado bruto, coletadas no: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras



Fonte: Autor (2022 e 2023)

Tendo em vista que o Açude Grande é um receptáculo de efluentes, esperava-se que este fator expressasse maior influência nos resultados obtidos para a água coletada em estado bruto, como turbidez e cor aparente maiores. Apesar dos índices de precipitação incididos no período de coleta levantarem a possibilidade de diluição natural do corpo hídrico, os estudos de Souza Júnior (2020) sobre o Açude Grande indicam que períodos chuvosos aumentam a turbidez da água por provocarem o arraste de material particulado. Um comportamento similar é observado em estudos da Agência Nacional de Águas sobre o parâmetro de turbidez (ANA, 2023).

Portanto, presume-se que a baixa turbidez e cor aparente apresentadas pela água do Açude Grande se devem a outros fatores. Souza Júnior (2020) observou valores de turbidez do Açude Grande iguais a 13,7 e 25,1 UNT, respectivamente, para pontos distantes e próximos ao ponto de contaminação no primeiro semestre do ano estudado e tido como período chuvoso. Logo, a distância entre o ponto de coleta e o ponto de despejo de esgotos pode estar relacionada aos valores de turbidez e cor aparente obtidos nesta pesquisa para a água coletada no Açude Grande.

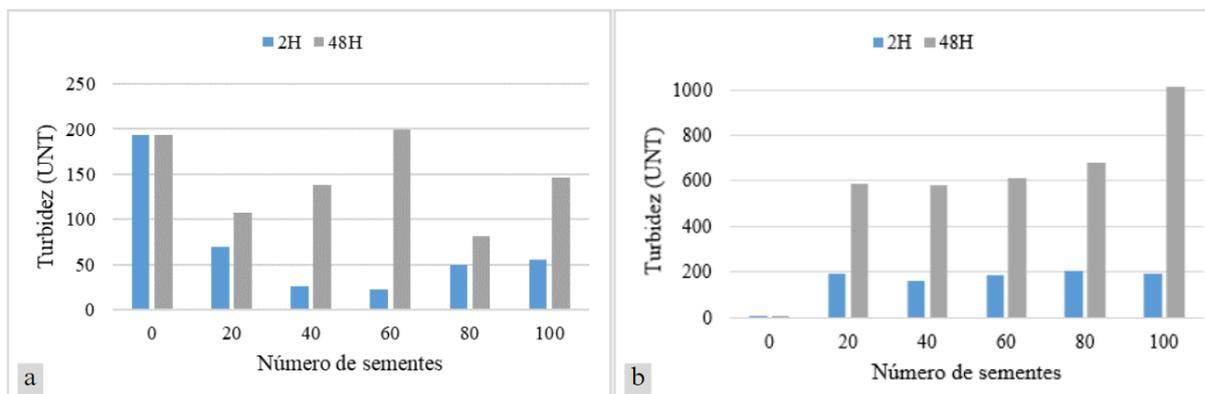
## **5.2. ANÁLISE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS APÓS O TRATAMENTO COM SEMENTES DE *MORINGA OLEÍFERA***

### **5.2.1. Turbidez**

Na Figura 12-a encontra-se o gráfico que demonstra o comportamento da turbidez da amostra de água coletada no pequeno reservatório em Queimadas em função do tratamento aplicado. Entre os dois tempos de sedimentação, percebe-se que a eficiência na redução do parâmetro foi superior em 2 horas.

Além disso, para o intervalo entre 20 e 60 sementes de *Moringa oleífera*, os resultados obtidos para a água coletada no pequeno reservatório em Queimadas denotam uma tendência de redução da turbidez com o aumento do número de sementes de *MO* em 2 horas de decantação. A partir de 80 sementes de *MO*, entretanto, percebem-se reduções menores da turbidez com o aumento da proporção de *MO* para a mesma amostra.

Figura 12 - Resultados obtidos para a turbidez de acordo com os diferentes tempos de decantação e proporções de sementes, para as amostras do: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras



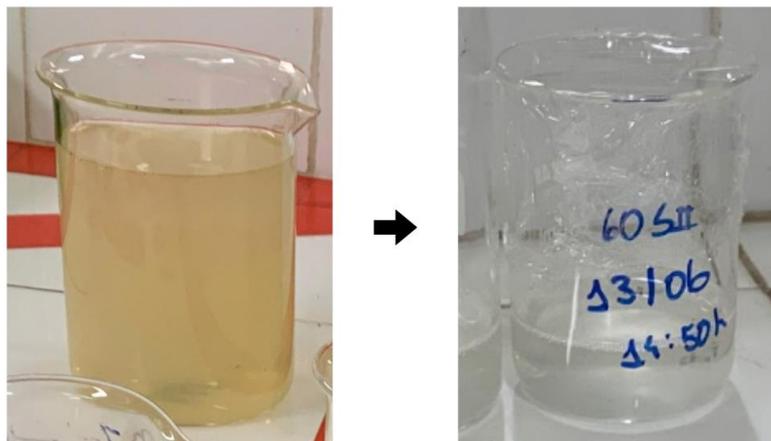
Fonte: Autor (2022 e 2023)

A Figura 12-b ilustra o comportamento da turbidez perante a aplicação do tratamento na amostra coletada do Açude Grande. Nota-se um aumento da variável frente ao valor inicial e entre as proporções de sementes de *Moringa oleífera* e tempos de decantação, sem indícios de redução.

Além disso, para as duas águas, o teste de Tukey a 5% de probabilidade revela que os valores de turbidez correspondentes ao uso de 20 a 80 de sementes de *Moringa oleífera* não diferem estatisticamente entre si, entretanto diferem quando analisados perante o tempo de decantação. O aumento da turbidez após 48 horas de decantação também é uma similaridade entre as águas dos dois reservatórios posteriormente a aplicação do tratamento.

Para a água do reservatório de Queimadas, a maior eficiência em redução da turbidez foi obtida ao utilizar 60 sementes de *Moringa oleífera* em pó, equivalente à proporção de 25.36 g/L, com 2 horas de decantação (Figura 13). A turbidez inicial de 193.44 UNT foi reduzida a 22.73 UNT com a aplicação do tratamento e caracteriza uma eficiência em redução do parâmetro de 88.25%. Observa-se eficiência similar aos estudos de De Souza et al. (2023), em que obtiveram 88.46% de remoção da turbidez ao tratarem água de açude com sementes de *MO* secas em estufa e diluídas em água destilada.

Figura 13 - Comparativo entre a água bruta coletada no pequeno reservatório em Queimadas e tratada com 60 sementes de *MO* em 2 horas de decantação

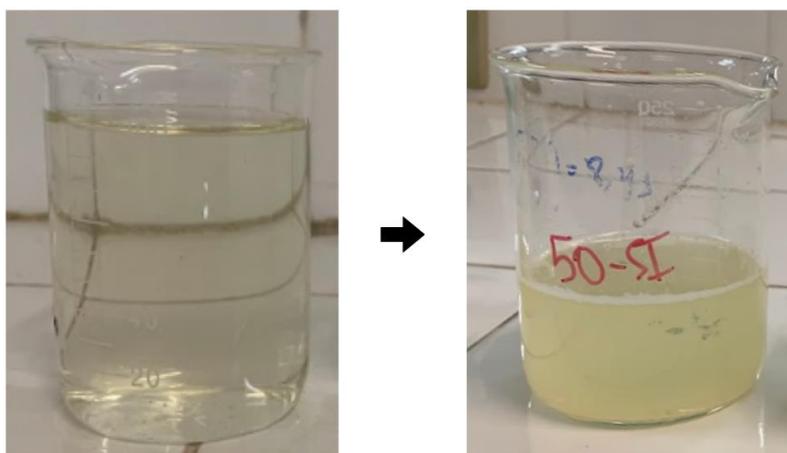


Fonte: Autor (2022)

Freire (2017) obteve eficiência de 95,2% de redução para turbidez ao tratar água coletada em açude com uma solução coagulante a base de sementes de *Moringa oleífera* em pó e com 12 horas de repouso. A elevada eficiência pode ser explicada pela utilização de etapas de filtração e desinfecção solar da água (SODIS) durante o processo de tratamento.

Para a água do Açude Grande, a turbidez foi acrescida em mais de 100% já com a aplicação de 20 sementes de *Moringa oleífera* em 2 horas de decantação, ao passar de 5.63 UNT para 189.44 UNT, em média. O uso de 100 sementes de *MO* em 48 horas de decantação elevou este valor a 1015.11 UNT (Figura 14). Nota-se uma tendência de aumento do parâmetro com o aumento do número de sementes de *MO* e tempo de decantação.

Figura 14 - Comparativo entre a água bruta coletada no Açude Grande, em Cajazeiras e tratada com 100 sementes de *MO* em 48 horas de decantação



Fonte: Autor (2023)

Ao utilizarem água superficial bruta com baixos valores de turbidez e dosagens de *Moringa oleífera* variando entre 10 e 50 mg/L, Eguchi e Arantes (2019) também não obtiveram resultados inferiores ao inicial para a água tratada e relatam um aumento na turbidez residual com maiores dosagens de sementes de *MO*.

Levanta-se, portanto, a possibilidade de a turbidez inicial da água interferir na eficiência do tratamento. Gaikwad e Munavalli (2019) afirmam que o tratamento de águas de baixa turbidez com sementes de *Moringa oleífera* não é eficiente. Os autores relatam que o aumento da turbidez após a aplicação do tratamento é resultado da presença de partículas coloidais e sólidos em suspensão em proporções inferiores às proteínas responsáveis pela coagulação na água.

A dosagem ideal do pó de *Moringa oleífera* é responsável por precipitar todas as partículas coloidais e, portanto, a porção do coagulante natural que não interagiu com partículas de cargas opostas contribuem para o aumento da turbidez (ZAID; GHAZALI, 2019). Este resultado também pode ser explicado pela ausência de uma etapa de extração e isolamento de proteínas atuantes na coagulação durante o procedimento experimental. Isto posto, ocorre o aumento de sólidos e matéria orgânica na água (EGUCHI; ARANTES, 2019).

Monaco et al. (2010) constataram 2 horas de decantação como mais viável para o tratamento de água coletada em reservatório com sementes de *Moringa oleífera*. O tempo de 90 minutos de sedimentação foi relatado como o ideal para a remoção da turbidez e cor aparente em estudos realizados por Nascimento et al. (2020). Portanto, em termos de tempo de decantação, o resultado observado para a água de Queimadas está em conformidade com os estudos citados.

Além disso, Muniz et al. (2015) encontraram reduções de turbidez em maiores proporções ao utilizarem as sementes de *Moringa oleífera* com casca quando comparadas às sem casca durante o tratamento de águas em 90 e 120 minutos de decantação, com concentrações de 250 a 500 mg/L da semente. Souza (2021) afirma que as propriedades de adsorção e coagulação estão presentes nas cascas de *MO*.

Apesar dos altos índices de redução da turbidez obtidos para a água coletada no pequeno reservatório em Queimadas, nenhum dos valores atingidos esteve abaixo de 5 UNT, valor máximo permitido pela portaria GM/MS N° 888/2021 (BRASIL, 2021).

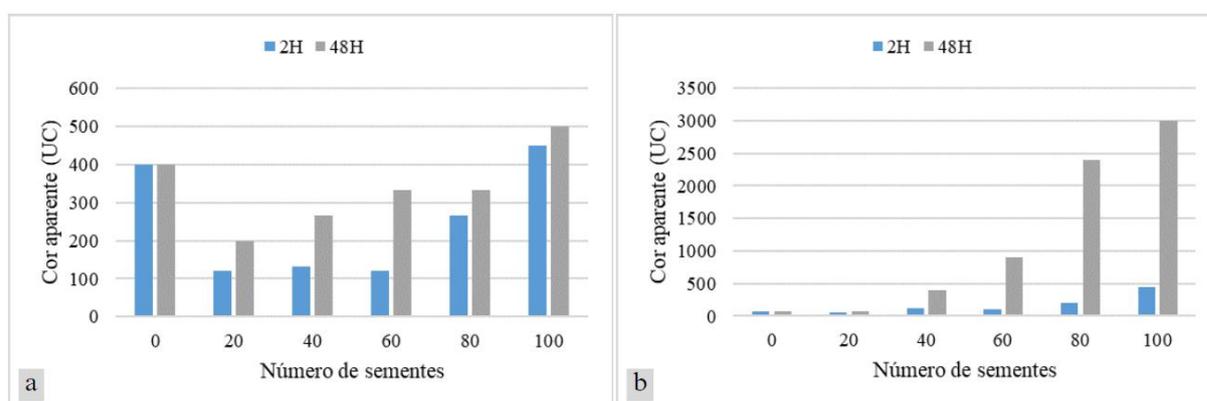
### **5.2.2. Cor aparente**

Para a água coletada no reservatório de Queimadas, as proporções de 20 e 60 sementes provocaram uma eficiência máxima de 70% em redução da cor aparente, ao reduzirem o valor

inicial de 400 UC para 120 UC em 2 horas de decantação. De Souza et al. (2023) encontraram resultados satisfatórios para a remoção de cor utilizando o pó de semente de *Moringa oleifera* em águas coletadas em açudes, ao observarem uma redução de aproximadamente 79,23% da cor aparente.

A Figura 15-a ilustra menores índices de redução da cor aparente conforme a proporção de sementes de *Moringa oleifera* e tempo de decantação aumentam, para a água coletada em Queimadas. Percebe-se que, similarmente à turbidez, os resultados mais eficientes para a redução da cor aparente foram obtidos entre o intervalo de 20 e 60 sementes de *MO* e com 2 horas de decantação. Segundo Valverde et al. (2016), esta semelhança se deve ao fato do índice de sólidos na água relacionar os dois parâmetros.

Figura 15 – Resultados obtidos para a cor aparente de acordo com os diferentes tempos de decantação e proporções de sementes, para as amostras do: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras

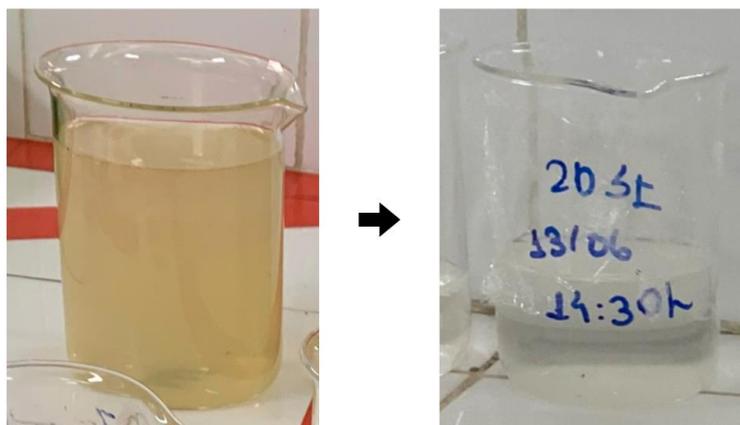


Fonte: Autor (2022 e 2023)

A aplicação do coagulante natural na amostra de água coletada do Açude Grande ocasionou em uma tendência de crescimento da cor aparente conforme o número de sementes de *Moringa oleifera* e tempos de decantação aumentam (Figura 15-b).

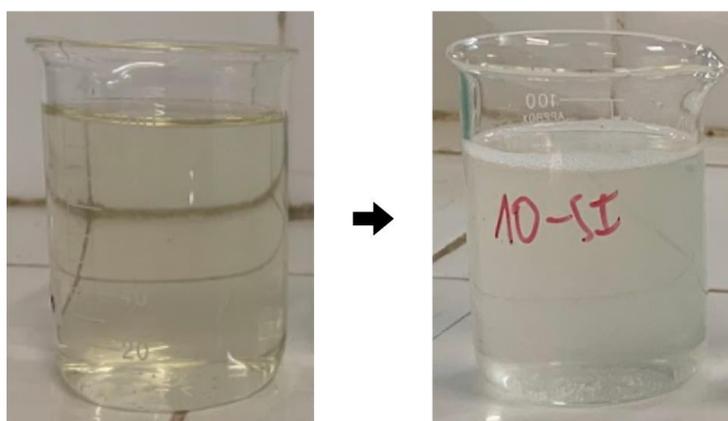
Entretanto, nota-se uma redução do parâmetro apenas ao utilizar 20 sementes de *MO* em 2 horas de decantação, em que a cor aparente inicial de 66,67 UC passou para 50 UC (25% de redução). Para proporções superiores a 80 sementes de *MO*, percebe-se um aumento da variável superior a 100% para os dois tempos de decantação. As figuras 16 e 17 ilustram o comportamento do parâmetro entre as duas águas perante a mesma configuração de tratamento.

Figura 16 - Comparativo entre a água bruta coletada no pequeno reservatório, em Queimadas e tratada com 20 sementes de *MO* em 2 horas de decantação



Fonte: Autor (2022)

Figura 17 - Comparativo entre a água bruta coletada no Açude Grande, em Cajazeiras e tratada com 20 sementes de *MO* em 2 horas de decantação



Fonte: Autor (2023)

Em testes com sementes de *Moringa oleífera* como coagulante natural, Eguchi e Arantes (2019) também observaram uma tendência de aumento da cor aparente com maiores dosagens de *Moringa oleífera*. As autoras relatam a possibilidade deste resultado estar relacionado ao acréscimo de um material residual na água, além do não isolamento das proteínas da semente de *MO* durante a preparação da solução coagulante ter reduzido a eficiência do tratamento, o que pode ter contribuído para o aumento da cor aparente pelo acréscimo de sólidos em suspensão e matéria orgânica na água, de maneira similar à turbidez.

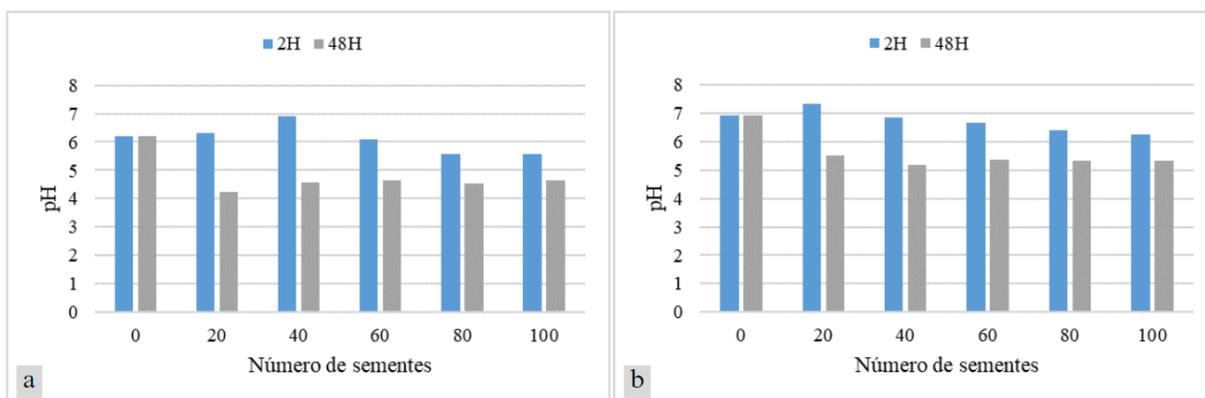
Apesar dos elevados valores de redução do parâmetro para a água do reservatório de Queimadas, nenhum dos resultados obtidos para a cor aparente esteve em abaixo de 15 UC, valor máximo permitido pela portaria GM/MS N° 888/2021 (BRASIL, 2021).

### 5.2.3. pH

A análise das Figuras 18-a e 18-b revelam que houve alteração do pH em função do tempo de decantação e do número de sementes de *Moringa oleífera* para as águas coletadas nos corpos hídricos de Queimadas e Cajazeiras, respectivamente.

Verificou-se que, para a água coletada no reservatório em Queimadas, as proporções de 20 e 60 sementes de *Moringa oleífera* provocaram leves mudanças no pH após 2 horas de decantação, que passou de 6.22 em estado bruto da água para 6.32 e 6.08, respectivamente (Figura 18-a). Conforme a proporção de sementes aumenta, percebe-se uma tendência de diminuição do pH e após 48 horas de decantação, uma redução em comparação à água bruta, indicando acidez. O teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade expressa que os valores diferem estatisticamente entre si.

Figura 18 - Resultados obtidos para o pH de acordo com os diferentes tempos de decantação e proporções de sementes, para as amostras de: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras



Fonte: Autor (2022 e 2023)

Para a água coletada no Açude Grande, nota-se uma redução do pH com o aumento do número de sementes de *Moringa oleífera* em 2 horas de decantação (Figura 18-b). Entretanto, o pH esteve próximo ao valor inicial entre 40 e 60 sementes de *MO*. Similarmente à água de Queimadas, a redução do parâmetro foi mais significativa após 48 horas de decantação, ao se tornar mais ácida.

Portanto, tem-se que a alteração do pH da água pode estar condicionada ao tempo de decantação e dosagem de *Moringa oleífera* em conjunto. Segundo Semanka et al. (2022), visto que a semente de *MO* libera proteínas de cargas positivas e solúveis em água, as altas dosagens de *MO* podem atribuir um excesso de prótons de cargas positivas ( $H^+$ ) à água e assim reduzir o seu pH.

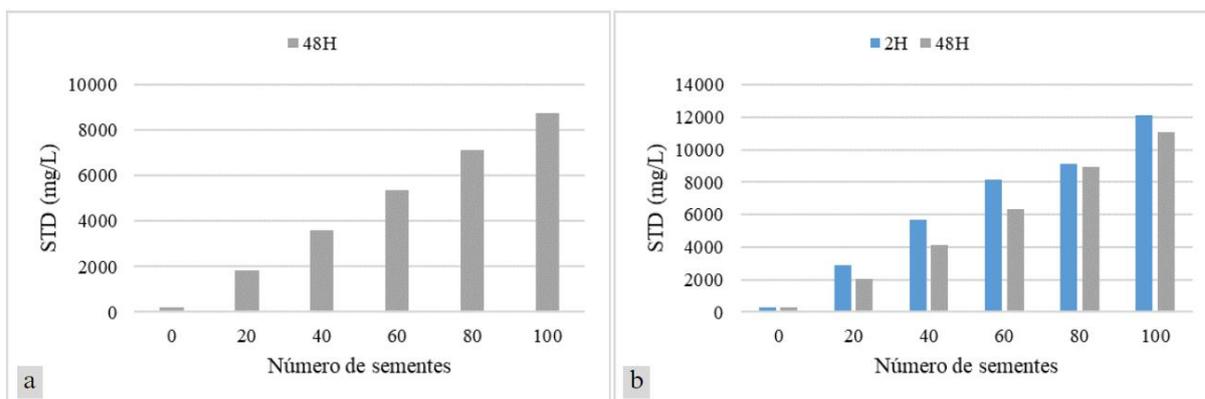
Os resultados obtidos para o pH em 2 horas de decantação corroboram em parte com os estudos realizados por Freire (2017), em que não observou alterações significativas no pH ao tratar água de açude com sementes de *MO*. Similarmente, De Souza et al. (2023) e Cunha et al. (2023) não perceberam alterações significativas para a variável após o processo de coagulação e floculação em diferentes condições experimentais ao utilizarem a semente de *MO* em pó como coagulante natural.

Para as duas águas analisadas, o intervalo indicado por De Almeida (2010) para águas destinadas à irrigação (6 – 8.5) só foi respeitado para o tratamento realizado com 2 horas de decantação. A água coletada do Açude Grande se adequou aos valores perante todas as proporções de sementes de *Moringa oleífera* aplicadas, já a água de Queimadas, até 60 sementes. As águas já apresentavam pH em conformidade com o recomendado previamente ao tratamento.

#### 5.2.4. Sólidos totais dissolvidos

A Figura 19 representa o comportamento do parâmetro sólidos totais dissolvidos (STD) para as duas águas tratadas com as diferentes configurações. Nota-se o aumento do STD com o aumento do número de sementes de *Moringa oleífera* como uma similaridade para ambas as águas. Entretanto, uma diminuição da variável em 48 horas de sedimentação para a água do Açude Grande também é notória (Figura 19-b). O teste de Tukey a 5% de probabilidade revela que todos os tratamentos diferiram entre si estatisticamente.

Figura 19 – Resultados obtidos para os sólidos totais dissolvidos (STD) de acordo com os diferentes tempos de decantação e proporções de sementes, para as amostras do: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras



Fonte: Autor (2022 e 2023)

Estes resultados corroboram com os estudos Semanka et al. (2022), ao constatarem um aumento em sólidos totais dissolvidos conforme a dosagem de sementes de *Moringa oleífera* em pó aumenta. Além disso, Kitheka et al. (2022) encontraram uma tendência de aumento exponencial de sólidos totais dissolvidos para concentrações maiores que 0.20 g/L do mesmo coagulante natural.

Este comportamento pode ser explicado por meio da relação entre a concentração de componentes orgânicos presentes na semente de *Moringa oleífera* e os níveis de carbono orgânico dissolvido (COD), visto que aproximadamente 78% do COD da semente de *MO* permanece na água após o tratamento (CHALES et al., 2022).

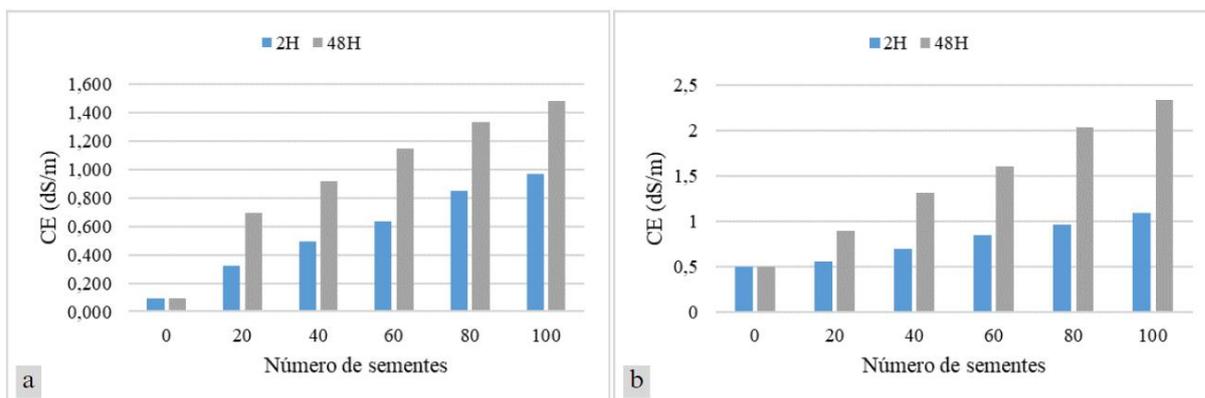
Em contrapartida, Semanka et al. (2022) observaram uma diminuição dos sólidos totais dissolvidos com a utilização do extrato da semente de *Moringa oleífera* diluída em etanol. Amin et al. (2022), entretanto, perceberam um aumento do STD ao aplicarem o extrato de *MO* em efluentes. Isto posto, levanta-se a possibilidade de também haver uma dosagem ideal de sementes de *Moringa oleífera* para promover a redução dos sólidos totais dissolvidos em diferentes configurações de tratamento.

A portaria GM/MS N° 888/2021 recomenda um valor de sólidos totais dissolvidos inferior a 500 mg/L para garantir a potabilidade da água (BRASIL, 2021). Portanto, nenhum dos valores de STD obtidos com o tratamento com sementes de *MO* ficou abaixo do valor recomendado. Ressalta-se que previamente ao tratamento as duas águas apresentavam STD abaixo do valor recomendado pela portaria.

#### **5.2.5. Condutividade elétrica**

O comportamento da condutividade elétrica (CE) entre as amostras coletadas no pequeno reservatório em Queimadas e no Açude Grande, em Cajazeiras é representado pela Figura 20. Observa-se que a CE aumentou conforme o número de sementes de *Moringa oleífera* e tempo de sedimentação aumentaram, para ambas as amostras. Este resultado é reafirmado pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, em que se nota um acréscimo de CE entre os tratamentos, que diferem estatisticamente entre si.

Figura 20 – Resultados obtidos para a condutividade elétrica (CE) de acordo com os diferentes tempos de decantação e proporções de sementes, para as amostras do: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras



Fonte: Autor (2022 e 2023)

Os resultados obtidos são similares aos estudos publicados por Semanka et al. (2022), em que notaram um aumento na condutividade elétrica conforme a proporção de semente de *Moringa oleífera* em pó aumentou ao tratarem amostras de poços artesianos com 5 horas de decantação. Analogamente, Amin et al. (2022) observaram um aumento na CE ao tratarem efluente com o extrato da semente de *MO* em pó e diluída em água.

O crescimento da CE pode estar relacionado com o aumento do parâmetro sólidos totais dissolvidos, visto que os STDs possuem íons que ampliam o potencial da água em conduzir corrente elétrica. O aumento de sólidos dissolvidos também pode estar relacionado com a concentração de polieletrólitos catiônicos presente nas sementes de *Moringa oleífera* (SEMANKA; SEIFU; SEKWATI-MONANG, 2022).

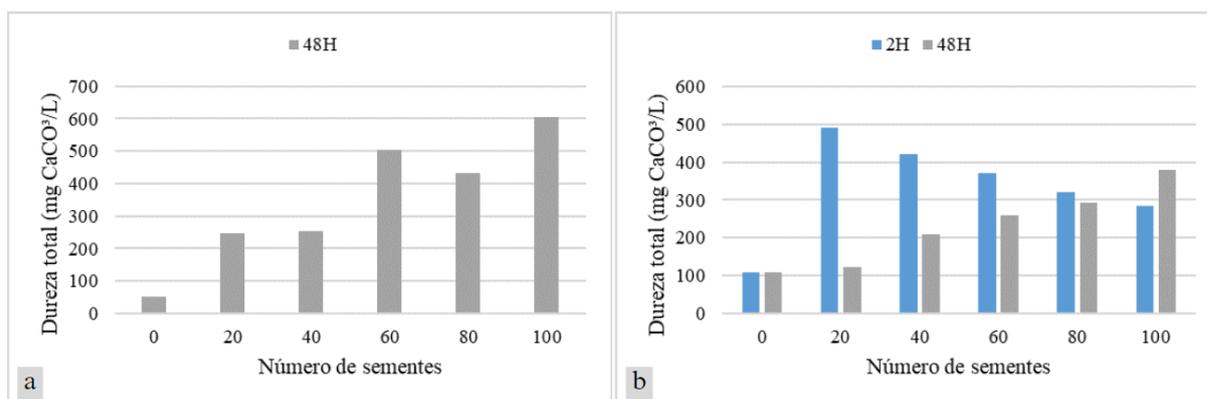
O desempenho observado, entretanto, contraria os estudos feitos por Elgeed e Abdalsalam (2023), em que a partir do tratamento de águas fluviais notaram uma redução da condutividade conforme a dosagem da semente de *Moringa oleífera* e tempo de decantação aumentaram. Semanka et al. (2022) também obtiveram resultados semelhantes ao utilizarem o extrato da semente de *MO* no tratamento de água coletada em poço artesiano.

Assim como recomendado por De Almeida (2010), os valores da condutividade elétrica só ficaram abaixo de  $0,75 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$  com o tratamento realizado em 2 horas de decantação. Ao se tratar da dosagem de sementes de *Moringa oleífera*, a condutividade elétrica esteve abaixo do indicado até a aplicação de 60 e 20 sementes para as águas de Queimadas e do Açude Grande, respectivamente. Ressalta-se a adequação das águas em estado bruto ao valor indicado para a CE.

### 5.2.6. Dureza total

A Figura 21 ilustra o gráfico com o desempenho da dureza total para as duas amostras de água. É possível observar um crescimento da variável frente aos valores iniciais. Para água de Queimadas, observa-se que o comportamento não ocorreu de maneira uniforme, com valor máximo de 600 mg CaCO<sub>3</sub>/L obtido a partir do tratamento com 100 sementes de *Moringa oleífera* após 48 horas de decantação (Figura 21-a).

Figura 21 – Resultados obtidos para a dureza total de acordo com os diferentes tempos de decantação e proporções de sementes, para as amostras do: a) Pequeno reservatório, Queimadas; b) Açude Grande, Cajazeiras



Fonte: Autor (2022 e 2023)

Para a amostra coletada no Açude Grande, em Cajazeiras, todavia, observa-se uma conformidade no comportamento do parâmetro (Figura 21-b). A partir de 2 horas de decantação, nota-se que os valores obtidos para a dureza total foram cada vez menores conforme o número de sementes de *Moringa oleífera* aumentou, apesar de maiores que o valor inicial. Após 48 horas de decantação, nota-se um comportamento contrário. O teste de Tukey a 5% de probabilidade indica que os tratamentos não diferiram entre si estatisticamente.

Apenas a aplicação do tratamento com 20 sementes de *Moringa oleífera* em 48 horas de decantação manteve a água do Açude Grande classificada como mole. Para as demais configurações de tratamento, as águas tratadas dos dois reservatórios podem ser classificadas como duras e muito duras.

Resultados similares foram obtidos por estudos de Caldeira (2012) ao aplicar sementes de *Moringa oleífera* em pó no tratamento de águas coletadas em poços artesianos, em que foi possível observar um acréscimo da dureza total após 48 horas de decantação. A concentração de carbonato de cálcio pode ter aumentado pela presença de componentes já inativos da coagulação após o extenso período de contato (OKUDA et al., 2001).

Entretanto, os resultados obtidos contrariam os estudos de Nascimento et al. (2020), em que relatam uma alteração dentro do intervalo do valor inicial de dureza total ao aplicarem concentrações entre 500 mg/L e 1000 mg/L da semente de *Moringa oleífera* em pó para diferentes tempos de sedimentação em amostras de águas fluviais.

De maneira a garantir a potabilidade de uma água, recomenda-se pela portaria GM/MS N° 888/2021 valores de dureza total inferiores a 300 mg/L (BRASIL, 2021). Portanto, apenas os tratamentos aplicados até 40 sementes de *Moringa oleífera* com 48 horas de tratamento apresentaram dureza total dentro do recomendado. Para a água do Açude Grande, entretanto, até a proporção de 60 sementes se observou dureza total em conformidade com o valor estabelecido pela portaria.

### 5.2.7. Análise estatística

A análise do teste de variância com os dados da água coletada no pequeno reservatório em Queimadas/PB e tratada com sementes de *Moringa oleífera* (Tabela 4) demonstra que a turbidez, o pH e a condutividade elétrica (CE) foram influenciados pelo tempo de decantação em nível de 1% de significância. Para a cor aparente (CA), a influência foi ao nível de 5% de significância.

O uso de diferentes números de sementes (NS) nos tratamentos influenciou os parâmetros previamente citados com 1% de significância. A interação entre o tempo de decantação (TD) e o número de sementes (NS) influenciou significativamente as variáveis turbidez, pH e CE, ao nível de 1% de significância, não havendo influência significativa para a cor aparente.

Tabela 4 - Resumo das análises de variância dos parâmetros turbidez, CA, pH e CE da água coletada no município de Queimadas, Paraíba e tratada com sementes de *Moringa oleífera*

(Continua)

FV	GL	Quadrado Médio			
		Turbidez (NTU)	CA (UC)	pH	CE (dS/m)
Tempo de decantação (TD)	1	50648,75003**	65025,00000*	15,44490**	1,33095**
Resíduo (A)	4	148,64202	3755,55556	0,00168	0,00047
N. sementes (NS)	5	12340,97365**	88029,44444**	1,19468**	1,02319**
Int. TD x NS	5	6248,82311**	6051,66667 <sup>ns</sup>	1,08493**	0,05756**

Tabela 4 - Resumo das análises de variância dos parâmetros turbidez, CA, pH e CE da água coletada no município de Queimadas, Paraíba e tratada com sementes de *Moringa oleifera*

(Conclusão)

FV	GL	Quadrado Médio			
		Turbidez (NTU)	CA (UC)	pH	CE (dS/m)
Resíduo (B)	20	687,68420	2728,88889	0,00773	0,00176
Total	35	-	-	-	-
CV (A) (%)	-	11,43	20,68	0,75	2,87
CV (B) (%)	-	24,58	17,63	1,61	5,58

\*\*significativo a 1%; \*significativo a 5% pelo teste F; <sup>ns</sup> - não significativo pelo teste F. FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade. Fonte: Autor (2023).

Em relação aos parâmetros dureza total (DT) e sólidos totais dissolvidos (STD), o resumo do teste de variância apresentado na Tabela 5 expressa uma influência significativa do número de sementes sobre as variáveis físico-químicas após 48 horas de decantação, ao nível de 1% de significância.

Tabela 5 - Resumo das análises de variância dos parâmetros dureza total e STD da água coletada no município de Queimadas, Paraíba e tratada com sementes de *Moringa oleifera*

FV	GL	Quadrado Médio	
		DT (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	STD (mg/L)
N. sementes (NS)	5	123028,62222**	31308572,9889**
Resíduo	12	12902,44444	95592,83333
Total	17	-	-
CV (%)	-	32,60	6,92

\*\*significativo a 1%; \*significativo a 5% pelo teste F; <sup>ns</sup> - não significativo pelo teste F. FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade. Fonte: Autor (2023).

Ao se tratar da água coletada no Açude Grande, em Cajazeiras (Tabelas 6 e 7), o teste de variância evidencia que os parâmetros físico-químicos foram influenciados significativamente pelo tempo de decantação (TD) e o número de sementes (NS), ao nível de 1% de significância. A interação entre o tempo de decantação e o número de sementes não influenciou significativamente apenas o parâmetro sólidos totais dissolvidos (STD). Para as demais variáveis, a influência da interação foi significativa ao nível de 1% de significância.

Tabela 6 - Resumo das análises de variância dos parâmetros físico-químicos da água coletada no Açude Grande, Cajazeiras/PB e tratada com sementes de *Moringa oleífera*

FV	GL	Quadrado Médio		
		Turbidez (NTU)	CA (UC)	pH
Tempo de decantação (TD)	1	1609797,19036**	8580017,36111**	11,53734**
Resíduo (A)	4	3930,41284	88,88889	0,00166
N. sementes (NS)	5	232313,20444**	2927322,91667**	1,08867**
Int. Td x NS	5	102583,45765**	1903017,36111**	0,63213**
Resíduo (B)	20	2239,53135	72,22222	0,00852
Total	35	-	-	-
CV (A) (%)	-	17,04	1,45	0,66
CV (B) (%)	-	12,86	1,30	1,50

\*\*significativo a 1%; \*significativo a 5% pelo teste F; <sup>ns</sup> - não significativo pelo teste F. FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade. Fonte: Autor (2023).

Tabela 7 - Resumo das análises de variância dos parâmetros físico-químicos da água coletada no Açude Grande, Cajazeiras/PB e tratada com sementes de *Moringa oleífera*

FV	GL	Quadrado Médio		
		CE (dS/m)	STD (mg/L)	DT (mg CaCo <sup>3</sup> /L)
Tempo de decantação (TD)	1	4,02136**	7281002,77778**	95069,44444**
Resíduo (A)	4	0,00696	279613,11111	1259,11111
N. sementes (NS)	5	1,27489**	106393098,844**	43211,11111**
Int. Td x NS	5	0,31939**	764548,91111 <sup>ns</sup>	41196,11111**
Resíduo (B)	20	0,00165	490464,11111	1119,44444
Total	35	-	-	-
CV (A) (%)	-	7,52	8,92	12,65
CV (B) (%)	-	3,66	11,82	11,93

\*\*significativo a 1%; \*significativo a 5% pelo teste F; <sup>ns</sup> - não significativo pelo teste F. FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade. Fonte: Autor (2023).

## 6. CONCLUSÕES

Com base na aplicação das sementes de *Moringa oleífera* no tratamento de águas coletadas nos reservatórios em Queimadas e Cajazeiras, Paraíba e subsequente análise de parâmetros físico-químicos, conclui-se:

A maior eficiência do tratamento foi constatada com 2 horas de sedimentação e 60 sementes de *Moringa oleífera* em 500 mL de amostra, que proporcionaram uma eficiência de 88,25% e 70% para a remoção da turbidez e cor aparente, respectivamente, da água coletada no pequeno reservatório em Queimadas/PB. Apesar dos elevados valores de redução, as águas só estiveram dentro dos limites impostos por órgãos regulamentadores para os parâmetros de pH, condutividade elétrica e dureza total.

Para água coletada no Açude Grande, em Cajazeiras/PB, constatou-se que a baixa turbidez inicial apresentada pode ter interferido na eficiência do tratamento, uma vez que houve uma tendência de aumento da turbidez e cor aparente com o número de sementes de *Moringa oleífera* e tempo de sedimentação.

Tem-se que além do uso da semente de *Moringa oleífera* demonstrar potencial eficiência no tratamento de águas, o método é viável por ser sustentável e de baixo custo. Por fim, sugere-se para estudos futuros: desenvolvimento de meios práticos e econômicos de filtração aplicáveis ao tratamento, como também a adição de uma etapa de desinfecção solar da água (SODIS), para que assim a eficiência em remoção de turbidez e cor aparente seja aprimorada sem interferir na conformidade dos demais parâmetros ao exigido pelos órgãos regulamentadores; estudo do lodo gerado com a aplicação da metodologia e avaliação da possibilidade de reuso em outra atividades; aplicação da metodologia utilizando a semente de *MO* com casca e em menores proporções para avaliar o desempenho do coagulante nesta condição.

## REFERÊNCIAS

- ACHON, Cali Laguna; BARROSO, Marcelo Melo; CORDEIRO, João Sérgio. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, p. 115-122, 2013.
- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS (AESAs). (2023). Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>>. Acesso em: 05 de maio de 2023.
- ALMEIDA, Marília Cunha; SILVA, Maiara Macêdo; DE PAULA, Marcelo. Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de água em relação à turbidez, cor e pH da água. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 25-40, 2017.
- AMIN, Asmaa A.; SOLIMAN, Hanan A.; HASHEM, Khalid S. Moringa oleifera seeds extract improves the quality of treated wastewater of Byad-Elarab plant, Beni-Suef, Egypt. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 65, n. 13, 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). (2023). Indicadores De Qualidade - Índice De Qualidade Das Águas (IQA). Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 02 de maio de 2023.
- ARANTES, Camila C. et al. Diferentes formas de aplicação da semente de Moringa oleifera no tratamento de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 266-272, 2015.
- ARAÚJO, Gleidson Soares; SANTOS, Yuri Passos; DE OLIVEIRA, André Gadelha. Avaliação do uso da moringa oleífera no tratamento de efluente proveniente de usina de concreto. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 32822-32835, 2020.
- BAPTISTA, Aline Takaoka Alves et al. Protein fractionation of seeds of Moringa oleifera lam and its application in superficial water treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 180, p. 114-124, 2017.
- BRASIL. 2021. Portaria GM/MS N° 888, 04 de maio de 2021. Disponível em: <[https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html)>. Acesso em: 24 de maio de 2023.
- CALDEIRA, Núbia Cristina Almeida. Avaliação da Moringa oleifera Lam para remoção de dureza de águas. 2012. 38 f. Monografia-Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.
- CARVALHO, Maria José Herkenhoff. 2008. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. Dissertação de Mestrado-Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2008.
- CHALES, Geane Garcia et al. Impact of Moringa oleifera seed-derived coagulants processing steps on physicochemical, residual organic, and cytotoxicity properties of treated water. **Water**, v. 14, n. 13, p. 2058, 2022.

COSTA, Raul Leite da et al. Tratamento de água cinza para reúso agrícola no semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, p. 1031-1040, 2022.

CUNHA, Rayanna Pinheiro et al. Turbidity removal and pH of raw water treated with natural coagulants. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 16, n. 1, p. 1-14, 2023.

DA SILVA, Renata Raianny et al. Avaliação da qualidade microbiológica e físico-química da água de um trecho do Rio Capibaribe, no município de São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil. **Brazilian Journal of Development, Curitiba**, v. 7, n. 6, p. 62847-62866, 2021.

DE ALMEIDA, O. A. Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010., 2010.

DE MEDEIROS FILHO, Francisco Carlos et al. Avaliação dos parâmetros físico-químicos de águas de diferentes fontes na região do Curimataú Paraibano. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 77983-77993, 2020.

DE OLIVEIRA GOMES, Maria Juciana Pereira et al. Escassez hídrica e a saúde humana: concepções alternativas de estudantes do ensino fundamental do município de Tenente Ananias-RN. **Scientia Naturalis**, v. 4, n. 2, 2022.

DE SOUZA JÚNIOR, Teobaldo Gabriel et al. Açude Grande de Cajazeiras (PB): um insustentável exemplo de descuido com a água no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 15, n. 3, p. 315-337, 2020.

DE SOUZA, Sandra Selma Marques et al. Eficiência De Sementes De Moringa Oleifera Lam Sob Condições De Secagem E De Armazenamento No Tratamento Da Água. **Revista Ciência Agrícola**, v. 21, p. e13038-e13038, 2023.

DOS SANTOS, Andresa Regina Arthuso; DA CRUZ, Larissa Aparecida; GONTIJO, Hebert Medeiros. Semente de Moringa Oleífera como solução alternativa para o tratamento de água em comunidades rurais. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 6, p. 14, 2019.

DOVIDAUSKAS, Sergio et al. Parâmetros físico-químicos incomuns em água de abastecimento público de um município da região nordeste do Estado de São Paulo (Brasil). **Vigil Sanit Debate, Rio de Janeiro**, v. 5, n. 1, p. 106-115, 2017.

EGUCHI, Cristina Satomi Yamamoto; ARANTES, Camila Clementina. Clarificação de água superficial com baixos valores de turbidez e cor aparente utilizando extrato de sementes de Moringa oleifera e sulfato de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 4, n. 2, p. 190-199, 2019.

ELGEED, Bashir Ali Awad; ABDALSALAM, Merghani Hassan. Evaluation The Efficacy Of Moringa Oleifera Seed Powder On Physico-Chemical Parameters Of White Nile River Water. **International Journal of Science Academic Research**, 2023.

FELIPPE, Miguel Fernandes; DE ALMEIDA NETO, José Oliveira. Comparação De Técnicas De Obtenção De Sólidos Totais Dissolvidos Nas Águas: Contribuição Para Os Estudos De Desnudação Geoquímica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 1, 2019.

FERREIRA, Bianca de Cássia; PAIVA, Priscila Moraes Henrique; MARQUES, Amilton. Semente De Moringa Oleífera Como Coagulante Natural No Tratamento Da Água. 2020.

FIGUEIREDO, Maria Thalillian Santos et al. Tratamento de água utilizando extrato de sementes de Moringa oleífera: Uma revisão integrativa. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e41411225889-e41411225889, 2022.

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna et al. Potencial De Expansão Da Irrigação Em Bacia Hidrográfica Da Região Do Médio Curso Do Rio Paraíba. **POLÊM! CA**, v. 21, n. 3, p. 146-165, 2021.

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização agrícola do estado da paraíba utilizando sistema de informações geográficas**. 2010. Tese de Doutorado-Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2010.

FREIRE, Leonardo Vieira Melo. Tratamento de água para comunidades rurais usando Moringa Oleífera como coagulante natural. 2017. 132 f. Dissertação de mestrado-Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2017.

GAIKWAD, V. T.; MUNAVALLI, G. R. Turbidity removal by conventional and ballasted coagulation with natural coagulants. **Applied Water Science**, v. 9, n. 5, p. 130, 2019.

Google Earth. Disponível em: <<https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

Google Maps. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

IBGE. (2010). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Banco de Dados Agregados (PNAD). Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/pnad/pnadpb>>. Acesso em: 02 de maio de 2023.

IBGE. (2023). Cidades e estados. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/>>. Acesso em: 02 de maio de 2023.

JUNHO, Alana Lopes et al. Avaliação da eficiência do tratamento de águas cinzas utilizando sementes de Moringa oleífera sob diferentes metodologias de ensaio. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, 2020.

JÚNIOR, Lima; ABREU, F. O. M. S. Produtos naturais utilizados como coagulantes e floculantes para tratamento de águas: uma revisão sobre benefícios e potencialidades. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 3, 2018.

KITHEKA, Johnson U. et al. The effectiveness of Moringa oleifera seed coagulant in reducing the turbidity and modifying the physico-chemical characteristics of water. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, n. 4, p. 126-145, 2022.

MEGERSA, Moa et al. A preliminary evaluation of locally used plant coagulants for household water treatment. **Water Conservation Science and Engineering**, v. 1, p. 95-102, 2016.

MONACO, Paola Alfonsa Vieira Lo et al. Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010.

MUNIZ, Gustavo Lopes; DUARTE, Francinete Veloso; OLIVEIRA, Suelaine Barbosa de. Uso de sementes de Moringa oleifera na remoção da turbidez de água para abastecimento. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 454-463, 2015.

NARDY, José Fernando et al. Estudo espectrofotométrico de turbidez em água para as indústrias de bebidas e alimentos de origem animal. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 14, n. 3, p. 1-12, 2020.

NASCIMENTO, Amanda Caroline Santos et al. Low turbidity water treated with seeds of Moringa oleífera Lam. 2020.

NUNES, Nicolas Teixeira et al. Sistema de Monitoramento para Identificação de Contaminantes Apolares em Águas Subterrâneas via Condutividade Elétrica. 2019.

OKUDA, Tetsuji et al. Isolation and characterization of coagulant extracted from Moringa oleifera seed by salt solution. **Water research**, v. 35, n. 2, p. 405-410, 2001.

OLIVEIRA, Natalia Terezinha et al. Tratamento de água com Moringa oleifera como coagulante/floculante natural. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 373-382, 2018.

PICCOLI, Andrezza de Souza et al. A Educação Ambiental como estratégia de mobilização social para o enfrentamento da escassez de água. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, p. 797-808, 2016.

PRITCHARD, M. et al. A comparison between Moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water—An alternative sustainable solution for developing countries. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 35, n. 13-14, p. 798-805, 2010.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. Editora Blucher, 2009.

SANTOS, Tayanara Menezes et al. Estudo do tratamento físico químico da água produzida utilizando Moringa oleifera Lam em comparação ao sulfato de alumínio. **Exacta**, v. 9, n. 3, p. 317-321, 2011.

SARAVANAN, A. et al. Effective water/wastewater treatment methodologies for toxic pollutants removal: Processes and applications towards sustainable development. **Chemosphere**, v. 280, p. 130595, 2021.

SEMANKA, Tiroyamodimo; SEIFU, Eyassu; SEKWATI-MONANG, Bonno. Effects of Moringa oleifera seeds on the physicochemical properties and microbiological quality of borehole water from Botswana. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 12, n. 9, p. 659-670, 2022.

SIGLER, A.; BAUDER, Jim. Alcalinidad, pH, y sólidos disueltos totales. **Obtenido de Well Educated Educación en el Agua de Pozo: [http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Alkalinity\\_pH\\_TDS](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS)**, v. 20, p. 2012-11, 2017.

SILVA, Amanda Leticia Oliveira et al. Possíveis efeitos do alumínio presente na água tratada. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 1413-1420, 2020.

SILVA, Marcia Aparecida; DE ARAÚJO, Renata Ribeiro. Análise temporal da qualidade da água no córrego Limoeiro e no rio Pirapozinho no Estado de São Paulo-Brasil. **Formação (Online)**, v. 1, n. 24, 2017.

SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. de. Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias. Campina Grande: DEC/CCT/UFGP, 2001.

SOARES, Emanuel Júnior Silva et al. Potencial de vegetais para produção de coagulantes visando aplicação no tratamento de água: revisão sistemática. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 2, p. 292-302, 2021.

SOUZA JÚNIOR, Teobaldo Gabriel de. **Açude grande de Cajazeiras-PB: Uma análise da sua água e dos seus usos**. 2020. Dissertação de Mestrado-Universidade Federal do Cariri, Ceará, 2020.

SOUZA, Estêvão Brasiliense. Uso de cascas de Moringa oleifera íntegras e fracionadas para fins de tratamento de efluentes da suinocultura. 2021. 75 f. Trabalho de conclusão de curso-Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2021.

STEVENSON, Matthew; BRAVO, Cristián. Advanced turbidity prediction for operational water supply planning. **Decision Support Systems**, v. 119, p. 72-84, 2019.

UKAOGO, Prince O.; EWUZIE, Ugochukwu; ONWUKA, Chibuzo V. Environmental pollution: causes, effects, and the remedies. In: **Microorganisms for sustainable environment and health**. Elsevier, 2020. p. 419-429.

VALVERDE, Karina Cardoso et al. Estudo Da Clarificação Da Água Superficial Por Meio Da Associação Dos Agentes Coagulantes Moringa Oleifera Lam E Policloreto De Alumínio. **e-xacta**, v. 9, n. 2, p. 1-8, 2016.

VIANNA, Anderson Martins. Poluição ambiental, um problema de urbanização e crescimento desordenado das cidades. **Revista Sustinere**, v. 3, n. 1, p. 22-42, 2015.

YIN, Chun-Yang. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 9, p. 1437-1444, 2010.

ZAID, Aziz Qannaf Aziz; GHAZALI, Suriati Binti. Preliminary investigation of water treatment using *Moringa oleifera* seeds powder as natural coagulant: a case study of Belat River. Malaysia. **Int J Eng Sci**, v. 8, n. 2, p. 79-85, 2019.