



**UFOP**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Urbana  
Curso de Graduação em Engenharia Urbana

---



**ESCOLA DE MINAS**

**Gabrielle Sanches Lima Mesquita**

**OTIMIZAÇÃO DO USO DE COAGULANTES NATURAIS NO  
TRATAMENTO DE ÁGUAS TURVAS PROVENIENTES DE  
DRENAGEM DE MINERAÇÃO.**

OURO PRETO  
2024

# OTIMIZAÇÃO DO USO DE COAGULANTES NATURAIS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS TURVAS PROVENIENTES DE DRENAGEM DE MINERAÇÃO.

Gabrielle Sanches Lima Mesquita

Projeto Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Urbana na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação:

Áreas de concentração: Saneamento/Infraestruturas Urbanas e Geotecnia.

Orientador: Profa. Dra. Tamara Daiane de Souza – UFOP

Co-orientador: Enga. Joseandra Aparecida Campos Bongiovanni

OURO PRETO

2024

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M581o Mesquita, Gabrielle Sanches Lima.

Otimização do uso de coagulantes naturais no tratamento de águas turvas provenientes de drenagem de mineração. [manuscrito] / Gabrielle Sanches Lima Mesquita. - 2024.

75 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Tamara Daiane de Souza.

Coorientadora: Esp. Joseandra Aparecida Campos Bongiovanni.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Urbana .

1. Saneamento Básico. 2. Tratamento de Água. 3. Coagulação (Tratamento da Água). I. Souza, Tamara Daiane de. II. Bongiovanni, Joseandra Aparecida Campos. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 62:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Gabrielle Sanches Lima Mesquita**

**Otimização do uso de coagulantes naturais no tratamento de águas turvas provenientes de drenagem de mineração**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Urbano

Aprovada em 17 de setembro de 2024

### Membros da banca

Doutora - Tamara Daiane de Souza - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Engenheira Joseandra Aparecida Campos Bongiovanni - Coorientadora (Aluna de Pós-Graduação - Universidade Federal de Ouro Preto)  
Doutor - Múcio André dos Santos Alves Mendes (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Mestre Paula Cristine Silva Gomes (Aluna de Pós-Graduação - Universidade Federal de Ouro Preto)

Tamara Daiane de Souza, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 01/10/2024



Documento assinado eletronicamente por **Tamara Daiane de Souza, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/10/2024, às 13:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0786985** e o código CRC **C75DBC94**.

*“[...] tudo isso se tornou parte da minha vida; não  
poderia deixar tudo isso sem chorar, sem  
compreender que, por mau que me parecesse,  
era parte de mim que ficava com eles todos.”*

*Fernando Pessoa*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que me permitiu a dádiva da vida. E me deu paciência e força.

Aos meus pais, Maristela e Murilo, que não me permitiram desistir, me amaram e me cuidaram incondicionalmente.

As bênçãos das minhas avós Sebastiana (em memória) e Idha (em memória).

Ao carinho de Ana Hercília, Anthony, Alexandre, Clara, Hugo, Marília e Patrícia. A família que Ouro Preto me deu.

A Victor Thadeus, por ser abrigo. E a Ana Carla, Biel e Taline, por estarem lá desde o início.

A república Bem Te Vi, onde vivi tantos anos importantes e que me permitiram conhecer pessoas que transformaram minha vida: Beatriz (Trendy), Laís (Bat), Matheus (B3) e Mariana (Mozaum).

A Profa. Tamara Daiane de Souza, orientadora deste trabalho, e também a mulher que ensinou, inspirou e ajudou em cada etapa deste projeto; e a Bianca, que esteve ao meu lado durante todo o período de experimentos.

Ao Departamento de Defesa Civil de Ouro Preto, lugar em que orgulhosamente estagiei. Principalmente a Leandro, Gabriel e Andréia, que me ensinaram, apoiaram e acolheram todos os dias.

Ao Departamento de Engenharia Urbana, professores e funcionários que tornaram este projeto possível através de tantos conhecimentos e experiências compartilhadas.

Ao laboratório de Saneamento Ambiental - UFOP pelos materiais, equipamentos e orientações essenciais principalmente às etapas de desenvolvimento experimental.

As empresas que forneceram materiais, informações e auxílios importantes para a concretização deste trabalho, e a Fundação Gorceix e ao CNPQ, que estiveram presentes durante todos os anos de graduação.

## RESUMO

Os coagulantes desempenham um papel crucial na remoção de impurezas na água, sendo possível utilizar coagulantes químicos ou, alternativamente, coagulantes naturais como a *Moringa oleifera* e o quiabo (*Abelmoschus esculentus*) - que surgem como promissoras opções devido às suas vantagens, uma vez que são biodegradáveis, não tóxicos e geram menos lodo, com menores teores de metais. Simultaneamente, a atividade de mineração, essencial para a extração de recursos minerais em diversos setores, enfrenta desafios ambientais significativos, destacando-se o gerenciamento adequado da água de drenagem resultante das operações mineradoras. A água de drenagem da mineração, frequentemente carregando uma expressiva quantidade de sólidos suspensos, demanda tratamento adequado, e a aplicação do tratamento físico-químico com coagulação e floculação é a técnica majoritariamente utilizada. Os coagulantes naturais são desejáveis ambientalmente e, por isso, nesse contexto, o projeto busca analisar a substituição dos coagulantes inorgânicos de cloreto de polialumínio (PAC®12) e de polímero aniônico (Superfloc®N100) por coagulantes naturais provindos da moringa e do quiabo, no tratamento de água de drenagem de mineração. Amostras de água sintética foram obtidas com a mistura de água proveniente de rio e sólidos coletadas em área de mineração, com turbidez próxima a 2000 NTU. As amostras foram submetidas a ensaios de coagulação/floculação/decantação no equipamento Jar-Test, simulando mistura rápida e lenta. Análises de turbidez e pH foram conduzidas em intervalos de 30, 60 e 90 minutos. Utilizando o Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) as soluções dos coagulantes naturais foram obtidas; e posteriormente, a Metodologia da Superfície de Resposta (MSR) com Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) foi utilizada. Foram, então, realizados ensaios para obtenção da análise de variância (ANOVA), que indicou a influência dos coagulantes naturais e do pH na tratabilidade das águas turvas. No contexto estudado, nem a alteração do pH nem a adição do coagulante de pó de quiabo tiveram influência significativa para a otimização do processo. Os melhores resultados, 98,23% e 98,97% de redução de turbidez, foram obtidos, respectivamente, nos minutos 60 e 90 de decantação, utilizando apenas o coagulante de moringa na dosagem ótima (1,61 g/L). Em consórcio com os coagulantes químicos foi possível reduzir o PAC®12 em 20% e o Superfloc®N100 em mais de 14%, ainda obtendo 95,29% de redução de turbidez. Em consórcio a moringa reduziu em até 9,59% o pH da água, tornando-a mais neutra. O uso de coagulantes naturais no tratamento de águas turvas foi considerado eficaz, viável e sustentável, e deve continuar a ser um foco de estudos para que se torne amplamente conhecido e mais acessível para os operadores.

Palavras-chave: coagulantes; moringa oleifera; quiabo; otimização; tratamento de água

## ABSTRACT

Coagulants play a crucial role in removing impurities from water, and it is possible to use chemical coagulants or, alternatively, natural coagulants such as *Moringa oleifera* and okra (*Abelmoschus esculentus*)—which emerge as promising options due to their advantages, being biodegradable, non-toxic, and generating less sludge with lower metal content. Simultaneously, mining activities, essential for the extraction of mineral resources in various sectors, face significant environmental challenges, particularly regarding the proper management of drainage water resulting from mining operations. Mining drainage water, often carrying a significant amount of suspended solids, requires appropriate treatment, and the application of physico-chemical treatment with coagulation and flocculation is the most commonly used technique. Natural coagulants are environmentally desirable, and therefore, in this context, the project aims to analyze the substitution of inorganic coagulants, such as polyaluminum chloride (PAC®12) and anionic polymer (Superfloc®N100), with natural coagulants derived from moringa and okra, in the treatment of mining drainage water. Synthetic water samples were obtained by mixing river water and solids collected from a mining area, with turbidity close to 2000 NTU. The samples were subjected to coagulation/flocculation/settling tests using the Jar-Test equipment, simulating rapid and slow mixing. Turbidity and pH analyses were conducted at 30, 60, and 90-minute intervals. Using Systematic Literature Mapping (SLM), the solutions of the natural coagulants were obtained; subsequently, Response Surface Methodology (RSM) with Central Composite Rotational Design (CCRD) was applied. Tests were then carried out to obtain the analysis of variance (ANOVA), which indicated the influence of natural coagulants and pH on the treatability of turbid waters. In the studied context, neither the alteration of pH nor the addition of okra powder coagulant had a significant influence on optimizing the process. The best results, 98.23% and 98.97% turbidity reduction, were obtained at 60 and 90 minutes of settling, respectively, using only the moringa coagulant at the optimal dosage (1.61 g/L). In combination with chemical coagulants, it was possible to reduce PAC®12 by 20% and Superfloc®N100 by over 14%, still achieving a 95.29% turbidity reduction. When combined, moringa reduced the water's pH by up to 9.59%, making it more neutral. The use of natural coagulants in the coagulation stage of turbid waters was considered effective, viable, and sustainable, and should continue to be a focus of studies so that it becomes widely known and more accessible to operators.

Keywords: coagulants; turbidity; *moringa oleifera*; okra; optimization; water treatment

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	10
<b>2. JUSTIFICATIVA</b>	12
<b>3. OBJETIVOS</b>	13
3.1 Objetivos Gerais	13
3.2 Objetivos Específicos	13
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO</b>	14
4.1 Sistema de tratamento de águas	14
4.2 Coagulação e floculação	16
4.3 Coagulantes naturais e coagulantes de sais inorgânicos	17
4.3.1 <i>Moringa oleifera</i>	18
4.3.2 <i>Abelmoschus esculentus</i>	19
4.3.3 Cloreto de polialumínio (PAC®12) e polímero aniônico (Superfloc®N100)	19
4.4 Mineração e drenagem de água de mineração	20
4.5 Mapeamento Sistemático de Literatura	24
<b>5. METODOLOGIA</b>	29
5.1 Obtenção dos coagulantes naturais	30
5.2 Obtenção e caracterização das amostras de água de drenagem de mineração	32
5.3 Obtenção dos coagulantes químicos Superfloc®N100 e PAC®12	33
5.4 Delineamento experimental	33
5.5 Ensaio de coagulação	34
5.6 Análise Estatística ANOVA	35
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	35
6.1 Revisão Sistemática de Literatura para Obtenção dos Coagulantes Naturais	35
6.2 Ensaio utilizando coagulantes naturais	36
6.3 Análises ANOVA: definição da dosagem ideal de coagulante natural	38
6.4 Consórcio com coagulantes químicos	42
<b>7. CONCLUSÃO</b>	45
<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b>	48
<b>APÊNDICE A</b>	52
<b>APÊNDICE B</b>	62

## 1. INTRODUÇÃO

Muitos estados no Brasil, ao compartilhar espaços com empresas mineradoras, encaram diversos desafios na gestão e tratamento de águas superficiais e subterrâneas. Este é, principalmente, o caso das regiões de Minas Gerais e Pará, responsáveis por mais de 88% do valor da produção de substâncias metálicas nacionais, com destaque para o ferro e o alumínio (ANM, 2023).

É importante compreender que, no processo de mineração, o manejo da água é essencial e complexo. Muitas vezes, por exemplo, cavas a céu aberto precisam ser construídas; nelas há, com frequência, o escoamento de águas pluviais que, posteriormente, criam reservatórios que dispõem de elevados níveis de turbidez e minerais de ferro (Carvalho, 2005). Além disso, segundo Carvalho (2005), problemáticas relacionadas a processos de assoreamento e transporte de sedimentos, podem, em conjunto com fatores relacionados ao pH e à presença de matéria orgânica, favorecer a disponibilidade de elementos minerais de efetivo potencial tóxico em forma dissolvida nos corpos hídricos.

De qualquer forma, todas estas águas devem ser apropriadamente tratadas e descartadas em córregos e rios que, em algum ponto, serão novamente captadas, tratadas através de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) e servidas ao sistema de abastecimento de água do município. Também por isso, o interesse deste trabalho é de trazer o pensamento holístico da engenharia urbana para o tratamento de águas turvas provindas de drenagem de mineração, uma vez que o tratamento e a preservação de águas subterrâneas e superficiais são partes fundamentais para o correto funcionamento das cidades.

Assim, as águas devem ser tratadas de forma adequada, mesmo quando destinadas a usos secundários, a fim de evitar riscos à saúde humana. Nas ETAs convencionais e Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), o processo de coagulação frequentemente utiliza coagulantes químicos, como sais de alumínio e ferro (Guedes et al., 2006). Porém, o emprego destes compostos pode aumentar a concentração de alumínio dissolvido e, em altas concentrações, podem gerar elevado teor residual, associados por diversos estudiosos a problemas graves de saúde, como o desenvolvimento de demência e Alzheimer (Shak e Wu, 2014; Singh e Kumar, 2011; Gupta et al., 2005).

A utilização de coagulantes inorgânicos (químicos) também produz lodo tóxico e eleva os custos nas estações devido a necessidade de correção do pH da água, que se altera devido às propriedades químicas que o processo acarreta (Nhut et al., 2021). É crucial reconhecer que o tratamento de água por meio de coagulantes naturais oferece uma alternativa valiosa em diversos contextos, destacando-se como uma prática versátil e sustentável em várias aplicações. Contudo, ainda são incipientes os estudos que otimizam os processos de coagulação e floculação com coagulantes orgânicos, por isso, ainda possuem maior custo de aquisição devido ao fator de escala de produção e escassez de dados para sistemática no processo de tratamento.

Desta forma, uma mudança de paradigma no que tange ao tratamento de águas tem impulsionado a utilização de coagulantes naturais, que, em sua maioria, não afetam o pH da água, apresentam boa capacidade de remoção de cor e turbidez, promovem expressiva remoção de bactérias, são biodegradáveis, não tóxicos e geram lodo em menor quantidade e com menores teores de metais (Nwaiwu e Lingmu, 2011; Adewole, 2020). Não obstante, os coagulantes naturais surgem como alternativa promissora, dentre estes, destacam-se a *Moringa oleífera* (moringa) e mais recentemente, a solução de quiabo (*Abelmoschus esculentus*).

A moringa é utilizada na coagulação através do extrato de sua semente, que possui proteína com propriedades coagulantes, não altera o pH nem o gosto da água e não é tóxica para humanos ou animais (Sánchez-Martín, J. et al., 2010). A aplicação com melhores resultados acontece em águas mais turvas, garantindo que o potencial coagulante da planta atue sobre as partículas e diminua a turbidez da água (Vigneshwaran et al., 2020). O quiabo é uma hortaliça de grande importância econômica e alimentar, cultivada em áreas tropicais e subtropicais, e tem despertado a atenção devido às suas propriedades de coagulação/floculação, uma vez que a hortaliça possui polissacarídeos solúveis em água capazes de desestabilizar partículas coloidais suspensas formando flocos, uma característica interessante para tratamento de efluentes (Lima, 2007; Muniz et al., 2020). Além do mais, quando maduro, o quiabo torna-se rígido e impróprio para consumo, gerando grande volume de resíduos que poderiam ser utilizados na obtenção do coagulante natural.

Em suma, os resultados deste trabalho podem fornecer subsídios para ações em saneamento ambiental, minimizando os impactos ambientais negativos que a

falta de gestão adequada das águas turvas oferecem, bem como protegendo os ecossistemas locais e a saúde humana.

## **2. JUSTIFICATIVA**

O interesse no estudo de novas tecnologias socioambientais para o tratamento de água, além da busca por uma forma mais ecológica e sustentável de proporcionar água de qualidade para a população, condiz com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), documento proposto pela ONU que estabelece metas sustentáveis para serem cumpridas até 2030. Entre elas estão os ODS 6 - Água Potável e Saneamento, ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura, ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis, ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima e ODS 15 - Vida Terrestre (ONU, 2015). Todos condizendo com os propósitos deste trabalho, uma vez que substituir ou reduzir o uso de coagulantes químicos favorece práticas de produção mais responsáveis, diminui a emissão de contaminantes e apoia a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, a inovação tecnológica no setor industrial fortalece infraestruturas mais sustentáveis, protegendo ecossistemas terrestres e aquáticos afetados pela atividade mineradora

Assim, os objetivos direcionam este projeto e propõem que a qualidade da água nos corpos hídricos deve ser expressivamente melhorada. Desta forma, a água proveniente da drenagem em atividades mineradoras, frequentemente contaminada por substâncias químicas e metais pesados, constitui um dos principais desafios ambientais enfrentados pelas cidades e indústrias deste ramo. O tratamento eficiente desse recurso é vital para minimizar os impactos adversos nos ecossistemas locais e preservar os recursos hídricos.

Uma abordagem relevante para tratar a água de drenagem em mineração é o uso de coagulantes naturais, compostos por substâncias orgânicas ou inorgânicas, como sementes de plantas, polímeros naturais e sais minerais. Ao contrário dos coagulantes químicos convencionais, que podem ser prejudiciais e apresentar riscos ambientais, os coagulantes naturais geralmente oferecem maior segurança e sustentabilidade.

Apesar do potencial destes coagulantes, muitos sistemas de tratamento ainda não os adotam devido à incerteza em relação ao método a ser empregado, incluindo a dosagem ótima, a possibilidade de consórcio com coagulantes

inorgânicos, as alterações no pH e os tempos de mistura. Assim, a hipótese deste trabalho propõe a tratabilidade da água, de forma sustentável, diminuindo os impactos do coagulante químico sobre o homem e sobre a natureza.

O método escolhido busca a substituição parcial ou total de sais inorgânicos, como Cloreto de polialumínio (PAC®12) e polímero aniônico (Superfloc®N100), por coagulantes naturais no tratamento de águas de drenagem de mineração. A otimização desse processo é importante, uma vez que os coagulantes naturais têm o potencial de remover contaminantes presentes na água, contribuindo para a reabilitação da qualidade da água e a proteção dos recursos hídricos e, pode representar uma alternativa economicamente mais viável para a indústria mineradora, uma vez que muitos desses coagulantes são amplamente disponíveis e de baixo custo. Essa abordagem pode resultar em significativas economias financeiras, especialmente em minas de pequena escala ou em regiões com recursos limitados.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivos Gerais**

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência na remoção de impurezas de águas turvas oriundas de áreas de mineração por meio do uso de coagulantes naturais, visando identificar a viabilidade e otimizar processos de tratamento de água. Além disso, busca-se explorar a possibilidade de redução no uso de coagulantes químicos amplamente utilizados na indústria, como o cloreto de polialumínio (PAC®12) e o polímero aniônico (Superfloc®N100), por meio de sua aplicação em conjunto com coagulantes naturais.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

**Para alcançar os objetivos gerais, tem-se o seguintes objetivos específicos:**

- Realizar uma revisão sistemática da literatura com metodologia baseada em um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL).
- Obter os coagulantes naturais de extrato de semente de *Moringa Oleífera* e extrato de *Abelmoschus esculentus*.

- Obter e caracterizar as amostras sintéticas de água de drenagem de mineração.
- Realizar ensaios preliminares de coagulação conduzidos no equipamento de Jar-Test.
- Utilizar o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) através da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) na otimização da dosagem dos coagulantes;
- Avaliar o consórcio entre os coagulantes naturais e os coagulantes químicos PAC®12 e Superfloc®N100 para águas turvas.
- Analisar a viabilidade e tratabilidade deste consórcio de coagulantes quanto à turbidez e ao pH da água.

#### **4. REFERENCIAL TEÓRICO**

A seguir serão apresentados os principais conceitos e teorias relacionados à otimização da utilização de coagulantes naturais (moringa e quiabo) e coagulantes químicos (PAC®12 e Superfloc®N100) no tratamento de águas turvas de drenagem de mineração.

##### **4.1 Sistema de tratamento de águas**

Em 2007, o Congresso Nacional aprovou a Lei 11.445, estabelecendo as diretrizes nacionais para o Saneamento Básico e política federal para o setor. Com essa medida, o conceito de Saneamento Básico se tornou mais abrangente, incluindo os sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e águas pluviais (Brasil, 2007). No mesmo sentido, no país, em 2020, a Lei nº 14.026/2020 foi sancionada. Chamada popularmente de “novo marco do saneamento”, esta garante o delineamento legal, administrativo e regulatório para que Governo federal, estadual e municipal, órgãos da Administração Pública e a sociedade civil se empenhem para universalizar o acesso e a prestação do serviço público de saneamento básico no Brasil (ANA, 2020).

A partir disso, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021), determina que o sistema de abastecimento de água se forma por um conjunto de equipamentos, infraestruturas e serviços, desenvolvido por cinco etapas principais:

captação de água bruta, adução, tratamento, reservação e distribuição. Em uma ETA comum, as fases necessárias para o tratamento são, essencialmente: coagulação e floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação (Liebl e Schoen, 2022).

Conseqüentemente, diante da utilização diária de água, há então a geração de águas residuais, chamadas de esgoto, que são descarregadas de residências e/ou de estabelecimentos comerciais e públicos (Liebl e Schoen, 2022). O esgoto sanitário pode ser classificado em esgoto doméstico e esgoto industrial, além das águas de infiltração. Estes se diferem basicamente pela sua composição, já que esgotos industriais podem variar sua composição de orgânica a mineral, dependendo da indústria em questão, enquanto os esgotos domésticos tem composição basicamente orgânica, devido às atividades domésticas e dejetos humanos (Portal de Tratamento de Água, 2018).

Assim, é importante apontar que, no Brasil, o sistema de drenagem e de esgotamento sanitário devem estar separados, já que são manipulados e tratados de forma diferente. Em geral, o tratamento do esgoto visa sua disposição adequada, prevenindo o aumento de doenças de veiculação hídrica e a degradação do meio ambiente, uma vez que um sistema eficiente promove benefícios na saúde, na economia e no ambiente, evitando a poluição de rios e fontes de água, que futuramente terão potencial para utilização do abastecimento de água (CODEVASF, 2015).

Logo, fazem-se necessárias soluções e estratégias de modo a fazer a devolução destas águas, com suas características modificadas, aos corpos hídricos, buscando a mínima alteração do corpo receptor e mínimas consequências sanitárias e ambientais. Para a classificação desses corpos hídricos são consultados os parâmetros apresentados pelo CONAMA 430/2011 (Brasil, 2011), que enquadram a qualidade de águas doces e, a portaria GM/MS Nº 888/2021, para padrões de potabilidade. A disposição final de esgotos deve ser adequada de maneira a garantir a continuidade e gerenciamento do ciclo de uso da água, evitando problemas sanitários, e mantendo o abastecimento apropriado e universal de água.

## 4.2 Coagulação e floculação

A turbidez é causada pela presença de partículas e substâncias suspensas na água e pode ser descrita como a medida da redução da intensidade da luz ao passar por uma amostra de água (Pavanelli, 2001). Valores para turbidez e pH, através da resolução CONAMA 357/2005, classificam e enquadram corpos d'água (FIG. 1). Assim, a partir da análise conjunta com o CONAMA 430/2011, devem ser observados os casos de lançamento de efluente, uma vez que fica determinado que o lançamento não pode conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias, e também, que o efluente não deve apresentar ou ter potencial para provocar efeitos tóxicos nos organismos aquáticos do corpo receptor, conforme os critérios estabelecidos de ecotoxicidade (Brasil, 2011).

Figura 1 - Padrões para Águas Doces do CONAMA

TABELAS - ÁGUAS DOÇES (CONAMA 357/05)				
PADRÕES				
PARÂMETROS	VALOR MÁXIMO - CLASSE 1	VALOR MÁXIMO - CLASSE 2	VALOR MÁXIMO - CLASSE 3	VALOR MÁXIMO - CLASSE 4
Turbidez	até 40 UNT	até 100 UNT	até 100 UNT	> 100 UNT
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0

Fonte: CONAMA 357/05.

Sendo medida em Unidade Nefelométrica de Turbidez (NTU), a turbidez é uma propriedade importante para indicar a qualidade da água e, segundo Santos (2021), pode chegar a níveis não recomendados através da erosão do solo e do carreamento de sedimentos durante atividades industriais. De acordo com o autor, um alto teor de turbidez pode gerar diversos impactos ambientais, uma vez que as partículas suspensas na superfície absorvem calor da luz solar, elevando a temperatura e modificando as condições naturais de rios, lagos e oceanos; além de diminuir a penetração da luz na coluna d'água, dificultando a fotossíntese de algas e plantas aquáticas.

Segundo Vaz et al. (2010), a etapa de coagulação/floculação no tratamento das águas visa remover substâncias coloidais, isto é, material sólido em suspensão (cor) e/ou dissolvido (turbidez). Os conceitos de coagulação e floculação são frequentemente empregados como sinônimos, uma vez que ambos referem-se ao processo de aglomeração de partículas. Na coagulação, o agente coagulante

adicionado à água reduz as forças que mantêm as superfícies em suspensão separadas. Já, a floculação, é o processo em que essas partículas aglomeram-se, formando partículas maiores capazes de se sedimentarem (Valverde, 2014).

Fatores como o potencial hidrogeniônico (pH), a capacidade da água neutralizar ácidos (alcalinidade), o tipo de partículas coloidais e os agentes coagulantes utilizados influenciam significativamente o processo de coagulação, enquanto aspectos como temperatura e tempo/velocidade de agitação interferem de forma mais moderada (Santos et al., 2007). Assim, como demonstrado através dos padrões CONAMA, também é necessário atender aos limites de pH para águas que serão lançadas nos receptores, uma vez que podem alterar ecossistemas aquáticos e interferir nos processos unitários de tratamento de água (Martins, 2014).

### **4.3 Coagulantes naturais e coagulantes de sais inorgânicos**

Os principais coagulantes químicos utilizados são o sulfato de alumínio, cloreto férrico, hidroxicloreto de alumínio e sulfato férrico; sendo que, segundo Guedes et al. (2006), os mais empregados para tratamento de águas turvas são os alúmen ( $Al_2(SO_4)_3$ ), o cloro-sulfato de alumínio parcialmente hidrolisado (WAC) e o policloreto básico de alumínio (PAC). Uma das principais complicações da utilização destes agentes é a produção do lodo inorgânico que, além de ser de difícil manejo por conta de seu alto volume e teor de umidade, possui em sua composição sais de alumínio: compostos inorgânicos, químicos e não biodegradáveis. Ou seja, tanto os sais de alumínio quanto os de ferro produzem lodos indesejáveis ambientalmente, uma vez que podem liberar íons solúveis prejudiciais à saúde humana (Pavanelli, 2001; Vaz et al, 2010).

Por outro lado, o lodo gerado pelos coagulantes orgânicos não possui sais de alumínio e ferro incorporados, portanto, é biodegradável, o que possibilita sua compostagem e disposição final. Outras vantagens dos coagulantes naturais são a redução da quantidade de lodo e suas características contrárias ao do lodo gelatinoso, volumoso e inorgânico (não entram em decomposição biológica) oriundo do uso do sulfato de alumínio (Cruz et al., 2005).

### 4.3.1 *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera* é uma planta pertencente à família Moringaceae e ao gênero *Moringa*. A espécie é extensamente cultivada ao redor do mundo e possui valores medicinais e nutricionais, sendo inclusive apelidada por “árvore milagrosa”, uma vez que evidências apontam que quase todas as partes da árvore são úteis e benéficas. É considerada de porte médio e possui folhas compostas fendidas longitudinalmente, sua flor é branca e perfumada e o comprimento de sua semente varia de 9,12mm a 16,21mm (Sulaiman et al., 2019).

De acordo com Sulaimain et al. (2019), a prática de usar substâncias naturais provenientes de plantas como coagulantes para purificação de água tem sido observada desde o passado, principalmente em países asiáticos e africanos. Além disso, segundo o autor, o tratamento da água com coagulante natural de moringa é considerado seguro, uma vez que a planta contém apenas polímeros orgânicos naturais e materiais biodegradáveis. A espécie tem potencial para remoção de altas contaminações e o lodo gerado pelo tratamento, além de ser menos volumoso quando comparado ao de alumínio e outros sais férricos, não é tóxico.

Assim, a moringa é utilizada na coagulação através do extrato de sua semente, que tem em sua polpa uma proteína com propriedades coagulantes. Além disso, não alteram o pH da água e nem o gosto, não são tóxicas para humanos e animais e alguns testes ainda apontaram para ações bactericidas (Taiwo et al., 2020). A aplicação com melhores resultados acontece em águas mais turvas, garantindo que o potencial coagulante da planta atue sobre as partículas e diminua a turbidez da água (Sulaiman et al., 2019). A ação coagulante da planta depende, então, das proteínas com carga positiva e solúveis em água nomeadas MOCP (*Moringa Oleifera* Cationic Protein). Quando o coagulante é introduzido nas águas, uma atração eletrostática acontece e a proteína catiônica atua como um ímã. Desta forma, as proteínas atraem impurezas na água e formam flocos por meio do agrupamento de partículas (Desta e Bote, 2021).

Por fim, é possível concluir que o extrato de sementes de moringa demonstra ser uma fonte potencial para o tratamento de água devido à sua eficácia, disponibilidade e sustentabilidade.

### **4.3.2 *Abelmoschus esculentus***

O quiabo (*Abelmoschus esculentus*) é uma planta arbustiva da família Malvaceae de origem africana, que pode atingir de 1 a 1,7 metros de altura, sendo considerada um tipo de hortaliça que se adapta ao clima mais quente (Oliveira et al., 2016). O quiabo maduro pode ser utilizado na forma da mucilagem extraída da vagem ou em forma de solução com o pó seco da vagem (Lima et al, 2020). De acordo com Agarwal et al. (2003), o quiabo possui um polissacarídeo aniônico que pode ser usado como agente floculante, um polímero natural, não tóxico e biodegradável, podendo ser aplicado de forma auxiliar em processos de tratamento de água bruta, de esgoto doméstico e de outros efluentes.

### **4.3.3 Cloreto de polialumínio (PAC®12) e polímero aniônico (Superfloc®N100)**

Atualmente os coagulantes mais comuns nas ETAs no Brasil são sais de ferro ou alumínio, que ao hidrolisarem rapidamente na água, formam um precipitado de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ou  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (Santos, 2021). De acordo com Santos (2021), o uso popular do cloreto de polialumínio para etapas de coagulação da água se deu por volta da década de 1990 por razões econômicas, já havendo registros do seu uso no Japão no final da década de 1960. No entanto, a possível toxicidade do agente para a saúde humana e meio ambiente tem levantado questionamentos sobre seu uso.

O PAC é produzido através da reação controlada de sais de alumínio com uma base, sua principal característica é o grau de neutralização (basicidade) (Kamiwada et al., 2019). Já o Superfloc®N100 é uma poli(acrilamida) de fórmula  $(\text{C}_3\text{H}_5\text{NO})_n$ , polímero sintético, solúvel em água, produzido por meio da polimerização da acrilamida, encontrada sob diferentes cargas e peso molecular (Santos, 2021).

Segundo o autor, as formas aniônicas como o Superfloc®N100, são frequentemente utilizadas como auxiliares de coagulação, sendo consideradas menos tóxicas, apesar de haver muitas preocupações no que diz respeito a efeitos físicos em larvas de invertebrados e produtores primários ao utilizá-lo.

A escolha de quais coagulantes atuarão no processo de tratamento de águas está fortemente relacionado ao custo, adequabilidade e condições do processo de coagulação e floculação, porém, não é possível desconsiderar os aspectos de toxicidade neste processo de triagem. Por isso, surge a atual necessidade por substâncias coagulantes alternativas, cujo os efeitos de toxicidade são declaradamente menores, como, por exemplo, a moringa e o quiabo.

#### **4.4 Mineração e drenagem de água de mineração**

A mineração, no Brasil e no mundo, é atividade essencial para a extração de recursos minerais que são utilizados em uma ampla variedade de setores. No entanto, a atividade de mineração provoca impactos, tanto do ponto de vista ambiental quanto social e econômico, principalmente por lidarem com recursos naturais não renováveis. Essas operações apresentam desafios significativos, e um dos principais é o gerenciamento adequado da água de drenagem resultante dessas operações (Vieira e Rezende, 2015).

A Agência Nacional de Águas (ANA), em parceria Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), em 2006, publicou um documento chamado *A gestão dos recursos hídricos e a mineração*, nele, a drenagem de minas é caracterizada como um processo baseado em princípios hidrológicos e geotécnicos, feito através da instalação de sistemas como poços, galerias e canais, que captam e direcionam a água para fora da mina. É uma etapa essencial nesta indústria e consiste na remoção controlada da água, garantindo a segurança dos trabalhadores, evitando inundações e permitindo a extração eficiente dos minerais.

Esses métodos de controle de água na mineração, que envolvem estratégias de prevenção, como limitar a infiltração das águas, realizar o bombeamento direto da água (FIG. 2) a partir da mina ou antes de sua entrada na mina, embora sejam executados a partir de diversas técnicas, nem todas são práticas ou economicamente viáveis (De la cruz, 2014).

Figura 2 - Bombeamento da água acumulada na cava de Alegria, Mariana, Samarco - Mineração.



Fonte: Carvalho, 2005.

Segundo De la cruz (2014), algumas das técnicas mais implementadas incluem a impermeabilização da superfície ou congelamento do terreno, o grouting e a drenagem de mina. A drenagem de mina, em particular, é o método mais utilizado para controlar as águas em mineração subterrânea. Podendo variar desde a simples coleta de águas infiltradas na mina até procedimentos mais complexos que envolvem a instalação de poços de rebaixamento, perfurações de drenagem dentro da mina ou galerias de drenagem.

Ao controlar o fluxo de água, possibilita-se que as operações de mineração continuem sem interrupções, aumentando a produtividade e evitando a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, o que contribui para a preservação do meio ambiente, permitindo o uso eficiente dos recursos hídricos disponíveis. Porém, a água drenada das minas pode conter substâncias químicas e metais pesados, o que requer tratamento adequado antes de ser descartada ou reutilizada, além de que a instalação, manutenção de sistemas de drenagem e tratamento da água podem ter alto custo (ANA, 2006).

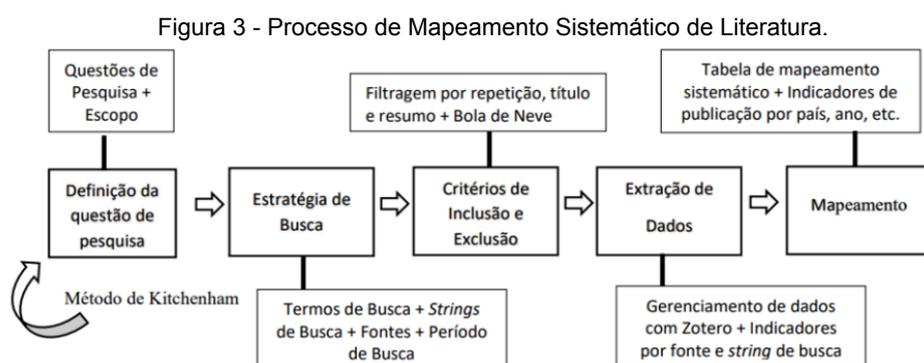
Nas Estações de Tratamento de Águas de Mina (ETAM), são empregados processos físicos e químicos para promover a floculação e sedimentação dos sólidos em suspensão. Esses processos visam resultar em um efluente final que atenda às normas de qualidade estabelecidas e, convencionalmente, envolvem a adição de sais de ferro ou alumínio seguida de um ajuste de pH para induzir a precipitação do hidróxido. Para realizar a coagulação, são necessárias a adição controlada de coagulantes e agitação cuidadosa a fim de neutralizar as cargas

coloidais e formar flocos que facilitem a posterior remoção (Vaz et al., 2010; ANA, 2006).

Cabe ressaltar que a unidade de separação sólido-líquido pode representar cerca de 50% dos custos de capital e operacionais da maioria dos circuitos de beneficiamento de mineração. Em geral, os estudos utilizando biopolímeros são aplicados ao tratamento de águas para fins potáveis, assim, há lacunas sobre o conhecimento acerca de sua aplicação, em especial os de origem vegetal, no tratamento de diferentes águas residuárias industriais (Oliveira e Luz, 2001; Vaz et al., 2010).

#### 4.5 Mapeamento Sistemático de Literatura

De acordo com Brizola et al. (2017), o reconhecimento do estágio atual da produção científica da temática estudada é fundamental para a relevância do problema de pesquisa formulado. Segundo o autor, é fundamental a identificação de lacunas, consensos e controvérsias sobre o tema e, assim, trilhar um trajeto de pesquisa ainda não percorrido por outros pesquisadores. A fim de revisar a bibliografia a ser utilizada, a metodologia empregada foi baseada em um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL). O método de MSL, descrito na FIG. 3, permite uma visão geral do campo estudado, possibilitando a caracterização do tipo de pesquisa, quantidade e resultados disponíveis (Petersen et al., 2008).

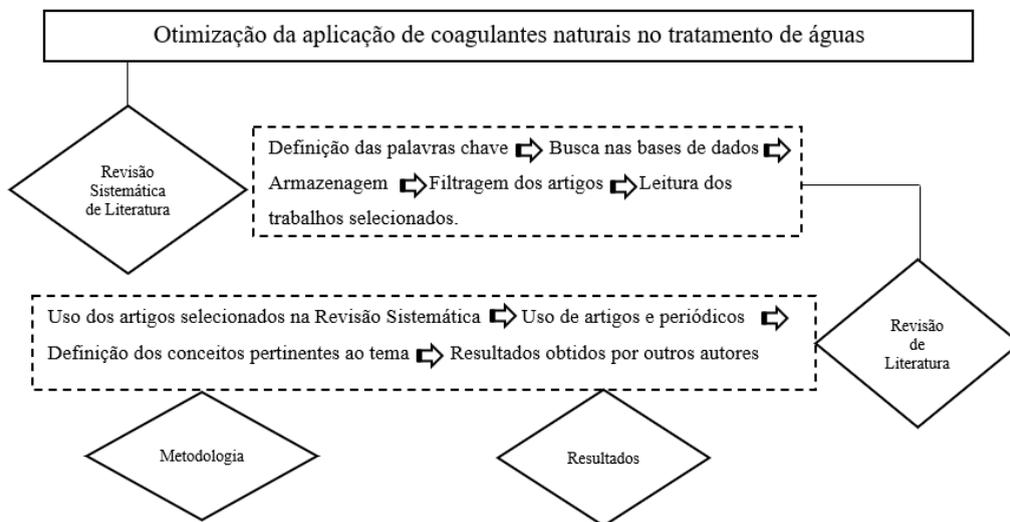


Fonte: Adaptado de Petersen et al. (2008).

Segundo Petersen et al., (2008) as etapas fundamentais do processo são a definição das questões de pesquisa, a triagem de artigos, a extração de dados e o mapa sistemático. Desta forma, a revisão de literatura realizada pode ser delineada como na FIG. 4 abaixo. Uma revisão sistemática possibilita a análise de relatórios já

existentes, revisando e descrevendo suas metodologias e resultados (Kitchenham e Charters, 2007), o método categoriza as pesquisas e fornece, na maioria das vezes, um resumo visual de seus resultados.

Figura 4 - Estrutura de Revisão de Literatura do trabalho.



Fonte: Adaptado de Petersen et al., 2019.

Assim, para o presente trabalho foram selecionados, nas plataformas Web Of Science e no Portal de Periódicos Capes, apenas artigos e periódicos publicados entre os anos de 2013 e 2023. Um resumo geral das estratégias de busca definidas está demonstrado no QUADRO 1 abaixo. Os artigos eleitos foram então filtrados por repetição e em seguida por título, descartando aqueles nos quais os títulos não correspondessem ao tema trabalhado. Por fim, foram filtrados pelo resumo e essa etapa removeu as pesquisas fora do contexto desejado.

Quadro 1 - Estratégias de busca.

Termos de Busca	Strings de Busca
1. water treatment	moringa oleifera OR moringa OR moringa seed* AND natural coagulant* OR coagulant* (4.699 results)
2. wastewater	(moringa oleifera OR moringa OR moringa seed*) AND (natural coagulant* OR coagulant*) AND (water treatment OR wastewater (213 results)
3. mining drainage	(moringa oleifera OR moringa OR moringa seed*) AND (natural coagulant* OR coagulant*) AND (water treatment OR wastewater)AND (turbidity OR pH) (182 results)
4. synthetic turbidity	(moringa oleifera OR moringa OR moringa seed*) AND (natural coagulant* OR coagulant*) AND (water treatment AND wastewater OR mining dranaige) AND (turbidity OR pH) (48 results)
5. moringa oleifera	(water treatment AND wastewater) AND (natural coagulant* OR coagulant*) AND ("moringa" OR "oleifera" OR "moringa seed*") AND turbidity AND pH (24 results)
6. natural coagulants	
7. moringa seed	
8. turbidity	
9. pH	
10. abelmoschus esculentus	
11. flocculant	
12. extract	

	“abelmoschus esculentus” AND (natural coagulant* OR flocculant*) AND water treatment (2.359 results)
	(“abelmoschus esculentus” AND extract) AND (natural coagulant* OR flocculant*) AND water treatment ( <b>8 results</b> )
<b>Fontes</b>	<b>Período</b>
Web of science	2013 a 2023
Portal de Periódicos Capes - Acesso CAFe	
<b>Tipo de Publicação:</b> Artigos e periódicos	

Fonte: Autores, 2024.

Os artigos que restaram após a estratégia de busca determinada foram lidos integralmente e utilizados no projeto presente, seguindo para as etapas de análise dos mecanismos de coagulação, das melhores concentrações de solução e pH do agente natural citado e, das preferíveis metodologias de obtenção e de mistura do extrato de moringa e de quiabo. As tabelas e quadros abaixo sumarizam os principais resultados extraídos do mapeamento sistemático.

Inicialmente, para os artigos revisados, a metodologia de obtenção do extrato de moringa (QUADRO 2) teve pontos semelhantes. Via de regra, as sementes de moringa foram descascadas, lavadas, moídas e peneiradas. Ademais, Varsani et al (2022) e outros autores observaram que o pó da semente é altamente atraído pela umidade tanto antes quanto depois da moagem, e diversas técnicas para secagem são citadas, como secagem em estufa e em forno seco (Vigneshwaran et al, 2020; Desta e Bote, 2021).

No quesito técnicas de mistura, o processo foi quase sempre dividido em duas etapas: agitação rápida e agitação lenta. Para agitação rápida, os melhores resultados ficaram em torno de 200 rpm, enquanto que para a lenta, de 25 a 40 rpm. Notou-se que o tempo de estabilização foi significativo, alguns autores chegaram a 240 minutos de pausa para sedimentação, assim, ao usar o pó de moringa, a coagulação, floculação e sedimentação foi considerada um processo lento (Adesinaa, et al. 2019).

Quadro 2 - Metodologias de mistura e obtenção do extrato de Moringa oleifera

AUTORES, ANO	METODOLOGIA DE MISTURA E OBTENÇÃO DO EXTRATO DE MORINGA
Alakaparampil Joseph Varkey (2020)	Descascadas, moídas e peneiradas (0,8mm). Misturadas de 20 a 25s e repouso para coagulação.
Sivakumar Vigneshwaran et. al (2020)	Moídas e secas em estufa 70C (6h). Agitação 10–50 rpm com intervalos de 100min.
B.I. Gandiwa et al. (2020)	Descascadas e secas a 35°C. Moídas e peneiradas (500µm). Suspensão por 1h e repouso por 30min. Mistura-se a 200rpm (2min) e 10min a 20rpm e 30 min de pausa..
Adewole Scholes Taiwo, et al. (2020)	Secas ao ar e moídas. Diferentes concentrações com Moringa e sulfato de alumínio misturadas por 3min. Repouso 1h, agitação por 18h. Mistura a 350 rpm por 20 min.
Wendesen Mekonin Desta, Million Ebba Bote (2021)	Forno a 105 C por 7h. Moídas e peneiradas. Agitação de 15min a 200rpm, agitação lenta a 40rpm por 15min.
Richard Agbo Kwabena Ntibrey, et al. (2020)	Secos ao sol por 6h (7 dias). Moídos e peneirados (500 µm). Agitação a cerca de 100 rpm por 1min; depois a 25 rpm por 20 min e repouso por 30 min.
Olusola Adedayo Adesinaa, et al. (2019)	As sementes foram trituradas. As doses do pó foram pesadas na água destilada para concentração adequada. Agitação de 10 min a 100 rpm, estabilização de 120 min.

Fonte: Autores, 2024.

Já para o quiabo (QUADRO 3), pôde-se concluir que, o fruto, quando maduro, pode ser utilizado na forma da mucilagem extraída da vagem ou em forma de solução com o pó seco da vagem (Lima et. al, 2020). De acordo com Agarwal et al. (2003), o quiabo possui um polissacarídeo aniônico que pode ser usado como agente floculante, um polímero natural, não tóxico e biodegradável, podendo ser aplicado de forma auxiliar em processos de tratamento de água bruta, de esgoto doméstico e de outros efluentes.

Quadro 3 - Metodologias de mistura e obtenção do extrato de quiabo

AUTORES, ANO	METODOLOGIA DE MISTURA E OBTENÇÃO DO EXTRATO DE QUIABO
Sala, Dominique Martins, et al. (2021)	Seco em estufa a 60 °C por 48 h e moído. Solução diluída com concentração de 1 mg/L. Adição de 2,0 ppm de hidróxido de cálcio (alcalinizante), 2,0 ppm do cloreto de polialumínio (coagulante) e 5 ml da solução diluída de quiabo (floculante).
Oliveira, Z L, et al. (2016)	Pesados, cortados e triturados no liquidificador com água destilada, utilizando 5% do peso da polpa do quiabo sobre a água.

Lima, Bruna Caroline de, et al. (2020)	Dissolvido 0,1 g do quiabo seco e moído em 100 mL de água destilada, solução 0,1% (m/v). Amostras em repouso por 10 min, para sedimentação.
Freitas, T.K.F.S., et al. (2015)	1,0 g de goma foi embebido em 100,0 mL de cada solução é agitada por 1h. A separação da mucilagem e fibras foi feita por filtração. As soluções de extração (1,0 mol L <sup>-1</sup> ) testadas foram cloreto de sódio (NaCl, Synth), cloreto de potássio (KCl, Synth), nitrato de sódio (NaNO <sub>3</sub> , Synth) e água destilada (25 e 60 °C).
Lanan, Farah Amira Binti Mohammad, et al. (2021)	A ponta do quiabo foi retirada e as vagens foram cortadas em cubos. O quiabo fica imerso em água destilada por 24 h. Extração da mucilagem e armazenamento em geladeira de 3 a 8 °C.
Muniz, Gustavo Lopes, et al. (2020)	Quiabos maduros secos em estufa por 8 h a 110 °C, resfriados à temperatura ambiente, triturados em liquidificador e peneirados. Utilizadas partículas entre 0,30 e 0,85 mm.
Thakur, Choubey (2014)	Sementes de <i>M. oleifera</i> e quiabo secos ao ar, moídos em pilão e peneirados. 1 g de pó misturado a 100 ml de água destilada. A suspensão foi agitada por 5min seguido da filtração. O filtrado foi centrifugado a 30 rpm por 5 min, seguido da filtração. As soluções obtidas preservadas a -4°C.
Fahmi, Hamidin (2014)	Caules, folhas, vagens e sementes do quiabo foram utilizados Essas partes foram secas ao ar, cortados em pedaços pequenos e secos no forno a 40°C por 24 horas, moídos e mantidos em temperatura ambiente. 1 g de pó fino de folha, caule, vagem ou semente com 100 mL de solução de extração e agitando por 2min. NaCl 1,0 M e água destilada foram usados para extrair o coagulante.

Fonte: Autores, 2024.

Posteriormente, quantidades do pó proveniente do extrato de sementes de moringa foram dosadas na água destilada para atingir a concentração adequada, esta concentração ideal permaneceu, majoritariamente, entre 0.05 g /L e 0.8 g /L, como demonstrado na tabela de concentrações ótimas e melhores faixas de pH para o extrato de *Moringa oleifera* (TAB. 1). O estudo dessas concentrações foi diversificado, Desta e Bote (2021) avaliaram dosagens de 0.2 g/L a 1.2 g/L enquanto que na pesquisa de Nibrey et al. (2020) foram analisadas quantidades de concentração entre 0.5 g/L e 2.5 g/L. O pH que obteve melhores resultados foi próximo a 7 e majoritariamente na faixa de pH entre 7 e 9.

Tabela 1 - Concentrações ótimas e melhores faixas de pH para o extrato de *M. oleifera*

AUTORES, ANO	CONCENTRAÇÕES	MELHORES FAIXAS DE pH
Alakaparampil Joseph Varkey (2020)	0,1 g – 0,6 g em etapas de 0,1 g Ótima: 0.25 g/L	pH 6.5 - 7.0

Sivakumar Vigneshwaran et. al (2020)	Ótima: 0.2 g/L	pH 5 - 8
B.I. Gandiwa et al. (2020)	Ótima: 0.5 g/L	pH 7.05
Adewole Scholes Taiwo, et al. (2020)	20, 40, 60 e 80 mg/L Ótima: 0.6 g/L	pH 7
Wendesen Mekonin Desta, Million Ebba Bote (2021)	0.4g a 1.2g/L Ótima: 0.2 g/l	pH 7 – 9
Richard Agbo Kwabena Ntibrey, et al. (2020)	0.5 g/L, 1 g/L, 1.5 g/L, 2 g/L e 2.5 g/L Ótima: 2.0 g/L	pH 7.53
Olusola Adedayo Adesinaa, et al. (2019)	Ótima: 3 g/L	pH 7.3

Fonte: Autores, 2024.

Também, concentrações ótimas e melhores faixas de pH para o extrato de quiabo (TAB. 2) foram analisadas, porém, por conta da diversidade de métodos para obtenção do coagulante, determinação das concentrações e melhores faixas de pH, não foi possível identificar uma convergência direta nos resultados, que variou entre 3,2 mg/L (Freitas et al., 2015) e 37,5 g/L (Oliveira, 2016) para concentrações recomendadas, e para faixas de pH 3,17 (Lanan et al., 2021) a 10,75 (Sala et al., 2021), por exemplo.

Tabela 2 - Concentrações ótimas e melhores faixas de pH para o extrato de quiabo.

<b>AUTORES, ANO</b>	<b>CONCENTRAÇÕES</b>	<b>MELHORES FAIXAS DE pH</b>
Sala, Dominique Martins, et al. (2021)	Ótima: 10 g/L	pH 9,6 - 10,75
Oliveira, Z L, et al. (2016)	Ótima: 37,5 g/L	pH 6,25 - 7,8
Lima, Bruna Caroline de, et al. (2020)	Ótima: 0,1% e 0,2%	-
Freitas, T.K.F.S., et al. (2015)	Ótima: 3,20 mg/L	pH 6
Lanan, Farah Amira Binti Mohammad, et al. (2021)	Ótima: 57,69 ml/500 ml	pH 3,17
Muniz, Gustavo Lopes, et al. (2020)	Ótima: 2g/L	pH 9

Fonte: Autores, 2024.

A utilização da moringa obteve, em sua maioria, resultados dentro dos níveis aceitos para água potável indicando atividade antimicrobiana promissora, como mostrado na tabela de resultados principais (TAB. 3). As técnicas estudadas foram

inclusive consideradas reprodutíveis, rentáveis e capazes de produzir água potável para uso doméstico - com parâmetros físico-químicos dentro dos limites exigidos para água potável de acordo com as diretrizes da OMS - sem qualquer fonte de alimentação ou assistência técnica (Varkey, 2020; Vigneshwaran, 2020). Logo, o agente em estudo possui alta capacidade de coagulação, induz atividade antimicrobiana de forma promissora e aparenta dispor de propriedades termoestáveis (Desta e Bote, 2021).

Tabela 3 - Resultados principais dos autores para o extrato de *M. oleifera*.

AUTORES, ANO	RESULTADOS E OBSERVAÇÕES
Alakaparampil Joseph Varkey (2020)	Usando moringa, a turbidez reduziu de 37,8 para 3NTU
Sivakumar Vigneshwaran et. al (2020)	A turbidez das amostras foi reduzida em 94,4%
B.I. Gandiwa et al. (2020)	A turbidez alcançou 3,2NTU, com 88,7% de redução.
Adewole Scholes Taiwo, et al. (2020)	A turbidez obteve redução de 78,85%. Coliformes totais diminuíram em 58,18%,
Wendesen Mekonin Desta, Million Ebba Bote (2021)	A turbidez diminui entre 95,99% e 99,99%
Richard Agbo Kwabena Ntibrey, et al. (2020)	A turbidez foi reduzida de 275 NTU para 9,13 NTU. E. coli diminuiu para 0/ml, com moringa.
Olusola Adedayo Adesinaa, et al. (2019)	O modelo previu como menor turbidez 5,49NTU em condição ótima, com moringa.

Fonte: Autores, 2024.

Como indicado na tabela de resultados principais a seguir (TAB. 4), a redução da turbidez utilizando apenas o extrato de quiabo chegou a 34% considerando a dosagem de 37,5 g/L de quiabo (Oliveira et al., 2016). Outros autores consideraram associar o coagulante natural de quiabo a outros coagulantes inorgânicos, nesse caso, a dosagem de 3,20 mg/L de quiabo em conjunto com 88 mg/L de Fe<sup>3+</sup> foi capaz de remover 97,24% da turbidez, 85,69% DQO e 93,57% da cor em pH 6,0 (Freitas et. al., 2015). Ainda, Sala et. al. (2021) enfatiza que o prazo de validade da solução ou concentrado do quiabo é de 24h (concentração a 10 g/L).

Tabela 4 - Resultados principais dos autores para o extrato de quiabo.

AUTORES, ANO	RESULTADOS E OBSERVAÇÕES
Sala, Dominique Martins, et al. (2021)	A validade da solução de quiabo foi de até 24 h.
Oliveira, Z L, et al. (2016)	Quiabo reduziu 34% da turbidez. Quiabo com moringa reduziu 46% da turbidez e extrato de moringa sem casca reduziu 61%
Freitas, T.K.F.S., et al. (2015)	A mucilagem de quiabo mais coagulante inorgânico: remoção de 97,24% da turbidez.
Lanan, Farah Amira Binti Mohammad, et al. (2021)	Quiabo mais feno-grego, redução de 94,97% da turbidez.
Muniz, Gustavo Lopes, et al. (2020)	91,1% de redução da turbidez, com o quiabo.

Fonte: Autores, 2024.

Em suma, nota-se que a utilização do extrato de *Moringa oleifera* diminui o nível de turbidez das águas, possui baixo nível de lixiviação e pode ser inclusive utilizado em conjunto com outros agentes químicos (Varkey, 2020; Vigneshwaran et al., 2020; Gandiwa et al., 2020), sendo um produto eficaz para remoção de impurezas até mesmo em escala industrial (Adesinaa et al., 2019). Assim, os estudos compilados corroboram que a moringa possui atividade coagulante economicamente viável, ecologicamente sustentável e segura para uso em tratamento de água, o que a torna uma alternativa interessante aos coagulantes químicos tradicionais, especialmente em regiões onde o acesso a coagulantes químicos é limitado. Para o quiabo, conforme visto, as pesquisas são incipientes, mas promissoras, inclusive para a utilização em associação com coagulantes químicos, que demonstrou melhora significativa nos parâmetros de qualidade da água.

## 5. METODOLOGIA

As metodologias foram determinadas a partir dos resultados principais coletados através da Revisão Sistemática de Literatura (RSL), demonstrada no capítulo anterior deste trabalho.

## 5.1 Obtenção dos coagulantes naturais

O quiabo foi adquirido no comércio local de Ouro Preto - Minas Gerais, a partir da doação de hortaliças maduras geralmente rejeitadas pelos consumidores. O quiabo foi cortado ao meio, seco com papel toalha para retirada do excesso de umidade e permaneceu em estufa a 60°C por 24 horas, a fim de que secasse por completo. Um pilão de cerâmica foi utilizado para pilar o quiabo seco (FIG. 5) e o pó peneirado em peneira de 0,5mm. Este pó foi reservado para a obtenção do coagulante natural.

Figura 5 - Processo de moer (pilar) o quiabo seco.



Fonte: Autores, 2024.

A semente de moringa foi adquirida pelo e-commerce e batida no liquidificador com casca até se transformar em um pó fino, mas ainda solto. Este pó foi colocado no forno a 120°C de 10 a 15 minutos. O aspecto tomado como ideal foi a cor acinzentada amarronzada (FIG. 6). Este pó seco foi peneirado em peneira de 0,5mm e reservado para obtenção do coagulante natural.

Figura 6 - Aspectos esperados para as sementes de *M. oleifera*.



Fonte: Autores, 2024.

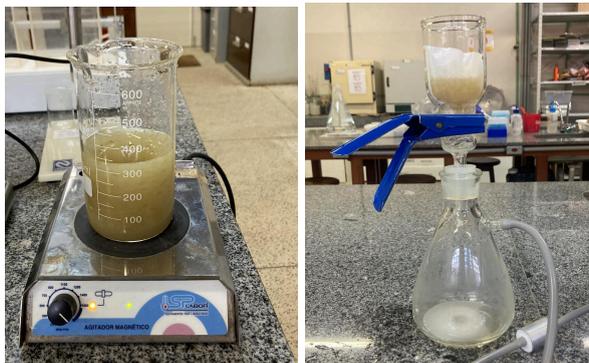
Foi comparada a utilização da solução de sementes de *Moringa oleífera* em diferentes concentrações (50g/L, 20g/L e 10g/L), com e sem adição de Nitrato de Cálcio (29,5g/L) e com pausas para decantação de 30 e 60 minutos. Também, foram ensaiadas diferentes metodologias para solução coagulante do quiabo: utilizando a mucilagem do quiabo (solução coletada do quiabo submerso em água destilada por 1h) em diferentes concentrações (10 ml/L, 50 ml/L e 100 ml/L) e, do pó do quiabo seco (nas soluções 1g/L, 5g/L e 10g/L) e, adicionando Nitrato de Cálcio (29,5g/L).

Como dito anteriormente, estas concentrações (tanto para moringa quanto para o quiabo) foram baseadas através da RSL e adaptadas ao propósito deste estudo, uma vez que os estudos, em sua maioria, se referiam a águas com baixa ou média turbidez. Diferentes procedimentos foram testados para que se obtivesse a melhor metodologia de obtenção da solução coagulante de quiabo e semente de moringa.

Desta forma, a partir do RSL, foi escolhida para obtenção dos coagulantes naturais a seguinte metodologia: o pó de sementes de moringa (secas em estufa, trituradas com casca e passadas em peneira 0,5mm) foi dosado para atingir a concentração adequada (definida pela RSL como 50g/L) e adicionado a um (1) litro de água destilada. Esta solução passou por 30 minutos pelo agitador magnético para assegurar eficiente dispersão do pó, rápida dissolução e homogeneização da mistura e, posteriormente, foi filtrada à vácuo (FIG. 7).

Para o quiabo, processo semelhante foi estabelecido: o quiabo seco em estufa, moído e passado em peneira 0,5mm foi dosado para atingir a concentração adequada (definida pela RSL como 10g/L) e adicionado em um (1) litro de água destilada. A solução passou por agitador magnético durante 30 minutos, e, posteriormente, foi filtrada à vácuo.

Figura 7 - Processo de agitação magnética e filtragem à vácuo, respectivamente.



Fonte: Autores, 2023.

Na imagem abaixo (FIG. 8), as soluções de coagulantes naturais do extrato de sementes de moringa e do pó de quiabo seco.

Figura 8 - Soluções de coagulantes naturais: quiabo e *M. oleifera*, respectivamente.



Fonte: Autores, 2024.

## 5.2 Obtenção e caracterização das amostras de água de drenagem de mineração

A água artificial utilizada nos ensaios foi produzida com água de rio e sólidos da região de mineração, de modo a obter uma água o mais representativa possível da realidade. Foram obtidas amostras com valores próximos a 2.000 NTU de turbidez (FIG. 9). A caracterização da água antes, após e durante o experimento foi realizada por meio dos parâmetros de turbidez e pH.

Figura 9 - Ensaio Jar-test.



Fonte: Autores, 2024.

## 5.3 Obtenção dos coagulantes químicos Superfloc®N100 e PAC®12

Obteve-se os coagulantes químicos PAC®12 e Superfloc®N100 através da empresa Samarco Mineração S.A. As dosagens usadas no presente estudo foram selecionadas a partir de Santos (2021) que fez uma análise mais ampla entre as

águas em diferentes NTU e os coagulantes químicos citados. Além disso, o autor menciona um estudo da empresa que, em 2017, reconheceu a utilização do PAC®12 na dosagem ideal de 20 mg/L, o auxiliar de coagulação Superfloc®N100 na dosagem de 50 mg/L e, para utilização dos coagulantes em conjunto, as dosagens ideais de 20 mg/L e 10 mg/L, respectivamente.

Contudo, segundo os ensaios realizados por Santos (2021), para águas com 2000 NTU a redução ótima (95,1%) ocorreu com a utilização das dosagens de 25 mg/L e 35 mg/L para PAC®12 e Superfloc®N100, respectivamente. De acordo com o autor, esta variação foi realizada dentro dos parâmetros estabelecidos pelo órgão regulador e as concentrações dos coagulantes foram de 1% para PAC®12 e 0,5% para Superfloc®N100.

Através dos pareceres, decidiu-se iniciar os experimentos a partir das dosagens identificadas como ideais para 2000 NTU para os coagulantes químicos, em consórcio com a dosagem ideal do coagulante natural, provindo de sementes de moringa.

#### **5.4 Delineamento experimental**

A metodologia de superfície de respostas (MSR) foi gerada a partir do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), que possui excelente desempenho na otimização de experimentos (Bezerra et al., 2008). A MSR é uma abordagem estatística usada para otimizar processos e entender a relação entre variáveis independentes e uma resposta específica e, o DCCR é uma técnica utilizada para realizar experimentos em pontos centrais e em pontos axiais em torno do ponto central. O objetivo é explorar as respostas do sistema em diferentes níveis de variáveis independentes e determinar as condições que levam a resultados otimizados (Desta e Bote, 2021).

Quando aplica-se o DCCR na MSR, há a condução de experimentos em diferentes condições dentro de uma região designada, permitindo o ajuste de variáveis independentes para otimizar a resposta desejada. A MSR utiliza técnicas estatísticas, como análise de regressão, para modelar a relação entre as variáveis independentes e a resposta, o que pode ajudar na compreensão das interações complexas entre os fatores estudados. Isso permite que se identifique as condições ideais para atingir metas específicas no processo ou experimento em questão.

Neste projeto, as variáveis dependentes serão consideradas como a remoção da turbidez da água bruta e as independentes serão o pH e a concentração do coagulante natural. Na tabela abaixo (TAB. 5) são evidenciados os níveis experimentais determinados a partir do mapeamento sistemático

Tabela 5 - Fatores para o Delineamento Composto Central Rotacional

Fator	-1,6818	-1	0	1	1,6818
pH	4,98	6,00	7,50	9,00	10,02
Moringa (g/L)	0,00	0,55	1,35	2,15	2,70
Quiabo (g/L)	0,00	0,05	0,13	0,20	0,25

Fonte: Autores, 2024.

## 5.5 Ensaio de coagulação

Os ensaios de coagulação/floculação serão conduzidos no equipamento de Jar-Test, simulando etapa de mistura rápida: 300 rotações por minuto (rpm) por 1 minuto e mistura lenta: 40 rpm por 10 minutos. As análises de turbidez e pH serão realizadas nos intervalos de 30 minutos, 60 minutos e 90 minutos. O pH (4,98; 6,00; 7,50; 9,00; 10,02) dos jarros será ajustado com Ácido Clorídrico 37% e Hidróxido de Sódio em concentrações de 0,75% e 2,5%, respectivamente.

O termo pH, Potencial Hidrogeniônico, é utilizado para caracterizar uma solução como ácida ou básica. Tal valor pode variar entre 0 e 14, onde valores que se encontram abaixo de 7 são considerados soluções ácidas enquanto valores superiores a 7, são caracterizados como soluções básicas. Quando o valor de pH é exatamente 7, a solução é considerada neutra. Para obter os valores de pH das amostras analisadas ao longo dos ensaios, foi utilizado um phmetro de bancada através do método eletrométrico. Seguindo conforme a NBR 7353 (ABNT, 2019), o eletrodo foi primeiramente descontaminado, limpo com água deionizada de quaisquer resquícios de poluentes presentes e, posteriormente, submerso nas amostras.

A turbidez foi determinada a partir de um turbidímetro de bancada, cuja medida é realizada pelo princípio nefelométrico, que consiste na leitura de intensidade de luz desviada pelas partículas num ângulo de 90° em relação à luz incidente. Os resultados são expressos em NTU e, como base para as análises, foi utilizada a NBR 11265/2011.

## 5.6 Análise Estatística ANOVA

De acordo com Hassan et al. (2024), a análise de variância (ANOVA) é uma técnica estatística utilizada para determinar as possíveis diferenças entre duas ou mais médias. Ela foi empregada para avaliar a adequação do ajuste do modelo, a fim de identificar a relação entre as variáveis independentes (pH e concentração do coagulante natural). A otimização simultânea das variáveis de resposta foi realizada utilizando a função de desejabilidade. Este método consiste em definir uma função de desejabilidade para cada resposta, limitada na faixa de 0 a 1. Valores próximos de zero indicam uma resposta desfavorável, enquanto valores próximos de 1 denotam desejabilidade.

A ANOVA fornece análise estatística na forma de probabilidade (valor de P) e teste F (teste de Fisher) para avaliar e observar o desempenho no processo de coagulação-floculação. Para o design experimental, o modelo utilizado foi baseado em uma função linear. Assim, 20 conjuntos de execuções experimentais foram obtidos a partir do design ótimo (personalizado) que fornecem seus respectivos resultados experimentais, conforme será apresentado.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Revisão Sistemática de Literatura para Obtenção dos Coagulantes Naturais

A RSL sobre o uso da *Moringa oleífera* como agente coagulante no tratamento de águas superficiais, a fim de identificar as condições ideais para sua utilização, foi transformada em artigo e publicada no 32º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (APÊNDICE A). O trabalho buscou reunir informações relevantes sobre os aspectos técnicos e científicos relacionados ao uso da moringa, incluindo aspectos da metodologia de extração e obtenção do extrato de semente de *M. Oleífera*, concentração ótima da solução e influências do pH. Além disso, buscou-se avaliar os efeitos da planta na qualidade da água tratada. E, finalmente, fornecer informações atualizadas e de relevância para profissionais que trabalham na área de tratamento de água e gestão de recursos hídricos.

Também, no sentido de evidenciar os desafios enfrentados no processo de obtenção de coagulantes naturais e apresentar uma metodologia otimizada e eficiente para extrair soluções coagulantes da *Moringa oleífera* e do quiabo (*Abelmoschus esculentus*), os métodos de obtenção apresentados neste trabalho foram apresentados ao 21º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (APÊNDICE B). A metodologia proposta visa estabelecer uma base para futuras pesquisas e aplicações práticas, destacando o papel crucial destes coagulantes na busca por processos sustentáveis no tratamento de água. Por fim, o trabalho pretende fornecer uma contribuição significativa ao campo da engenharia sanitária, ambiental e urbana, promovendo o uso eficaz de coagulantes naturais e estimulando investigações mais aprofundadas para maximizar seu potencial.

## 6.2 Ensaio utilizando coagulantes naturais

Nos pré-testes realizados com o objetivo de obter as amplitudes de concentrações a serem testadas, os melhores resultados obtidos no uso de coagulantes naturais para a redução de turbidez em águas turvas foram alcançados com a aplicação de 1g/L da solução (50g/L) de sementes de moringa, resultando em uma redução de 93,12%. Para o quiabo (10 g/L), o melhor resultado foi uma redução de 48,42%, utilizando 0,1g/L.

Na etapa seguinte, usando o design experimental, foi obtida esta tabela correspondente aos 20 conjuntos de execuções experimentais realizados (TAB. 6).

Tabela 6 - Resultados dos experimentos do DCCR

RunOrder			Efficiency%				
	Moringa	Quiabo	30 min	60 min	90 min	pH inicial	pH final
1	43,00	20,00	76,62	82,94	83,36	9,00	6,75
2	0,00	12,54	25,13	37,50	44,76	7,50	7,10
3	26,97	12,54	86,09	97,72	98,03	4,98	4,37
4	26,97	25,08	88,66	96,48	96,48	7,50	6,31
5	10,93	5,08	81,42	91,39	94,13	9,00	7,46
6	26,97	12,54	81,68	94,42	96,24	7,50	6,47
7	10,93	20,00	85,90	95,10	96,54	6,00	5,92
8	26,97	0,00	78,70	92,50	94,99	7,50	6,54
9	26,97	12,54	88,61	98,65	99,07	10,02	8,33
10	26,97	12,54	82,31	95,67	97,31	7,50	6,31
11	43,00	5,08	86,07	97,47	97,82	9,00	6,74

12	43,00	5,08	81,31	91,98	95,15	6,00	5,22
13	26,97	12,54	77,11	84,06	85,66	7,50	6,77
14	43,00	20,00	86,66	95,16	96,42	6,00	4,91
15	26,97	12,54	92,75	95,77	96,45	7,50	7,15
16	26,97	12,54	91,54	95,35	96,26	7,50	7,16
17	10,93	5,08	90,80	96,67	97,53	6,00	6,25
18	53,93	12,54	78,70	92,50	94,99	7,50	6,15
19	10,93	20,00	86,37	97,52	97,87	9,00	6,74
20	26,97	12,54	82,31	95,67	97,31	7,50	6,31

Fonte: Autores, 2024.

Como pode ser observado, os resultados destacados em laranja correspondem aos piores desempenhos, especificamente o experimento 2, que utilizou apenas o quiabo a uma concentração de 0,13g/L e um pH de 7,50. O quiabo, por possuir características compatíveis a ser um auxiliar de coagulação, demonstrou eficiência similar a outros coagulantes químicos que possuem mesma função e, mesmo reduzindo ligeiramente o ph da amostra, não acidificou a água, mantendo-a num estado considerado neutro (7,10).

O melhor resultado para o intervalo de 30 minutos foi o do experimento número 15 (em amarelo), utilizando um pH de 7,50, moringa a uma concentração de 1,35 g/L e quiabo a 0,13 g/L. Para os intervalos de 60 e 90 minutos, os melhores resultados foram obtidos no experimento número 9 (em verde), utilizando um pH de 10,02 e concentrações de 1,35 g/L para moringa e 0,13 g/L para quiabo. Esses valores podem indicar, que, para processos mais prolongados, um ambiente mais alcalino pode aumentar a eficiência do tratamento.

Em suma, nota-se que, ambos experimentos com melhores resultados foram realizados aplicando-se as mesmas quantidades de coagulante de moringa e quiabo, o que pode sugerir bom funcionamento do consórcio entre os dois agentes. Ou seja, apesar da moringa poder ser utilizada sozinha, sua eficácia tende a aumentar, mesmo que ligeiramente, quando utilizada em conjunto com o extrato de quiabo.

Também, com a aplicação dos extratos, dos 20 experimentos, 19 demonstraram redução do pH, o que implica propriedades mais acidificantes aos coagulantes naturais, característica que pode influenciar positivamente a coagulação ao ajustar o pH para níveis mais adequados ao tratamento da água, especialmente em contextos em que o pH inicial é mais básico.

### 6.3 Análises ANOVA: definição da dosagem ideal de coagulante natural

Inicialmente foram realizadas análises ANOVA que incluíram dados sobre pH e extrato de quiabo; no entanto, esses fatores não demonstraram significância estatística. Pela análise hierárquica do modelo, estes parâmetros foram excluídos. Portanto, este estudo focou nas variáveis identificadas como significativas: a concentração do coagulante natural do extrato de sementes de moringa e o tempo de repouso/decantação.

A tabela abaixo (TAB. 7) demonstra a significância estatística dos modelos e seus componentes (efeitos lineares e quadráticos da concentração de moringa). O nível de significância que uma variável deve atender para ser incluída no modelo durante a seleção foi de  $\alpha = 0,15$ , ou seja, se o valor p de uma variável for menor ou igual a 0,15, ela será considerada relevante ao modelo. Cada componente das colunas na tabela - graus de liberdade (DF), soma de quadrados ajustada (AdjSS), médias quadradas ajustadas (AdjMS), valor F e valor p - fornece informações detalhadas sobre a significância dos fatores incluídos no modelo.

Tabela 7 - Análises de variância (30min; 60min; 90min)

Analysis of Variance (30min)					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	1826,1	913,04	8,01	0,004
Linear	1	425,8	425,77	3,73	0,07
Moringa	1	425,8	425,77	3,73	0,07
Square	1	1400,3	1400,32	12,28	0,003
Moringa*Moringa	1	1400,3	1400,32	12,28	0,003
Analysis of Variance (60min)					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	1611,6	805,81	7,83	0,004
Linear	1	461,2	461,2	4,48	0,049
Moringa	1	461,2	461,2	4,48	0,049
Square	1	1150,4	1150,43	11,18	0,004
Moringa*Moringa	1	1150,4	1150,43	11,18	0,004
Analysis of Variance (90min)					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	1249,2	624,58	7,2	0,005
Linear	1	370,8	370,82	4,28	0,054
Moringa	1	370,8	370,82	4,28	0,054
Square	1	878,3	878,34	10,13	0,005
Moringa*Moringa	1	878,3	878,34	10,13	0,005

Fonte: Autores, 2024.

Assim, para o tempo de repouso de 30 minutos, o modelo geral apresenta valor F de 8,01 e valor p de 0,004, indicando que o modelo como um todo é estatisticamente significativo. O termo linear 'Moringa' é significativo (valor p = 0,07) e os termos quadráticos ('Quadrado' e a interação 'Moringa\*Moringa') são altamente significativos (valor p = 0,003), mostrando um efeito não linear significativo de 'Moringa'.

Para a segunda ANOVA (60 minutos), o modelo geral também é significativo (valor F = 7,83 e valor p = 0,004), assim como o efeito linear de 'Moringa' (valor p = 0,049) e seus termos quadráticos (valor p de 0,004), sugerindo a presença de efeitos lineares e não lineares importantes. Aos 90 minutos, assim como nas análises anteriores, o modelo geral, linear e não linear permanecem significativos, com valores p de 0,005, 0,054 e 0,005, respectivamente.

Dessa forma, conclui-se que o modelo geral também pode ser considerado significativo para  $\alpha = 0,05$ , com uma relação não linear relevante. Os termos lineares são significativos para 60 minutos e menos significativos nos outros dois tempos, sugerindo que pode haver um efeito linear considerável que é menos robusto em algumas análises.

As equações de regressão em unidades não codificadas fornecidas para três diferentes tempos de repouso/decantação (30 minutos, 60 minutos e 90 minutos) estão apresentadas abaixo (TAB. 8). As equações de regressão são fórmulas matemáticas que descrevem como a variável resposta muda conforme a concentração de moringa varia, considerando os efeitos lineares e quadráticos. Elas permitem prever ou estimar o valor da variável resposta com base em valores conhecidos ou planejados de moringa.

A interseção em cada equação representa o valor da variável resposta quando a quantidade de moringa é zero. Para 30 minutos, a interseção é 51,09; para 60 minutos, 62,45; e para 90 minutos, 67,45. Esses valores indicam que, à medida que o tempo de repouso aumenta, o valor da variável resposta também aumenta.

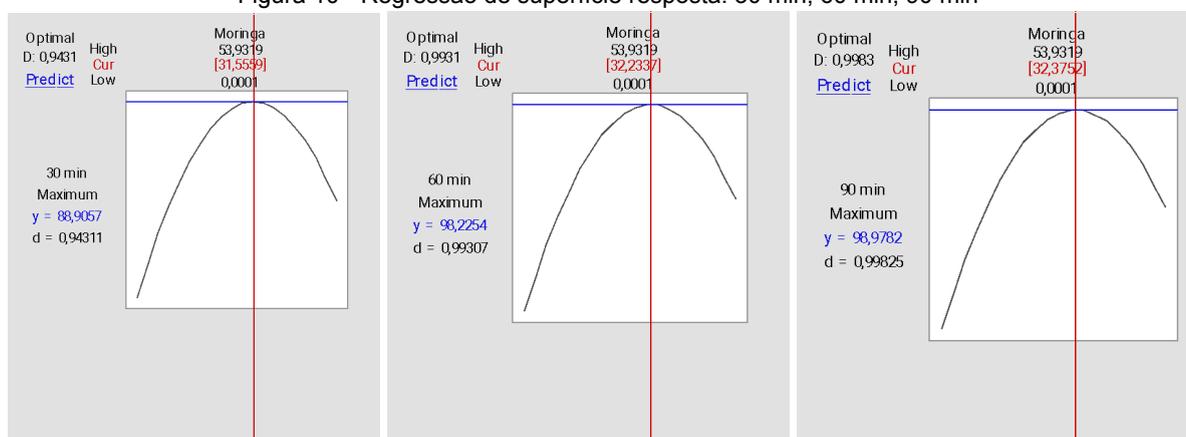
Tabela 8 - Equações de regressão (30min; 60min; 90min)

Regression Equation in Uncoded Units
Redução Turbidez (30 min) = 51,09 + 2,397 Moringa - 0,0380 Moringa*Moringa
Redução Turbidez (60 min) = 62,45 + 2,220 Moringa - 0,0344 Moringa*Moringa
Redução Turbidez (90 min) = 67,45 + 1,948 Moringa - 0,03009 Moringa*Moringa

Fonte: Autores, 2024.

Já os coeficientes lineares mostram o quanto a variável resposta aumenta por unidade adicional de moringa, antes de considerar o efeito quadrático. Para 30 minutos, o coeficiente linear é 2,397; para 60 minutos, é 2,220; e para 90 minutos, é 1,948. Esses coeficientes positivos indicam que, inicialmente, o aumento da quantidade de moringa resulta em um aumento na variável resposta. Os coeficientes quadráticos negativos indicam que há um ponto de saturação; ou seja, o aumento da quantidade de moringa pode começar a ter um efeito decrescente sobre a variável resposta. Isso sugere a presença de um máximo na curva de resposta (FIG. 10).

Figura 10 - Regressão de superfície resposta: 30 min; 60 min; 90 min



Fonte: Autores, 2024.

Assim, é possível observar, a partir da tabela abaixo (TAB. 9), que a concentração de moringa aumenta ligeiramente com o tempo de decantação, passando de 1,58 g/L aos 30 minutos para 1,62 g/L aos 90 minutos. O valor de ajuste representa o quão bem o modelo se ajusta aos dados. Para 30 minutos, o ajuste é 88,9057; para 60 minutos, é 98,2254; e para 90 minutos, é 98,9782.

Embora o ajuste melhore significativamente de 30 para 60 minutos e continue a melhorar ligeiramente de 60 para 90 minutos, a diferença entre 60 e 90 minutos é mínima. A desejabilidade composta para o valor em 60 minutos (0,993075) é praticamente ideal e está dentro de um intervalo de tempo preferencial.

Tabela 9 - Ajuste e Desejabilidade

Solution (30min)			
Solution	Moringa	30min Fit	Composite Desirability
1	1,5778	88,9057	0,943113
Multiple Response Prediction			
Variable	Setting		

Moringa	1,5778		
Solution (60min)			
Solution	Moringa	60min Fit	Composite Desirability
1	1,6117	98,2254	0,993075
Multiple Response Prediction			
Variable	Setting		
Moringa	1,6117		
Solution (90min)			
Solution	Moringa	90min Fit	Composite Desirability
1	1,6188	98,9782	0,998253
Multiple Response Prediction			
Variable	Setting		
Moringa	1,6188		

Fonte: Autores, 2024.

Entre 30 e 60 minutos, o modelo mostra uma melhoria significativa na eficácia, com o valor de ajuste aumentando de 88,9057 para 98,2254 e a desejabilidade composta aumentando de 0,943113 para 0,993075. Embora o ajuste e a desejabilidade sejam ligeiramente melhores em 90 minutos, a diferença é pequena e dentro do contexto de tratamento industrial de efluentes não justifica o tempo adicional de decantação, que pode ser desvantajoso para o processo de tratamento de água.

Em resumo, o modelo sugere que 60 minutos seria o tempo ideal de decantação, considerando tanto a eficácia quanto as restrições operacionais do processo de tratamento de água. A configuração de moringa para 60 minutos proporciona um ajuste satisfatório do modelo e uma desejabilidade composta extremamente alta, tornando-o a escolha mais vantajosa e eficiente.

Para os valores ótimos de concentração de Moringa, obtiveram-se os seguintes resultados: 1,58 g/L, 1,61 g/L e 1,62 g/L para 30, 60 e 90 minutos, respectivamente. Uma redução ótima de 88,90% foi alcançada no intervalo de 30 minutos, enquanto reduções de 98,26% e 98,98% foram alcançadas em 60 e 90 minutos, respectivamente.

#### **6.4 Consórcio com coagulantes químicos**

Através dos experimentos utilizando DCCR e das análises ANOVA, decidiu-se pelo valor ideal de solução coagulante do extrato de sementes de

moringa aos 60 minutos (tempo de decantação interpretado como preferível), valor este dado como 1,61 g/L.

Assim, para o estudo do consórcio dos agentes naturais e químicos, utilizou-se a dosagem ótima de moringa e as melhores concentrações para 2000 NTU referenciadas por Santos (2021) para os coagulantes químicos de Superfloc®N100 e PAC®12 (35 mg/L e 25 mg/L, respectivamente).

A tabela abaixo (TAB. 10) aponta os ensaios realizados na primeira e segunda fase de experimentos. A primeira etapa visou compreender o comportamento conjunto dos coagulantes, seu melhor resultado (experimento 2) balizou a segunda etapa que pretendeu reduzir, ao máximo, a quantidade de coagulantes químicos, sem que isso influenciasse os resultados positivos de redução de turbidez.

Tabela 10 - Fase 1 e 2 de experimentos para o consórcio dos coagulantes químicos e natural provindo de sementes de Moringa oleífera

<b>1° Fase de Experimentos</b>			
Jarro	PAC®12 (1%)	Superfloc®N100 (0,5g/L)	Moringa oleífera (50g/L)
1	-	-	-
2	25ml/L	-	32.23ml/L
3	-	35ml/L	32.23ml/L
4	25ml/L	35ml/L	32.23ml/L
5	25ml/L	35ml/L	-
<b>2° Fase de Experimentos</b>			
Jarro	PAC®12 (1%)	Superfloc®N100 (0,5g/L)	Moringa oleífera (50g/L)
1	-	-	-
2	20ml/L (-20%)	30ml/L (-42,86%)	32.23ml/L
3	10ml/L (-60%)	20ml/L (-14,29%)	32.23ml/L
4	20ml/L (-20%)	-	32.23ml/L
5	10ml/L (-60%)	-	32.23ml/L

Fonte: Autores, 2024.

A tabela a seguir (TAB. 11) apresenta em detalhes os resultados desta primeira etapa de experimentos. O coagulante de solução de moringa apresentou características positivas: reduziu, em média, mais de 9% o pH das amostras, tornando a água mais neutra e colocando todas as amostras em coerência com os valores de classificação da CONAMA para pH (entre 6,0 a 9,0), apenas os jarros 1

(controle) e 5 mantiveram o pH fora desses parâmetros, ambos não utilizaram a solução com moringa.

Tabela 11 - Resultados dos ensaios da primeira fase de experimentos.

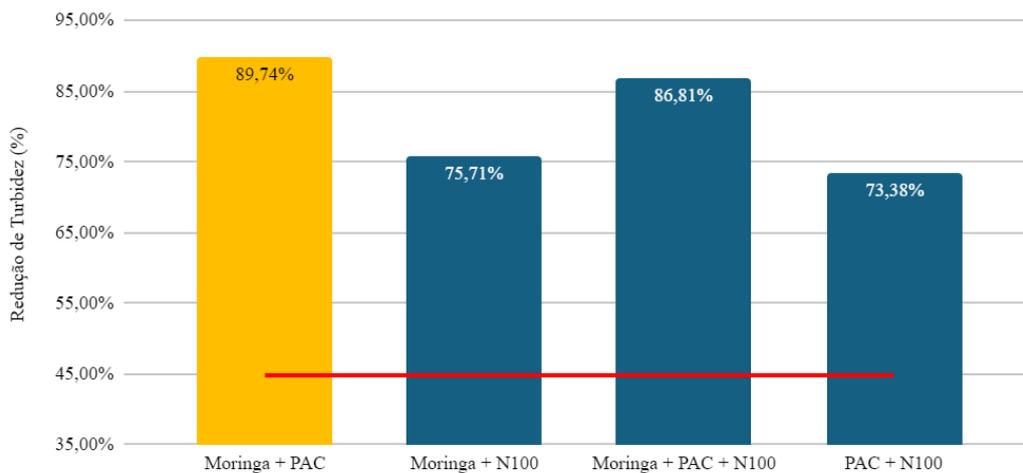
JARRO	SOLUÇÃO	PAUSA	PH INICIAL	TURBIDEZ (NTU)	PH FINAL	REDUÇÃO DE TURBIDEZ
1 (controle)	-	0 min	9.10	2146	9.08	0%
		30 min		1444		32,71%
		60 min		1184		44,83%
		90 min		912		57,50%
2	Moringa + PAC	0min	9.12	2212	8.27	0,00%
		30min		506		77,12%
		60min		227		89,74%
		90min		142		93,58%
3	Moringa + N100	0min	9.14	2120	8.37	0,00%
		30min		814		61,60%
		60min		515		75,71%
		90min		325		84,67%
4	Moringa + PAC + N100	0min	9.07	2108	8.21	0,00%
		30min		577		72,63%
		60min		278		86,81%
		90min		199		90,56%
5	PAC + N100	0min	9.12	2104	9.13	0,00%
		30min		623		70,39%
		60min		560		73,38%
		90min		551		73,81%

Fonte: Autores, 2024.

Também, esta fase do experimento apresentou sua melhor redução de turbidez utilizando apenas a solução de moringa e o PAC®12 (89,74% de redução para 60 minutos), questionando a necessidade de utilização do Superfloc®N100.

Comparando os melhores resultados aos 60 minutos (FIG. 10), a amostra que usou apenas coagulantes químicos obteve 16,36% a menos de redução quando avaliado em relação às outras amostras que utilizaram a solução de moringa. Assim, os melhores resultados foram com a influência do coagulante natural.

Figura 10 - Comparação da redução de turbidez aos 60 minutos (controle em vermelho).



Fonte: Autores, 2024.

A segunda fase do experimento foi detalhada na tabela abaixo (TAB. 12). Mais uma vez a solução com moringa reduziu, em média, mais de 9% do valor do pH das amostras. Na segunda etapa, o melhor resultado se deu com o jarro 7, que utilizou o coagulante natural em conjunto com a solução PAC®12 reduzida em 20% e a solução Superfloc®N100 reduzida em 14,29%.

Tabela 12 - Resultados dos ensaios da segunda fase de experimentos.

JARRO	SOLUÇÃO	PAUSA	PH INICIAL	TURBIDEZ (NTU)	PH FINAL	REDUÇÃO DE TURBIDEZ
6 (controle)	-	0 min	8.71	2413	8.66	0%
		30 min		1560		35,35%
		60 min		1208		49,94%
		90 min		905		62,49%
7	Moringa + PAC (-20%) N100 (-14,29%)	0min	8.69	2486	7.97	0,00%
		30min		401		83,87%
		60min		185		92,56%
		90min		117		95,29%
8	Moringa + PAC (-60%) + N100 (-42,86)	0min	8.70	1597	7.92	0,00%
		30min		422		73,58%
		60min		269		83,16%
		90min		206		87,10%
9	Moringa + PAC (-20%)	0min	9.72	1335	8.62	0,00%
		30min		490		63,30%
		60min		326		75,58%
		90min		226		83,07%
10	Moringa + PAC (-60%)	0min	9.01	1726	8.16	0,00%

		30min		460		73,35%
		60min		292		83,08%
		90min		205		88,12%

Fonte: Autores, 2024.

A utilização do PAC®12 com a solução de moringa (sem a solução de Superfloc®N100) pode ser considerada promissora, uma vez que demonstrou bons resultados: mesmo reduzindo o cloreto de polialumínio em 60% e o polímero aniônico sintético em 100%, houve redução de turbidez de pouco mais de 83% aos 60 minutos de decantação e, valor próximo a 90% aos 90 minutos.

Por fim, o consórcio dos coagulantes químicos com os naturais parece ser uma alternativa viável para o tratamento de águas turvas (> 2000NTU). A solução coagulante de extrato de sementes de *Moringa oleifera* demonstrou reduzir o pH das amostras e colaborar com o processo de coagulação para o tratamento de águas turvas. O resultado ótimo de 95,29% (90 minutos), reduz a utilização dos coagulantes químicos e, quando comparada às dosagens e resultados de Santos (2021), a adição do coagulante natural traz resultados se ligeiramente melhores em questão de redução de turbidez das águas (95,10% em comparação a 95,29%).

## 7. CONCLUSÃO

Após realização dos ensaios, o presente trabalho definiu como metodologia ideal de obtenção dos coagulantes naturais para tratamento de águas turvas (> 2000 NTU), os seguintes processos: secagem, trituração, peneiragem (#40), elaboração da solução concentrada (50g/L para solução de moringa e 10g/L para solução de quiabo), agitação magnética e filtragem à vácuo. Os ensaios de coagulação/floculação conduzidos no equipamento de Jar-Test, simularam etapa de mistura rápida: 300 rotações por minuto (rpm) por 1 minuto e mistura lenta: 40 rpm por 10 minutos.

A metodologia DCCR por meio da MSR permitiu a análise de 20 experimentos que forneceram dados de redução de turbidez utilizando diferentes junções e concentrações dos coagulantes naturais de moringa e quiabo, e pH. Esta metodologia em conjunto com a análise de variância ANOVA, permitiu a interpretação de que, no contexto estudado, nem a alteração do pH nem a adição

do coagulante derivado do pó de quiabo tiveram influência significativa para a otimização do processo.

A alta capacidade de coagulação do extrato de sementes de *Moringa oleifera* foi confirmada pelos resultados da MSR e pela análise dos dados através da ANOVA. Os resultados ótimos de redução de turbidez obtidos foram de 88,91%, 98,23% e 98,97% para períodos de decantação de 30, 60 e 90 minutos, respectivamente. No entanto, considerando a implementação do processo em escala industrial, a abordagem mais recomendada seria utilizar o tempo de decantação com o melhor resultado no menor tempo. Isso aponta para os valores associados ao tempo de pausa de 60 minutos, que proporcionou até 98,23% de redução usando a dosagem de 1,61 g/L do extrato de moringa.

Posteriormente, estudou-se o consórcio do coagulante natural de extrato de semente de moringa (1,61 g/L) com os coagulantes químicos PAC®12 (0,06 g/L) e Superfloc®N100 (0,25 g/L). O melhor resultado dessa associação foi a redução de turbidez de 92,56% e 95,29% para os minutos 60 e 90, respectivamente, utilizando a solução de moringa, 20% a menos de PAC®12 e 14,29% a menos de Superfloc®N100.

A solução de moringa melhorou o desempenho de redução de turbidez em todos os casos em que houve o conjunto de coagulantes químicos, inclusive reduzindo, em média, 9,33% do pH das amostras. A utilização do coagulante natural apenas com PAC®12 também pareceu promissora: foi possível reduzir o cloreto de polialumínio em 60% e o polímero aniônico sintético em 100%, e obter redução de turbidez de pouco mais de 83% aos 60 minutos de decantação e valor próximo a 90% aos 90 minutos.

Para além disso, ainda é possível interpretar que apenas a utilização do coagulante natural proveniente de sementes de moringa é suficiente para reduzir em até 98,97% a turbidez das águas turvas, tornando possível a substituição total dos coagulantes químicos pelos biocoagulantes. Assim, de acordo com os trabalhos analisados e os resultados obtidos, a aplicação do extrato de sementes de *M. oleifera* é adequada para tratamentos primários de água. O agente estudado possui uma alta capacidade coagulante, tornando-o uma fonte potencial para o tratamento de água devido à sua eficácia.

Também foi constatado que os resultados com o uso da solução coagulante de pó de quiabo não foram suficientes para revelar uma influência significativa na

otimização do processo estudado, nem os ajustes de pH. Porém, vale ressaltar que tanto o Superfloc®N100 quanto o quiabo são polímeros aniônicos, ou seja, possuem características e comportamentos em comum e, por isso, sugere-se um estudo mais aprofundado sobre as qualidades flocculantes do pó de quiabo, uma vez que pode ser um auxiliar de coagulação alternativo, visando a sustentabilidade e economia do processo de tratamento de águas.

No contexto específico do tratamento da água de drenagem de mineração, a escolha por coagulantes naturais desempenha papel importante, uma vez que oferecem alternativa eficaz para a remoção de impurezas em águas. Além da eficiência no tratamento, também minimizam o impacto ambiental associado ao tratamento de água. Isso não só atende às crescentes demandas por práticas sustentáveis na indústria, mas também contribui para a redução de resíduos sólidos e lodo, simplificando o processo de descarte.

A combinação de uma gestão eficiente da drenagem de mineração com a adoção de biocoagulantes no tratamento da água atende a requisitos regulatórios, preserva ecossistemas, promove a sustentabilidade, reduz custos operacionais e contribui para o funcionamento eficaz das minas. Essas práticas representam uma abordagem integrada e responsável para enfrentar desafios ambientais e operacionais na indústria de mineração.

Em conclusão, a técnica estudada foi considerada reproduzível e capaz de produzir água com reduções de turbidez notáveis. De acordo com a revisão de literatura, mais estudos podem ser desenvolvidos para determinar melhores condições de conservação para coagulantes naturais, investigar a influência do tamanho das partículas do pó na eficácia da solução e explorar novas combinações de agentes coagulantes com outros agentes naturais ou químicos, tornando o processo de coagulação e floculação mais eficiente e completo. O uso de coagulantes naturais como auxiliares na coagulação de águas turvas é viável e deve continuar a ser um foco de estudos para que se torne amplamente conhecido, mais acessível para os operadores e alcance resultados mais profundos.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABNT NBR 7353 - Soluções Aquosas - Determinação Do PH Com Eletrodos de Vidro. NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 7353 Terceira edição 19.12.2019

ADESINA, O. A. et al. Response surface methodology approach to optimization of process parameter for coagulation process of surface water using Moringa oleifera seed. South African Journal of Chemical Engineering, v. 28, p. 46-51, 2019.

ADESINA, O. A. et al. Response surface methodology approach to optimization of process parameter for coagulation process of surface water using Moringa oleifera seed. South African Journal of Chemical Engineering, v. 28, p. 46-51, 2019.

AGARWAL, M. *et al.* UTILIZATION OF OKRA GUM FOR TREATMENT OF TANNERY EFFLUENT. International Journal Of Polymeric Materials, [S.L.], v. 52, n. 11-12, p. 1049-1057, nov. 2003. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/714975900>.

AMN – Agência Nacional de Mineração. Anuário Mineral Brasileiro. Brasília, AMB, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/PreviaAMB2022.pdf> > Acesso em: 16 mai. 2023.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. 2021. Disponível em: [https://relatorio-conjuntura-ana2021.webflow.io/?fbclid=IwAR1Zh4kj5ZdMUOBo5f\\_yKnFzBf9nXSxVBkuchOfKcBQI8t1sHdecG8fxaE](https://relatorio-conjuntura-ana2021.webflow.io/?fbclid=IwAR1Zh4kj5ZdMUOBo5f_yKnFzBf9nXSxVBkuchOfKcBQI8t1sHdecG8fxaE). Acesso em: 22 dez. 2022.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. 2021. Disponível em: [https://relatorio-conjuntura-ana2021.webflow.io/?fbclid=IwAR1Zh4kj5ZdMUOBo5f\\_yKnFzBf9nXSxVBkuchOfKcBQI8t1sHdecG8fxaE](https://relatorio-conjuntura-ana2021.webflow.io/?fbclid=IwAR1Zh4kj5ZdMUOBo5f_yKnFzBf9nXSxVBkuchOfKcBQI8t1sHdecG8fxaE). Acesso em: 22 dez. 2022. Acesso em: 23. dez. 2022.

ANA - Agência Nacional de Águas. A gestão dos recursos hídricos e a mineração. Instituto Brasileiro de Mineração. 334 p. 2006. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/a-gestao-dos-recursos-hidricos-e-a-mineracao.pdf>>. Acesso em: mai 2024.

BEZERRA, Marcos Almeida *et al.* Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. Talanta, [S.L.], v. 76, n. 5, p. 965-977, 15 set. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>.

BRASIL, Resolução CONAMA n°357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.

Brasil. Lei n° 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis n°s 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei n° 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Seção 1, p. 3.

Brasil. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Diário Oficial da União 2020; 16 jul.

Brasil. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Publicada no Diário Oficial nº 92 em 16 de maio de 2011.

BRIZOLA, J.; FANTIN, N. Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura. Revista de Educação do Vale do Arinos-RELVA, v. 3, n. 2, 2016.

CARVALHO, R. M. Clarificação de águas pluviais ricas em óxidos de ferro acumuladas em cava de mineração através da utilização de um coagulante natural, a Moringa Oleifera. 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

CARVALHO, Renalda Monteiro. Clarificação de águas pluviais ricas em óxidos de ferro acumuladas em cava de mineração através da utilização de um coagulante natural, a Moringa Oleifera. 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Manual de Comunicação e Organização Social: Esgotamento Sanitário. . 61 p. 2015.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 32., 2023, Belo Horizonte. – CONDIÇÕES ÓTIMAS DA UTILIZAÇÃO DA MORINGA OLEIFERA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS: REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA. Ouro Preto: Abes - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2023. Disponível em: [https://cbesa.sigotech.online/storage/trabalhos/arquivos/completo/1471\\_tema\\_i.pdf](https://cbesa.sigotech.online/storage/trabalhos/arquivos/completo/1471_tema_i.pdf). Acesso em: set. 2023.

CRUZ, J. G. et al. Aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação do efluente de uma lavanderia industrial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. Campo Grande, 2005. Anais. Campo Grande: CBESA, 2005

DE LA CRUZ, H. D. N. Modelagem numérica para avaliação do controle das águas na mineração. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil. 2014.

DESTA, W. M.; BOTE, M. E. Wastewater treatment using a natural coagulant (Moringa oleifera seeds): optimization through response surface methodology. Heliyon, v. 7, n. 11, p. e08451, 2021.

FRANCO, Camila Silva *et al.* Coagulação com semente de moringa oleifera preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [S.L.], v. 22, n. 4, p. 781-788, ago. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017145729>.

FREITAS, T.K.F.s. *et al.* Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant. Industrial Crops And Products, [S.L.], v. 76, p. 538-544, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.027>.

GANDIWA, B.I. et al. Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment:(Moringa Oleifera-Cactus Opuntia-alum blend). South African Journal of Chemical Engineering, v. 34, p. 158-164, 2020.

GUEDES, Claudia *et al.* Clarificação de Águas Pluviais Ricas em Óxidos de Ferro Acumuladas em Cava de Mineração - Utilização do Coagulante Natural Moringa oleifera. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 59-67, 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v11n4.p59-67>.

GUPTA, V. B. et al. Aluminium in Alzheimer's disease: are we still at a crossroad?. Cellular and Molecular Life Sciences CMLS, v. 62, p. 143-158, 2005.

[https://bvsm.sau.de.gov.br/bvs/sau.delegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsm.sau.de.gov.br/bvs/sau.delegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html).

KAMIWADA, W. Y.; ANDRADE, P. V.; REIS, A. G. DOS. Emprego do cloreto de polialumínio em estudos de tratabilidade de água de abastecimento via coagulação, floculação e sedimentação. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, n. 5, p. 667-676, set. 2020.

KITCHENHAM, Barbara A. *et al.* Cross versus Within-Company Cost Estimation Studies: a systematic review. IEEE Transactions On Software Engineering, [S.L.], v. 33, n. 5, p. 316-329, maio 2007. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tse.2007.1001>.

LIEBL, Daiane; SCHOEN, Chaiane. AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DE LODOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) E DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) ATRAVÉS DE BIOENSAIOS COM SEMENTES DE ALFACE (*Lactuca sativa*) E CEBOLA (*Allium cepa*). Revista de Estudos Ambientais, [S.L.], v. 23, n. 2, p. 64, 27 jun. 2022. Fundação Universidade Regional de Blumenau. <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2021v23n2p64-74>.

LIMA, Bruna Caroline de *et al.* Aplicação do extrato de *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench como floculante para a remoção de cor no tratamento de águas com corante têxtil. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 424-431, 30 abr. 2020. Companhia Brasileira de Produção Científica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2020.004.0035>.

LIMA, Guilherme Julio de Abreu. USO DE POLÍMERO NATURAL DO QUIABO COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO E FILTRAÇÃO EM TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO. 2007. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: [http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2007/GuilhermeJulioMdeAbreuPEAMB\\_2007.pdf](http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2007/GuilhermeJulioMdeAbreuPEAMB_2007.pdf). Acesso em: 25 nov 2023.

MARTINS, Hádél C. Estudo Sobre os Processos de Coagulação, Floculação e Decantação em Efluentes Oriundos de Usina Canavieira. 2014. 56p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

MUNIZ, G. L. et al. Performance of natural coagulants obtained from agro-industrial wastes in dairy wastewater treatment using dissolved air flotation. Journal of Water Process Engineering, v. 37, p. 101453, 2020.

Nhut H. T, et al. (2021). Use of *Moringa oleifera* seeds powder as bio-coagulants for the surface water treatment. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 18, 2173–2180. [10.1007/s13762-020-02935-2](https://doi.org/10.1007/s13762-020-02935-2)

NTIBREY, Richard Agbo Kwabena *et al.* Antimicrobial and coagulation potential of *Moringa oleifera* seed powder coupled with sand filtration for treatment of bath wastewater from public senior high schools in Ghana. *Heliyon*, [S.L.], v. 6, n. 8, p. 1-10, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04627>.

NWAIWU, N. E.; LINGMU, B. Studies on the effect of settling time on coliform reduction using *Moringa oleifera* seed powder. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, v. 6, n. 3, 2011.

OLIVEIRA, Ana Paula Almeida de; LUZ, Adão Benvindo da. Recursos hídricos e tratamento de águas na mineração. Rio de Janeiro: Cetem, 2001. 36 p.

OLIVEIRA, Z. L. *et al.* Efficiency in the Treatment of Landfill Leachate Using Natural Coagulants From the Seeds of *Moringa Oleifera* Lam and *Abelmoschus Esculentus* (L.) Moench (Okra). *Electronic Journal Of Geotechnical Engineering, Pernambuco*, v. 21, n. 24, p. 9735-9752, jan. 2016.

ONU (Nações Unidas Brasil). 2015. Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acesso em: 20 dez. 2023.

PAVANELLI, Gerson *et al.* Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. 2001. 230 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2001.

Pavanelli, Gerson. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

PETERSEN, K. et al. Systematic mapping studies in software engineering. In: 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE) 12. 2008. p. 1-10.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. Cerca de 80% da água consumida nas cidades vira esgoto. Acesso em: 26 jan. 2024

SALA, D.M., Valderrama, P., Peron, A.P. et al. UV–Vis Spectroscopy Applied in the Determination of the Degradation Time of *Abelmoschus esculentus* Moench Solution Used as Natural Flocculant. *Water Air Soil Pollut* 232, 368 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05307-9>

SALA, D.M., Valderrama, P., Peron, A.P. et al. UV–Vis Spectroscopy Applied in the Determination of the Degradation Time of *Abelmoschus esculentus* Moench Solution Used as Natural Flocculant. *Water Air Soil Pollut* 232, 368 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05307-9>

SÁNCHEZ-MARTÍN, J. *et al.* Comparison of single-step and two-step purified coagulants from *Moringa oleifera* seed for turbidity and DOC removal. *Bioresource Technology*, [S.L.], v. 101, n. 15, p. 6259-6261, ago. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.072>.

SANTOS, E. P. C. C. DOS . et al.. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 4, p. 361–370, out. 2007.

SANTOS, Pablo Vinícius Silva. Biocoagulação por quitosana como alternativa no tratamento de águas residuárias da indústria mineral: redução de turbidez e salvaguardo da biota aquática. 2021. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Núcleo de Pesquisas e Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

SANTOS, Pablo Vinícius Silva. Recursos hídricos e tratamento de águas na mineração. 2021. 245 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

TAIWO, Adewole Scholes *et al.* Efficacy of a natural coagulant protein from *Moringa oleifera* (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water, Ile-Ife, Nigeria. *Heliyon*, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 1-10, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03335>.

SHAK, Katrina Pui Yee; WU, Ta Yeong. Coagulation–flocculation treatment of high-strength agro-industrial wastewater using natural *Cassia obtusifolia* seed gum: treatment efficiencies and flocs characterization. *Chemical Engineering Journal*, [S.L.], v. 256, p. 293-305, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.093>.

SINGH, Bineeta; KUMAR, Pradeep. Pre-treatment of petroleum refinery wastewater by coagulation and flocculation using mixed coagulant: optimization of process parameters using response surface methodology (rsm). *Journal Of Water Process Engineering*, [S.L.], v. 36, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101317>.

SULAIMAN, M. et al. *Moringa oleifera* seed as alternative natural coagulant for potential application in water treatment: A review. *Journal of Advanced Research in Materials Science*, v. 56, n. 1, p. 11- 21, 2019.

SULAIMAN, M. et al. *Moringa oleifera* seed as alternative natural coagulant for potential application in water treatment: A review. *Journal of Advanced Research in Materials Science*, v. 56, n. 1, p. 11- 21, 2019.

VALVERDE, Karina Cardoso *et al.* AVALIAÇÃO DO TEMPO DE DEGRADAÇÃO DO COAGULANTE NATURAL MORINGA OLEIFERA LAM EM PÓ NO TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL. *E-Xacta*, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 76-82, 31 maio 2014. *Revista Exacta*. <http://dx.doi.org/10.18674/exacta.v7i1.1203>.

VARKEY, A. J. Purification of river water using *Moringa Oleifera* seed and copper for point-of-use household application. *Scientific African*, v. 8, p. e00364, 2020.

VARSANI, Vaishali et al. Development of bio-based material from the *Moringa oleifera* and its bio-coagulation kinetic modeling—A sustainable approach to treat the wastewater. *Heliyon*, [S.L.], v. 8, n. 9, p. 1-10, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10447>.

VAZ, L. G. L., et al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. *Eclética Química*, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010.

VIEIRA, Eriton Geraldo *et al.* Exploração Mineral de Areia e Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado. *Sustainability In Debate*, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 171-192, 31 ago. 2015. Editora de Livros IABS. <http://dx.doi.org/10.18472/sustdeb.v6n2.2015.10795>.

VIGNESHWARAN, S. et al. Optimization of sustainable chitosan/Moringa oleifera as coagulant aid for the treatment of synthetic turbid water—A systemic study. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, v. 2, p. 132-140, 2020.

# APÊNDICE A - CONDIÇÕES ÓTIMAS DA UTILIZAÇÃO DA *MORINGA OLEIFERA* NO TRATAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS: REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Gabrielle Sanches Lima Mesquita (1)

Graduanda em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Técnica em Edificações pelo Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG/OP). Estudante de Iniciação Científica na área de Saneamento.

Tamara Daiane de Souza (2)

Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Pós-graduanda Latu Sensu em Engenharia de Segurança do Trabalho, Mestre e Doutora em Recursos Hídricos e Ambientais pela UFV. Professora adjunta da Universidade Federal de Ouro Preto no Departamento de Engenharia Urbana, na área de Saneamento (DEURB/UFOP).

Múcio André dos Santos Alves Mendes(3)

Engenheiro Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Pós-graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho, Mestre e Doutor em Engenharia Agrícola pela UFV. Professor adjunto da Universidade Federal de Ouro Preto no Departamento de Engenharia Civil (DECIV/UFOP).

Matheus Filipe da Silva Pereira (4)

Graduando em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Técnico em Automação Industrial pelo Centro de Ensino Técnico Profissional (CETEP). Estudante de Iniciação Científica na área de Saneamento.

## RESUMO

Apesar do potencial de utilização, muitos operadores ainda não aplicam coagulantes naturais devido à insegurança quanto ao método a ser adotado, à quantidade de coagulante natural, consórcio com coagulantes inorgânicos, alterações do pH e tempo de mistura rápida necessários. Assim, nesta revisão, baseada em um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), as propriedades coagulantes/floculantes do extrato de sementes de *Moringa oleifera* foram avaliadas quantitativamente para o tratamento adequado de águas superficiais. Foram examinados mecanismos de coagulação e floculação, analisadas as melhores concentrações de solução e pH do agente natural citado, e as preferíveis metodologias de obtenção e de mistura do extrato de *Moringa oleifera*. Tem-se a expectativa que os resultados possam fornecer subsídios para ações em saneamento ambiental como fator de melhoria da saúde pública, diminuindo o impacto ambiental causado pela aplicação excessiva do sulfato de alumínio como coagulante.

Palavras-chave: Moringa Oleífera, Tratamento de Água, Água Superficial, Coagulante Natural, Revisão Sistemática.

## INTRODUÇÃO

No mundo, cerca de 80% dos efluentes são lançados em cursos d'água sem tratamento adequado, o que aumenta a poluição e os custos de tratamento das águas superficiais (PNUD, 2019). Em resposta a este cenário, várias tecnologias de tratamento de água e efluentes foram desenvolvidas para garantir o abastecimento de água adequado e de qualidade, a fim de atender a demanda e conservar a disponibilidade de recursos hídricos (Ang e Mohammad, 2020). Neste contexto, transforma-se a água bruta em água para uso humano através do uso de técnicas pertinentes, com o uso de coagulantes e floculantes. O objetivo dos coagulantes está justamente relacionado com a remoção das impurezas contidas na água bruta, onde podem ser utilizados coagulantes químicos ou, de maneira alternativa, os coagulantes naturais. Grande parte das estações de tratamento de água utiliza sais inorgânicos como agente coagulante, como o sulfato de alumínio. No entanto, existem estudos como os de Gupta et al. (2005) que relacionam o uso deste coagulante com doenças neurológicas, o que compromete a saúde pública.

Os coagulantes naturais surgem como alternativa promissora, pois apresentam várias vantagens em relação aos coagulantes químicos, sendo biodegradáveis, não tóxicos e gerando lodo em menor quantidade e com menores teores de metais. Além disso, via de regra não alteram o pH da água, apresentam boa remoção de cor e turbidez e também promovem expressiva remoção de bactérias (Nwaiwu e Lingmu, 2011). Ainda são incipientes os estudos que otimizam os processos de coagulação e floculação com coagulantes naturais, assim, ainda apresentam como desvantagem maior custo de aquisição e escassez de dados para sistemática no processo de tratamento.

Dentre os coagulantes naturais, destaca-se o extrato de semente de *Moringa oleífera*. A *Moringa oleífera* é utilizada na coagulação através do extrato de sua semente, que tem em sua polpa uma proteína com propriedades coagulantes. Além disso, não alteram o pH da água e nem o gosto, não são tóxicas para humanos e animais, possuindo ainda propriedades bactericidas. A aplicação com melhores resultados acontece em águas mais turvas, garantindo que o potencial coagulante da planta atue sobre as partículas e diminua turbidez da água (MUNIZ et al., 2020). Ainda, de acordo com Sulaimain et al (2019), a prática de usar

substâncias naturais provenientes de plantas como coagulantes para purificação de água tem sido relatada no passado, principalmente em países asiáticos e africanos.

A *Moringa oleífera* é uma planta pertencente à família Moringaceae e ao gênero *Moringa*, a espécie é extensamente cultivada ao redor do mundo e possui valores medicinais e nutricionais, sendo inclusive apelidada por “árvore milagrosa”, uma vez que evidências apontam que quase todas as partes da árvore são úteis e benéficas (Sulaiman et al., 2019). A planta estudada é de porte médio, com cerca de 20 a 25m de altura. Suas folhas são compostas, fendidas longitudinalmente, dispostas em espiral com comprimento de 25 a 45cm e aglomeradas na extremidade de seus ramos. A flor da *M. oleífera* é branca e perfumada e o comprimento de sua semente varia de 9,12mm a 16,21mm (Sulaiman et al., 2019 apud Zhigila et al., 2015).

Retrata-se que o tratamento da água com coagulante natural de moringa é seguro, uma vez que a planta contém apenas polímeros orgânicos naturais e materiais biodegradáveis (Sulaiman et al., 2019). A ação coagulante da planta depende das proteínas solúveis em água que possuem carga positiva chamada MOCP (Moringa Oleífera Cationic Protein). Quando o biocoagulante é introduzido nas águas uma atração eletrostática acontece e a proteína catiônica atua como um ímã, desta forma, as proteínas atraem impurezas na água e formam flocos por meio do agrupamento de partículas (Alakaparamil, 2020).

Além disso, a espécie tem potencial para remoção de altas contaminações e, o lodo gerado pelo tratamento, além de ser menos volumoso quando comparado ao de alumínio e outros sais férricos, não é tóxico (Sulaiman et al., 2019 apud Bhuptawat et al., 2007). É possível entender que o extrato de sementes de *M. oleífera* demonstra ser uma fonte potencial para o tratamento de água devido à sua eficácia, disponibilidade e sustentabilidade. A moringa manifesta propriedades coagulantes que já foram inclusive implementadas para melhoria de vários aspectos do tratamento de águas residuais, como turbidez e alcalinidade, por exemplo (Sulaiman et al., 2019; Arnoldsson et al., 2008).

## **OBJETIVO**

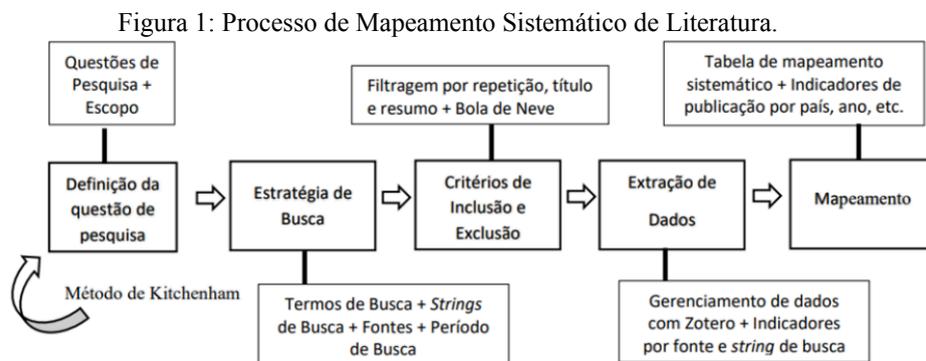
Diante do exposto, o interesse no estudo de novas tecnologias socioambientais para o tratamento de água direcionou este trabalho para uma revisão sistemática de literatura sobre o uso da *Moringa Oleífera* como agente coagulante no tratamento de águas superficiais, a fim de identificar as condições ideais para sua utilização. O trabalho busca reunir informações relevantes sobre os aspectos técnicos e científicos relacionados ao uso da moringa incluindo

aspectos da metodologia de extração e obtenção do extrato de semente de *M. Oleifera*, concentração ótima da solução e influências do pH. Além disso, busca-se avaliar os efeitos da planta na qualidade da água tratada. E, finalmente, fornecer informações atualizadas e de relevância para profissionais que trabalham na área de tratamento de água e gestão de recursos hídricos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com Brizola et al. (2017), o reconhecimento do estágio atual da produção científica da temática estudada é fundamental para a relevância do problema de pesquisa formulado. Segundo o autor, é fundamental a identificação de lacunas, consensos e controvérsias sobre o tema e, assim, trilhar um trajeto de pesquisa ainda não percorrido por outros pesquisadores.

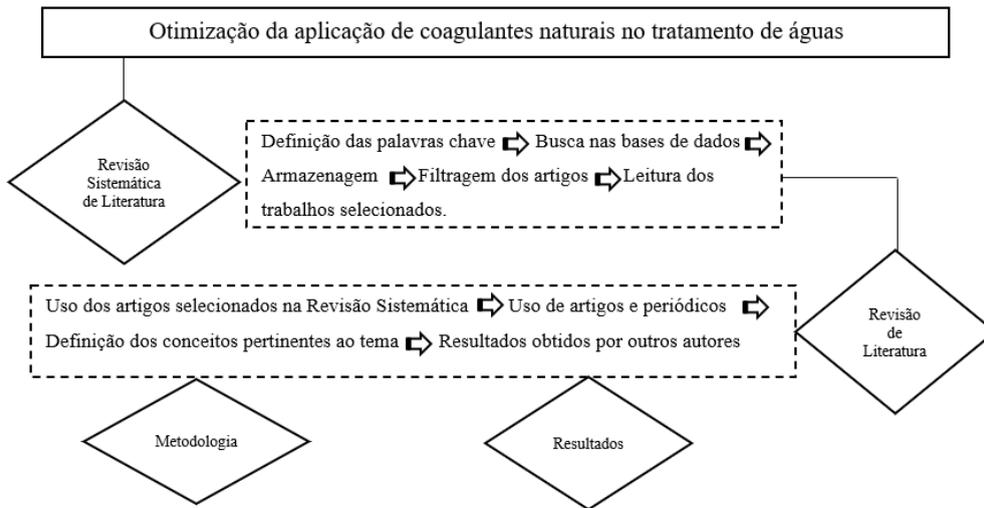
Afim de revisar a bibliografia a ser utilizada, a metodologia empregada foi baseada em um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL). O método de MSL, descrito na figura 1, permite uma visão geral do campo estudado, possibilitando a caracterização do tipo de pesquisa, quantidade e resultados disponíveis (Petersen et al, 2008).



Fonte: Adaptado de Petersen *et al.*, 2008.

Segundo Petersen et al., (2008) as etapas fundamentais do processo são a definição das questões de pesquisa, a triagem de artigos, a extração de dados e o mapa sistemático. Desta forma, a revisão de literatura realizada pode ser delineada como na figura 2 abaixo. Uma revisão sistemática possibilita a análise de relatórios já existentes, revisando e descrevendo suas metodologias e resultados (Kitchenham & Charters 2007), o método categoriza as pesquisas e fornece, na maioria das vezes, um resumo visual de seus resultados (Petersen et al, 2008).

Figura 2: Estrutura de Revisão de Literatura do trabalho.



Fonte: Adaptado de Petersen *et al.*, 2008.

Assim, para o presente trabalho foram selecionados apenas artigos e periódicos publicados entre os anos de 2013 e 2023. Um resumo geral das estratégias de busca definidas está demonstrado na tabela 1 abaixo. Os artigos eleitos foram então filtrados por repetição e em seguida por título - descartando aqueles nos quais os títulos não correspondessem ao tema trabalhado. Por fim foram filtrados pelo resumo, essa etapa removeu as pesquisas fora do contexto desejado. Para conclusão, os artigos restantes foram lidos integralmente e utilizados no projeto corrente.

Tabela 1: Estratégias de busca

Termos de Busca	Strings de Busca
1. water treatment	1. Water treatment AND Coagulants (1.153 results)
2. raw water	2. Water treatment AND Coagulants AND Natural (740 results)
3. surface water	3. Raw water AND Surface water AND Coagulants AND Natural (323 results)
4. coagulants	4. Moringa seed AND Water treatment AND Coagulants (55 results)
5. natural	5. Abelmoschus esculentus AND Extract OR Coagulants OR Flocculants AND Watertreatment (2.359 results)
6. moringa seed	6. Abelmoschus esculentus AND Extract AND Coagulants OR Flocculants AND Watertreatment AND Natural (7 results)
7. abelmoschus esculentus	
8. extract	
9. flocculant	
Fontes	Período
<a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>	2013 a 2023
Portal de Periódicos Capes - Acesso CAFe	Tipo de Publicação
	Artigos e periódicos

Fonte: Autores, 2023.

Alguns destes artigos utilizou-se do Método de Superfície Resposta (MSR) para determinar os valores ótimos das concentrações de extrato de semente de *M. Oleífera*. O MSR é um grupo de técnicas matemáticas e estatísticas para design de experimentos, sendo um processo utilizado para análise e modelagem de problemas, auxiliando na obtenção de condições ideais em função de diferentes variáveis. O principal objetivo dessa metodologia é a otimização da resposta (Desta AND Bote, 2021; Bezerra et al., 2008), combinando várias variáveis ao mesmo tempo e apresentando interações recíprocas no rendimento de um processo, além disso, diminui o número de execuções experimentais necessárias e fornece resultados estaticamente competentes (Desta AND Bote, 2021 Apud Betiku e Adesina, 2013).

Na Metodologia Superfície Resposta a quantidade de respostas e de fatores não é limitante, podendo inclusive modelar múltiplas respostas simultaneamente. É um aspecto determinante da MSR, dado que um produto ou processo pode precisar satisfazer mais de um critério.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

É fundamental a identificação de lacunas, consensos e controvérsias sobre o tema trabalho para, assim, conceber um trajeto de pesquisa ainda não percorrido por outros pesquisadores, evitar os erros similares e selecionar as melhores trajetórias das apuradas (Brizola et al., 2017). Logo, a fim de conceber uma revisão de literatura relevante, a metodologia empregada foi no MSL, voltado para viabilidade técnica e econômica em sistemas de saneamento.

Os 7 artigos restantes após a estratégia de busca determinada foram lidos integralmente e utilizados no projeto presente, seguindo para as etapas de análise dos mecanismos de coagulação, das melhores concentrações de solução e pH do agente natural citado e, das preferíveis metodologias de obtenção e de mistura do extrato de *Moringa oleífera*.

Para os artigos revisados, a metodologia de obtenção do extrato de moringa teve pontos semelhantes. Via de regra, as sementes de moringa foram descascadas, lavadas, moídas e peneiradas. Ademais, Vyas e Dudhagara (2022) e outros autores observaram que o pó da semente é altamente atraído pela umidade tanto antes quanto depois da moagem e diversas técnicas para secagem são citadas, como secagem em estufa e em forno seco (Vigneshwaran et al, 2020; Desta e Bote, 2021).

Posteriormente, quantidades desse pó foram dosadas na água destilada para atingir a concentração adequada, esta concentração ideal permaneceu, majoritariamente, entre 0.05 g /L a 0.8 g /L. O estudo dessas concentrações foi diversificado, Desta e Bote (2021) avaliaram dosagens de 0.1 g/500ml a 0.6 g/500ml enquanto que na pesquisa de Nitbrey, et al. (2020) foram analisadas quantidades de concentração entre 0.5 g/l a 2.5 g/l. O pH que obteve melhores resultados foi próximo a 7.

Tabela 2: Concentrações ótimas e melhores faixas de pH

AUTORES, ANO	Alakaparampil Joseph Varkey(2020)	Sivakumar Vigneshwaran et. al (2020)	B.I. Gandiwa et al. (2020)	Adewole Scholes Taiwo, et al. (2020)
METODOLOGIA DEMISTURA E OBTENÇÃO DO EXTRATO	As sementes de moringa foram descascadas, moídas em moedor elétrico e peneiradas (0,8 mm). Misturadas agitadas por cerca de 20-25s e deixado em repouso para coagulação.	As sementes de M. oleifera foram coletadas e lavadas em água corrente, moídas e secas para retirada da umidade em estufa a 70C por 6 h. A velocidade de agitação foi de 10-50 rpm com intervalos de tempo de 100 min.	Sementes foram descascadas e colocadas em estufa a 35°C até secarem. Foram moídas e peneiradas (500 µm). Passou por agitador por 1 hora e deixou-se repousar por 30 minutos. Frascos foram colocados no aparelho jar test e submetidos a mistura de 200 rpm por 2 min, seguido de 10 min de mistura lenta a 20 rpm e 30 min de sedimentação.	Sementes de M. oleifera foram lavadas com água destilada, secas ao ar em temperatura ambiente e moídas em pó fino. Diferentes concentrações com Moringa e 5% (p/v) de sulfato de alumínio foram adicionadas a frascos com 1 L de amostras de água e misturados por 3 min. Os flocos frepousaram durante 1h. A mistura foi agitada durante 18h e mantido durante a noite a 4°C. A mistura resultante foi centrifugada a 3500 rpm por 20 min.
AUTORES, ANO	Wendesen Mekonin Desta,Million Ebba Bote (2021)	Richard Agbo Kwabena Nitbrey, et al. (2020)	Olusola Adedayo Adesinaa,et al. (2019)	
METODOLOGIA DEMISTURA E OBTENÇÃO DO EXTRATO	Sementes de foram colatadas e colocadas no forno seco a uma temperatura de 105 C por 7h. Depois, moídas e peneiradas. Após a floculação, houve agitação de 15 minutos a 200 r/min, após, uma agitação lenta foi reintroduzida a 40r/min por 15 min.	Os grãos foram secos ao sol por 6h diariamente durante 7 dias. Depois moídos e peneirados (500 µm). Cadabêquer foi agitado rapidamente inicialmente a cerca de 100 rpm por 1,0 min; depois lentamente (cerca de 25 rpm) por 20 min e deixados em repouso por 30 min.	As sementes foram retiradas e trituradas. As doses do pó de semente foram pesadas na água destilada para atingir a concentração adequada. A condição ótima prevista foi agitação de 10 min a 100 rpm, com tempo de estabilização de 120 min.	

Fonte: Autores, 2023.

No quesito técnicas de mistura, o processo foi quase sempre dividido em duas etapas: agitação rápida e agitação lenta. Para agitação rápida, os melhores resultados ficaram em torno de 200 rpm, enquanto que para a lenta, de 25 e 40 rpm. Notou-se que o tempo de estabilização foi significativo, alguns autores chegaram a 120 e 240 minutos de pausa para sedimentação (Adesinaa, et al. 2019).

Tabela 3: Metodologias de mistura e obtenção do extrato de *M. Oleifera*.

AUTORES, ANO	Alakaparampil Joseph Varkey (2020)	Sivakumar Vigneshwaran et. al (2020)	B.I. Gandiwa et al. (2020)	Adewole Scholes Taiwo, et al. (2020)	Wendesen Mekonin Desta, Million Ebba Bote (2021)	Richard Agbo Kwabena Ntibrey, et al. (2020)	Olusola Adedayo Adesinaa, et al.(2019)
CONCENTRAÇÕES	0,1 g – 0,6 g em etapas de 0,1 g Ótima: 0.25 g/L	Ótima: 0.2 g/L	Ótima: 0.05 g/L	20, 40, 60 e 80 mg/L Ótima: 0.06mg/L	0.2g a 6g/500ml Ótima: 0.8 g/l	0.5 g/L, 1 g/L, 1.5 g/L, 2 g/L e 2.5 g/L Ótima: 2.0 g/L	Ótima: 3.0g/L
FAIXAS DE pH	pH 6.5 - 7.0	pH 5 - 8	pH 7.05	pH 7	pH 7 – 9	pH 7.53	pH 7.3

Fonte: Autores, 2023.

Por fim, concluiu-se que a utilização do extrato de *Moringa oleifera* diminui o nível de turbidez das águas, possui baixo nível de lixiviação e que pode ser inclusive utilizado em conjunto com outros agentes químicos (Varkey, 2020; Vigneshwaran et al., 2020; Gandiwa et al., 2020), sendo um produto eficaz para remoção de impurezas até mesmo em escala industrial (Adesinaa et al., 2019).

Tabela 4: Resultados principais dos autores, com aplicação de *M. Oleifera*

AUTORES, ANO	Alakaparampil Joseph Varkey (2020)	Sivakumar Vigneshwaran et. al (2020)	B.I. Gandiwa et al. (2020)	Adewole Scholes Taiwo, et al. (2020)	Wendesen Mekonin Desta, Million Ebba Bote (2021)	Richard Agbo Kwabena Ntibrey, et al. (2020)	Olusola Adedayo Adesinaa, et al. (2019)
RESULTADOS E OBSERVAÇÕES	Turbidez: de 37,8 NTU para 3 NTU.	A turbidez das amostras foi reduzida em 94,4%.	Turbidez alcançou 3,2 NTU, com 88,7% de redução.	Turbidez obteve redução de 78,85%. Coliformes totais diminuíram em 58,18%.	Turbidez diminuiu entre 95,99% e 99,99%.	Turbidez reduziu de 275 NTU para 9,13 NTU. E. coli diminuiu para 0/ml.	O modelo previu a menor turbidez como 5,49 NTU em condição ótima.

Fonte: Autores, 2023.

## CONCLUSÃO

De acordo com os trabalhos analisados, os resultados encontrados da aplicação do extrato como coagulante estiveram adequados para tratamentos primários de água. O agente em estudo possui alta capacidade coagulativa e induziu atividade antimicrobiana de forma promissora.

O extrato de sementes de *M. oleifera* é uma fonte potencial para o tratamento de água devido à sua eficácia. Quando usado para o tratamento de águas superficiais, foram obtidos excelentes resultados. As sementes são biodegradáveis, não tóxicas e possuem potencial para

remoção de altas contaminações e o lodo gerado pelo tratamento, além de ser menos volumoso quando comparado ao de alumínio e outros sais férricos (Sulaiman et al., 2019 apud Bhuptawat et al., 2007).

De acordo com a revisão realizada, mais trabalhos podem ser realizados a fim de determinar melhores condições de conservação do coagulante natural; investigar a influência do tamanho das partículas de pó de sementes da moringa na eficácia do extrato, e estudar novas combinações do agente coagulante de moringa com outros agentes naturais ou químicos, tornando o processo de coagulação e floculação mais ágil e completo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADESINA, O. A. et al. Response surface methodology approach to optimization of process parameter for coagulation process of surface water using Moringa oleifera seed. *South African Journal of Chemical Engineering*, v. 28, p. 46-51, 2019.
2. AGARWAL, M. et al. Utilization of okra gum for treatment of tannery effluent. *International Journal of Polymeric Materials*, v. 52, n. 11-12, p. 1049-1057, 2003.
3. ANG, W. L.; MOHAMMAD, A. W. Integrated and hybrid process technology. In: *Sustainable Water and Wastewater Processing*. Elsevier, 2019. p. 279-328.
4. BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G. K.; CHAUDHARI, S. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating Moringa oleifera seed coagulant. *Journal of hazardous materials*, v. 142, n. 1-2, p. 477-482, 2007.
5. BRIZOLA, J.; FANTIN, N. Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura. *Revista de Educação do Vale do Arinos-RELVA*, v. 3, n. 2, 2016.
6. DESTA, W. M.; BOTE, M. E. Wastewater treatment using a natural coagulant (Moringa oleifera seeds): optimization through response surface methodology. *Heliyon*, v. 7, n. 11, p. e08451, 2021.
7. GANDIWA, B.I. et al. Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment:(Moringa Oleifera-Cactus Opuntia-alum blend). *South African Journal of Chemical Engineering*, v. 34, p. 158-164, 2020.
8. GUPTA, V. B. et al. Aluminium in Alzheimer's disease: are we still at a crossroad?. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, v. 62, p. 143-158, 2005.
9. KITCHENHAM, B. A.; MENDES, E.; TRAVASSOS, G. H. Cross versus within-company cost estimation studies: A systematic review. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 33, n. 5, p. 316-329, 2007.

10. MUNIZ, G. L.; BORGES, A. C.; SILVA, T. C. F. da. Performance of natural coagulants obtained from agro-industrial wastes in dairy wastewater treatment using dissolved air flotation. *Journal of Water Process Engineering*, v. 37, p. 101453, 2020.
11. NTIBREY, R. A. K.; KURANCHIE, F. A.; GYASI, S. F. Antimicrobial and coagulation potential of *Moringa oleifera* seed powder coupled with sand filtration for treatment of bath wastewater from public senior high schools in Ghana. *Heliyon*, v. 6, n. 8, p. e04627, 2020.
12. NWAIWU, N. E.; LINGMU, B. STUDIES ON THE EFFECT OF SETTLING TIME ON COLIFORM REDUCTION USING MORINGA OLEIFERA SEED POWDER. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, v. 6, n. 3, 2011.
13. PETERSEN, K. et al. Systematic mapping studies in software engineering. In: 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE) 12. 2008. p. 1-10.
14. SULAIMAN, M. et al. *Moringa oleifera* seed as alternative natural coagulant for potential application in water treatment: A review. *Journal of Advanced Research in Materials Science*, v. 56, n. 1, p. 11-21, 2019.
15. UNDP (United Nations Development Programme). 2019. Human Development Report 2019: Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in human development in the 21st century. New York.
16. VARKEY, A. J. Purification of river water using *Moringa Oleifera* seed and copper for point-of-use household application. *Scientific African*, v. 8, p. e00364, 2020.
17. VARSANI, V.; VYAS, S. J.; DUDHAGARA, D. R. Development of bio-based material from the *Moringa oleifera* and its bio-coagulation kinetic modeling—A sustainable approach to treat the wastewater. *Heliyon*, v. 8, n. 9, p. e10447, 2022.
18. VIGNESHWARAN, S. et al. Optimization of sustainable chitosan/*Moringa. oleifera* as coagulant aid for the treatment of synthetic turbid water—A systemic study. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, v. 2, p. 132-140, 2020.

## APÊNDICE B - EXTRAÇÃO DOS COAGULANTES NATURAIS DE *MORINGA OLEÍFERA* E QUIABO (*ABELMOSCHUS ESCULENTUS*) PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS TURVAS.

### INTRODUÇÃO

Uma mudança de paradigma no que tange o tratamento de água e esgoto tem impulsionado a implementação de técnicas mais sustentáveis nestas operações. Usualmente, a aplicação do tratamento físico-químico utiliza, na etapa de coagulação/floculação, sais inorgânicos como agentes coagulantes, como o sulfato de alumínio. No entanto, existem estudos como o de Gupta et al. (2005) que relacionam o uso deste coagulante com doenças neurológicas, comprometendo a saúde pública. Há ainda produção de lodo tóxico e a elevação dos custos nas estações devido a necessidade de correção do pH da água, que se altera devido às propriedades químicas que o processo acarreta.

Já os coagulantes naturais, em geral, não afetam o pH da água, apresentam boa capacidade de remoção de cor e turbidez, promovem expressiva remoção de bactérias, são biodegradáveis, não tóxicos e geram lodo em menor quantidade e com menores teores de metais (Nwaiwu e Lingmu, 2011). Entretanto, ainda são incipientes os estudos que otimizam os processos de coagulação e floculação com coagulantes naturais, por isso, ainda possuem maior custo de aquisição devido ao fator de escala de produção e escassez de dados para sistemática no processo de tratamento. Ainda assim, os coagulantes naturais surgem como alternativa promissora. Dentre estes, destacam-se a *Moringa oleífera* (moringa) e mais recentemente, a solução de quiabo (*Abelmoschus esculentus*).

A moringa é utilizada na coagulação através do extrato de sua semente, que possui proteína com propriedades coagulantes, não altera o pH nem o gosto da água e não é tóxica para humanos ou animais. A aplicação com melhores resultados acontece em águas mais turvas, garantindo que o potencial coagulante da planta atue sobre as partículas e diminua a turbidez da água. O quiabo (*Abelmoschus esculentus*) é uma hortaliça de grande importância econômica e alimentar, cultivada em áreas tropicais e subtropicais, e tem despertado a atenção devido às suas propriedades de coagulação/floculação (Muniz et al., 2020). Quando maduro, o quiabo torna-se rígido e impróprio para consumo, gerando grande volume de resíduos. A hortaliça possui polissacarídeos solúveis em água capazes de desestabilizar partículas coloidais suspensas formando flocos, uma propriedade interessante para tratamento de efluentes (Lima, 2007; Muniz et al., 2020).

É notável que ambas as plantas têm revelado propriedades coagulantes importantes, no entanto, a carência de metodologias otimizadas para a obtenção dessas soluções tem sido um grande desafio. Este trabalho busca preencher essa lacuna, oferecendo uma abordagem clara e eficaz para a obtenção de coagulantes naturais, direcionado tanto ao quiabo, cujos estudos são notoriamente incipientes, quanto à *Moringa oleífera* que, embora tenha sido objeto de estudos mais abrangentes, também carece de uma metodologia padronizada que otimize sua eficácia como coagulante.

## **OBJETIVO**

Diante do exposto, o interesse no estudo de novas tecnologias socioambientais para o tratamento de água, além da busca por uma forma mais ecológica e sustentável de proporcionar água de qualidade para a população, deve condizer com o 6º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS), documento proposto pela ONU, que estabelece a seguridade da disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos. De acordo com o tópico 6.3 da ODS, mundialmente, até o ano de 2030, a qualidade da água nos corpos hídricos deve ser expressivamente melhorada, havendo redução da poluição, eliminação do despejo e diminuição da liberação de produtos químicos e materiais perigosos em cursos d'água, reduzindo pela metade as águas residuais não tratadas (ONU, 2015).

Os ideais propostos acima auxiliam no direcionamento deste trabalho para a concepção de uma metodologia voltada à obtenção de coagulantes naturais provenientes da semente da *Moringa oleífera* e do quiabo, identificando as condições ideais para sua utilização em busca de gerar um tratamento de água eficiente e com menor geração de resíduos e riscos à saúde. Foram reunidos dados relevantes sobre os aspectos técnicos e científicos relacionados ao uso das plantas citadas, buscando avaliar os efeitos das soluções na qualidade da água tratada. E, finalmente, fornecer informações atualizadas e de relevância para profissionais que trabalham na área de tratamento de água e gestão de recursos hídricos.

Propõe-se, desta forma, evidenciar os desafios enfrentados no processo de obtenção de coagulantes naturais e apresentar uma metodologia otimizada e eficiente para extrair soluções coagulantes da *Moringa oleífera* e do quiabo (*Abelmoschus esculentus*). A metodologia proposta visa estabelecer uma base para futuras pesquisas e aplicações práticas, destacando o papel crucial destes coagulantes na busca por processos sustentáveis no tratamento de água. Por fim, o trabalho pretende fornecer uma contribuição significativa ao campo da engenharia sanitária, ambiental e urbana, promovendo o uso eficaz de coagulantes naturais e estimulando investigações mais aprofundadas para maximizar seu potencial.

## METODOLOGIA

### Revisão Sistemática de Literatura

A fim de revisar a bibliografia a ser utilizada, a metodologia empregada foi baseada em um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL). O método de MSL permite uma visão geral do campo estudado, possibilitando a caracterização do tipo de pesquisa, quantidade e resultados disponíveis (Petersen et al, 2008). Possibilita então, a análise de relatórios já existentes, revisando e descrevendo suas metodologias e resultados. Assim, para o presente trabalho foram selecionados apenas artigos e periódicos publicados entre os anos de 2013 e 2023, a partir dos strings da tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Estratégias de busca

Termos de Busca	Strings de Busca
1. water treatment	1. Water treatment AND Coagulants (1.153 results)
2. raw water	2. Water treatment AND Coagulants AND Natural (740 results)
3. surface water	3. Raw water AND Surface water AND Coagulants AND Natural (323 results)
4. coagulants	4. Moringa seed AND Water treatment AND Coagulants (55 results)
5. natural	5. Abelmoschus esculentus AND Extract OR Coagulants OR Flocculants AND Watertreatment (2.359 results)
6. moringa seed	6. Abelmoschus esculentus AND Extract AND Coagulants OR Flocculants AND Watertreatment AND Natural (7 results)
7. abelmoschus esculentus	
8. extract	
9. flocculant	
Fontes	Período
<a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>	2013 a 2023
Portal de Periódicos Capes - Acesso CAFe	Tipo de Publicação
	Artigos e periódicos

Fonte: Autores, 2023.

Os artigos eleitos foram então filtrados por repetição, em seguida por título e, por fim, pelo resumo. Os artigos restantes foram lidos integralmente e utilizados no projeto corrente.

### Etapa experimental

O quiabo foi adquirido no comércio local de Ouro Preto - Minas Gerais, a partir de uma doação de hortaliças maduras geralmente rejeitadas pelos consumidores. O quiabo foi cortado ao meio, seco com papel toalha para retirada do excesso de umidade e permaneceu em estufa a 60°C até que secasse por completo. Um pilão de cerâmica foi utilizado para pilar o quiabo seco e o pó foi peneirado em peneira de 5mm. Este pó foi reservado para a obtenção do coagulante natural.

A semente de moringa foi adquirida pela internet e, com casca, batida no liquidificador até que se transformasse em um pó fino, mas ainda solto. Este pó foi colocado no forno a 120°C de 10 a 15 minutos. O aspecto tomado como ideal foi uma cor acinzentada amarronzada. Percebeu-se, também, leve cheiro amendoado ao secá-la. Este pó seco foi peneirado em peneira de 5mm e reservado para obtenção do coagulante natural.

## RESULTADOS OBTIDOS

Após a leitura integral dos trabalhos foram selecionados 14 trabalhos que se enquadravam no escopo da pesquisa. Na tabela 2 abaixo estão representadas as informações dos artigos selecionados.

Tabela 2: Autores, ano de publicação e objetivos.

	TÍTULO	AUTORES, ANO	OBJETIVO	PALAVRAS-CHAVE	LINK
1	Purification of river water using Moringa Oleifera seed and copper for point-of-use household application	Alakaparampil Joseph Varkey (2020)	Envolve o uso do pó de semente de moringa como coagulante natural e floculante para clarificar água turva e o cobre como agente antibacteriano para destruir patógenos como E. coli, produzindo água potável limpa.	Water clarification; Microbial decontamination; Water disinfection; Moringa oleifera seed; Copper	<a href="https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00364">https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00364</a>
2	Optimization of sustainable chitosan/Moringa oleifera as coagulant aid for the treatment of synthetic turbid water – A systemic study,	Sivakumar Vigneshwaran, Perumal Karthikeyan, Palliyalil Sirajudheen, Sankaran Meenakshi (2020)	Investigar a remoção de turbidez de água turva sintética, solução de salmoura e águas subterrâneas contaminadas com mais turbidez usando coagulantes à base de ACCM (Quitosana carbonizada tratada com ácido Moringa. Oleifera).	Chitosan/M. oleifera coagulant; Wastewater treatment; Turbidity removal	<a href="https://doi.org/10.1016/j.enecce.2020.08.002">https://doi.org/10.1016/j.enecce.2020.08.002</a>
3	Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment: (Moringa Oleifera-Cactus Opuntia-alum blend)	B.I. Gandiwa, L.B. Moyo, S. Ncube, T.A. Mamvura, L.L. Mguni, N. Hlabangana (2020)	Estudo comparativo sobre a eficácia da mistura de coagulantes naturais à base de plantas (extratos de Cactus Opuntia e Moringa Oleifera) e um coagulante sintético (sulfato de alumínio ou alúmen) em tratamento de água bruta.	Alum; Moringa oleifera; Cactus Opuntia; Coagulation; Waste water	<a href="https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.07.005">https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.07.005</a>

4	Efficacy of a natural coagulant protein from Moringa oleifera (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water, Ile-Ife, Nigeria	Adewole Scholes Taiwo, Kuku Adenike, Okoya Aderonke (2020)	Este estudo investigou a atividade de coagulação da água de uma proteína purificada de sementes de Moringa oleifera na água do reservatório Opa de Universidade Obafemi Awolowo, Ile-Ife	Agriculture; Chemical engineering; Environmental science; Bacteriological; Dam; Drinking water; Quality	<a href="https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03335">https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03335</a>
5	Wastewater treatment using a natural coagulant (Moringa oleifera seeds): optimization through response surface methodology	Wendesen Mekonin Desta, Million Ebba Bote (2021)	O objetivo deste estudo foi confirmar a eficiência da utilização do pó de sementes de Moringa oleifera como coagulante natural no tratamento de águas residuais domésticas. Foi investigado em ambas as características de águas residuais: ácidas e básicas.	COD; Color; Domestic wastewater; Moringa oleifera; RSM; Turbidity	<a href="https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451">https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451</a>
6	Antimicrobial and coagulation potential of Moringa oleifera seed powder coupled with sand filtration for treatment of bath wastewater from public senior high schools in Ghana	Richard Agbo Kwabena Ntibrey, Francis Atta Kuranchie, Samuel Fosu Gyasi (2020)	O objetivo deste trabalho foi investigar a eficiência do pó de semente de Moringa oleifera acoplado à filtração de areia no tratamento de águas cinzas de escolas públicas de ensino médio no município de Bolgatanga e Kasena Nankana West Distrito na Região do Alto Leste de Gana.	Coagulation; Efficiency; Moringa oleifera; Physico-chemical parameters; Microbial parameters	<a href="https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04627">https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04627</a>
7	Response surface methodology approach to optimization of process parameter for coagulation process of surface water using Moringa oleifera seed	Olusola Adedayo Adesinaa, Fatima Abdulkareem, Adeyinka S. Yusuff, Mayowa Lala, Akindele Okewale (2019)	Uso de um coagulante natural ecologicamente correto, a semente de Moringa oleifera para o tratamento de águas superficiais.	Moringa oleifera; RSM; Surface water; Optimization; Coagulation	<a href="https://doi.org/10.1016/j.sajce.2019.02.002">https://doi.org/10.1016/j.sajce.2019.02.002</a>
8	Aplicação do extrato de Abelmoschus esculentus (L.) Moench como floculante para a remoção de cor no tratamento de águas com corante têxtil	Bruna Caroline de Lima, Gigliolla Caroline Biazon Pinguelo, Laís Gimenes Vernasqui, Nelson Consolin Filho, Marcilene Ferrari Barriuello Consolin, Patrícia Valderrama, Flávia Vieira da Silva Medeiros (2020)	A partir de planejamento fatorial 23 determinou-se as melhores concentrações do coagulante de quiabo, considerando a remoção de cor e geração de lodo como parâmetros.	Floculante; Quiabo; Análise Multivariada.	<a href="http://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2020.004.0035">http://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2020.004.0035</a>
9	Efficiency in the treatment of landfill leachate using natural coagulants from the seeds of Moringa oleifera lam and Abelmoschus esculentus (L.) moench (Okra) Expansive soil View project Collapsible soil View project	Z. L. Oliveira, M. R. C. C. Lyra, Ana Maria, Ribeiro Bastos Da Silva, Silvio Ferreira (2016)	Promover a remoção de cor, turbidez, condutividade, coliformes, pH, DQO e DBO5 do lixiviado por processos de coagulação/floculação/sedimentação/ filtração utilizando coagulantes naturais: Moringa oleifera Lam e Abelmoschus esculentus (L.) Moench (Quiabo), no pré-tratamento do lixiviado de aterro em condições de laboratório.	Moringa, Okra, Leachate, treatment, Natural Coagulants.	<a href="https://www.researchgate.net/publication/312231916">https://www.researchgate.net/publication/312231916</a>
10	Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (A. esculentus) mucilage as natural coagulant	T. K. F. S. Freitas, V. M. Oliveira, M. T. F. de Souza, H. C. L. Geraldino, V. C. Almeida, S. L. Fávaro, J. C. Garcia (2015)	Investigou-se a atividade coagulante da mucilagem de quiabo (Abelmoschus esculentus) como coagulante natural e sua eficiência foi comparada ao cloreto férrico (agente químico) no tratamento CF de águas residuais têxteis. Ensaios de otimização foram conduzidos pelo método padrão de teste em jarra	Biofloculant, Biopolymer, Coagulation, Okra gum, Residual okra, Textile effluent	<a href="http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.027">http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.027</a>

11	Performance evaluation of okra ( <i>abelmoschus esculentus</i> ) as coagulant for turbidity removal in water treatment	Muhammad Ridwan Fahmi, Nasrul Hamidin, Che Zulzikrami Azner Abidin, M. A. Umi Fazara, M. D. Irfan Hatim (2014)	Avaliar o desempenho na remoção de turbidez na água utilizando quiabo ( <i>Abelmoschus esculentus</i> ) como coagulante natural. O agente coagulante ativo em várias partes do quiabo foi extraído com água destilada e soluções de NaCl 1,0 M. Água sintética contendo caulim com uma turbidez de 55 NTU foi utilizada como fonte de água neste estudo.	Okra, Water treatment, Natural coagulant, Synthetic water, Turbidity removal	<a href="http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KE M.594-595.226">http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KE M.594-595.226</a>
12	Performance of natural coagulants obtained from agro-industrial wastes in dairy wastewater treatment using dissolved air flotation	Gustavo Lopes Muniz, Alisson Carraro Borges, Teresa Cristina Fonseca da Silva (2020)	Sementes de quiabo ( <i>Abelmoschus esculentus</i> ) e maracujá ( <i>Passiflora edulis</i> ) foram preparadas, caracterizadas e utilizadas como coagulantes naturais em experimentos de coagulação/flotação por ar dissolvido (C/DAF) tratando águas residuais sintéticas de laticínios (SDW).	Okra, Circular economy, Coagulation-flocculation, Passion fruit, Sludge	<a href="http://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101453">http://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101453</a>
13	Utilisation of natural plant-based fenugreek ( <i>Trigonella foenum-graecum</i> ) coagulant and okra ( <i>Abelmoschus esculentus</i> ) flocculant for palm oil mill effluent (POME) treatment	Farah Amira Binti Mohammad Lanan, Anurita Selvarajoo, Vasanthi Sethu, Senthil Kumar Arumugasamy (2021)	O feno-grego ( <i>Trigonella foenum-graecum</i> ) e o quiabo ( <i>Abelmoschus esculentus</i> ) foram utilizados como coagulantes naturais e floculantes, respectivamente, para o tratamento do efluente da usina de óleo de palma (POME).	Clean fuel, Coagulant-flocculant, Fenugreek, Okra, Palm oil mill effluent, Response surface methodology	<a href="http://doi.org/10.1016/j.jce.2020.104667">http://doi.org/10.1016/j.jce.2020.104667</a>
14	UV-Vis Spectroscopy Applied in the Determination of the Degradation Time of <i>Abelmoschus esculentus</i> Moench Solution Used as Natural Flocculant	Dominique Martins Sala, Patrícia Valderrama, Ana Paula Peron, Flávia Vieira da Silva-Medeiros (2021)	A fim de substituir o alumínio ou reduzir a concentração do metal, várias alternativas naturais para auxiliar no processo de coagulação/floculação têm sido avaliadas, incluindo o uso de <i>Abelmoschus esculentus</i> Moench (quiabo) como agente floculante. Para determinar o tempo de degradação da solução de quiabo, foram realizadas medidas espectrais na região UV-Vis.	Okra, Chemometrics, Degradation, Natural polymer, UV-vis spectrum, Water treatment	<a href="http://doi.org/10.1007/s11270-021-05307-9">http://doi.org/10.1007/s11270-021-05307-9</a>

Fonte: Autores, 2023.

Assim, conclui-se que de acordo com o MSL, via de regra, as sementes de moringa foram descascadas, lavadas, moídas e peneiradas. Ainda, Desta e Bote (2022) e outros autores observaram que o pó da semente é altamente atraído pela umidade tanto antes quanto depois da moagem e diversas técnicas para secagem são citadas, como secagem em estufa e em forno seco (Vigneshwaran et al., 2020; Desta e Bote, 2021). Para o quiabo maduro confirmou-se sua utilização em forma de solução com o pó seco da vagem (Lima et al., 2020), além da extração da mucilagem por imersão do quiabo (Lanan et al., 2021). Estes dados podem ser conferidos nas tabelas 3 e 4 abaixo.

Tabela 3: Metodologia de mistura e obtenção do extrato de Moringa oleífera

AUTORES, ANO	Alakaparampil Joseph Varkey (2020)	Sivakumar Vigneshwaran et. al (2020)	B.I. Gandiwa et al. (2020)	Adewole Scholes Taiwo, et al. (2020)
<b>METODOLOGIA DE MISTURA E OBTENÇÃO DO EXTRATO DE M. OLEIFERA</b>	Descascadas, moídas em moedor elétrico e peneiradas. Agitadas: 20-25s e repouso.	Moídas e secas, estufa a 70°C por 6 h. Agitação: 10–50 rpm - intervalos de tempo de 100 min.	Descascadas e colocadas em estufa (35°C), moídas e peneiradas (500 µm). Agitado por 1 hora e repouso. Mistura 200 rpm por 2 min, seguido de 10 min de mistura lenta a 20 rpm e 30 min de sedimentação.	Secas ao ar, moídas em pó fino. Moringa e 5% (p/v) de sulfato de alumínio com 1 L de amostras de água e misturados por 3 min e repouso 1h. Mistura: 18h e mantido a 4°C. 3500 rpm por 20 min.
AUTORES, ANO	Wendesen Mekonin Desta, Million Ebba Bote (2021)	Richard Agbo Kwabena Ntibrey, et al. (2020)	Olusola Adedayo Adesinaa, et al. (2019)	
<b>METODOLOGIA DE MISTURA E OBTENÇÃO DO EXTRATO DE M. OLEIFERA</b>	Forno seco (105 C) por 7h, moídas e peneiradas. Agitação: 15 minutos a 200 r/min, lenta a 40 r/min por 15 min.	Secos ao sol por 6h/7 dias, moídos e peneirados (500 µm). Agitação 100 rpm por 1,0 min e 25 rpm por 20 min e repouso por 30 min.	Trituradas e pesadas na água destilada. Agitação de 10 min a 100 rpm e repouso 120min.	

Fonte: Autores, 2023.

Tabela 4: Metodologia de mistura e obtenção do extrato de Quiabo

AUTORES, ANO	Sala et al. (2021)	Oliveira et. al (2016)	Lima et al. (2020)	Freitas et al. (2015)
<b>METODOLOGIA DE MISTURA E OBTENÇÃO DO EXTRATO DE QUIABO</b>	Seco em estufa a 60 °C por 48 h e moído em pilão de porcelana. Concentração de 1 mg L-1.	Cortado e moído no liquidificador. Concentração 37,5 g/L.	0,1 g do quiabo seco e moído em 100 mL de água destilada. Utilização de coagulante químico e de alcalinizante. Repouso por 10 min para sedimentação.	Separação da mucilagem e fibras feita por filtração. A mucilagem viscosa foi coletada e usada como coagulante. Testadas com NaCl, KCl, NaNO3 e água destilada.
AUTORES, ANO	Lanan et al. (2021)	Muniz et al. (2020)	Fahmi et al. (2014)	
<b>METODOLOGIA DE MISTURA E OBTENÇÃO DO EXTRATO DE QUIABO</b>	O quiabo foi imerso por 24 h. Foi realizada a extração da mucilagem do quiabo passando-o através de um pano de nylon.	Os quiabos maduros foram secos em estufa, triturados em liquidificador e peneirados para padronização granulométrica. Partículas entre 0,30 e 0,85 mm foram utilizadas.	Foram utilizados: caules, folhas, vagens e sementes. Separadas e secas ao ar e no forno e moídos. NaCl 1,0 M e água destilada foram usados para extrair o agente ativo de coagulação. A suspensão foi filtrada.	

Fonte: Autores, 2023.

A partir da análise destes dados comparou-se a utilização da solução de sementes de *M. oleífera* em diferentes concentrações (50g/L, 20g/L e 10g/L), com e sem adição de Nitrato de Cálcio (29,5g/L) e, também, da mucilagem do quiabo (1g/L e 5g/L), do pó de quiabo seco (5g/L e 10g/L) e adicionando Nitrato de Cálcio (29,5g/L).

Para a solução de moringa, percebeu-se que a partir de 60 minutos de pausa, houve pouca diferença ao adicionar ou não o NaCl. Utilizando a solução de moringa (50g/L) com

NaCl (7,37g) foi possível obter redução de até 95,23% na turbidez da água, enquanto que utilizando apenas a solução com moringa (20ml/L), conseguiu-se 93,12% de redução.

Desta forma, a metodologia escolhida para obtenção dos coagulantes naturais foi a seguinte: o pó de sementes de moringa (secas em estufa, trituradas com casca e passadas em peneira 5mm), foi dosado para atingir a concentração adequada e adicionado a um (1) litro de água destilada. Esta solução passou por 30 minutos pelo agitador magnético para assegurar eficiente dispersão do pó, rápida dissolução e homogeneização da mistura e, posteriormente, filtrada à vácuo.

Para o quiabo, processo semelhante foi estabelecido: o quiabo seco em estufa, moído e passado em peneira 5mm foi adicionado em um (1) litro de água destilada. A solução passou por agitador magnético durante 30 minutos, e, posteriormente, foi filtrada à vácuo.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a solução coagulante de sementes de moringa, a maioria das metodologias teve em comum os processos de secagem, trituração e peneiração, a fim de criar um pó fino capaz de englobar as propriedades coagulantes da planta. Para o quiabo, formas utilizando a mucilagem por imersão da hortaliça, o pó ou apenas as sementes do quiabo foram estudadas.

Por fim, ao analisar os resultados dos ensaios jar test e de metodologia para obtenção dos coagulantes naturais, constatou-se que a utilização da solução do quiabo em pó a 10g/L (10ml/L) e do extrato de sementes de moringa em pó a 50g/L (20ml/L) foram mais eficientes para a redução de turbidez da água (Figuras 1 e 2).

Figura 1: Utilização da solução de quiabo (10g/L)

AMOSTRA	SOLUÇÃO	PAUSA	PH	TURBIDEZ (NTU)	Redução (%)
0 (balde)	0	0 min	7.13	2218	0,00
1	0	30 min	6.86	1361	38,64
2	10 ml/l	30 min		1290	41,84
3	50 ml/l	30 min		1406	36,61
4	100 ml/l	30 min		1286	42,02
1	0	60 min	6.78	1357	38,82
2	10 ml/l	60 min		1144	48,42
3	50 ml/l	60 min		1260	43,19
4	100 ml/l	60 min		1185	46,57

Fonte: Autores, 2023.

Figura 2: Utilização da solução de sementes de moringa (50g/L)

AMOSTRA	SOLUÇÃO (MORINGA 50g/l)	PAUSA	PH	TURBIDEZ (NTU)	Redução (%)
1	0	30 min	7.12	2152	0,00
2	50 ml/l	30 min		251	88,34
3	20 ml/l	30 min		352	83,64
4	10 ml/l	30 min		266	87,64
1	0	60 min		892	58,55
2	50 ml/l	60 min		212	90,15
3	20 ml/l	60 min		194	90,99
4	10 ml/l	60 min		229	89,36
1	0	90 min		816	62,08
2	50 ml/l	90 min		162	92,47
3	20 ml/l	90 min		148	93,12
4	10 ml/l	90 min		206	90,43

Fonte: Autores, 2023.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

A revisão sistemática da literatura, adotada como base para esta pesquisa, revelou-se de suma importância. Essa etapa foi fundamental para a análise dos dados, orientando a escolha da metodologia mais adequada na obtenção de coagulantes naturais a partir dos extratos de sementes de moringa e quiabo no processo de coagulação para o tratamento de água.

A metodologia classificada como mais apropriada, eficaz e reprodutível, foi a seguinte: as sementes de moringa foram trituradas, secas em forno a 120°C por cerca de 10 minutos e peneiradas em peneira de 5mm, enquanto que o quiabo foi seco em forno a 60°C, pilado e peneirado em peneira de 5mm. Ambos os pós passaram por agitação magnética misturados em água destilada por 30 minutos e foram filtrados à vácuo. Estas soluções coagulantes demonstraram desempenho semelhante com ou sem adição de Nitrato de Cálcio, por isso, optou-se pela utilização dos coagulantes naturais puros. Não houveram estudos aprofundados sobre a validade e o método de armazenamento ideais, assim, soluções frescas foram produzidas a cada rodada de ensaio.

Constatou-se que a utilização da mucilagem do quiabo não apresentou bons resultados, enquanto que a solução com o pó teve uma performance significativamente melhor. Também, o quiabo, por possuir consistência mais densa, faz com que seja necessário maiores cuidados relacionados a sua filtração para obtenção da solução. Os melhores resultados na aplicação dos coagulantes naturais para redução de turbidez se deram na utilização de 20ml/L da solução de sementes de moringa (50g/L) que chegou a 93,12% de redução, enquanto que o quiabo (10g/L) reduziu até 48,42% (10 ml/L) a turbidez da água artificial utilizada.

Por fim, a técnica estudada foi considerada reprodutível, rentável e capaz de produzir água com notáveis reduções de turbidez. Os agentes em estudo possuem alta capacidade de coagulação e floculação, podendo, inclusive, serem utilizados em conjunto com outros agentes químicos, sendo produto eficaz para remoção de impurezas até mesmo em escala industrial (Adesina et al., 2019). De acordo com a revisão realizada, mais trabalhos podem ser desenvolvidos a fim de determinar melhores condições de conservação dos coagulantes naturais, investigar a influência do tamanho das partículas de pó na eficácia das soluções e, novas combinações dos agentes coagulantes com outros agentes naturais ou químicos, tornando o processo de coagulação e floculação mais ágil e completo. Por fim, pode-se considerar que a utilização de coagulantes naturais como auxiliares na coagulação de águas turvas é viável e deve seguir sendo foco de estudos para que, assim, torne-se conhecimento difundido, mais acessível aos operadores e para que se obtenha resultados mais aprofundados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADESINA, O. A. et al. Response surface methodology approach to optimization of process parameter for coagulation process of surface water using *Moringa oleifera* seed. *South African Journal of Chemical Engineering*, v. 28, p. 46-51, 2019.
- AGARWAL, M. et al. Utilization of okra gum for treatment of tannery effluent. *International Journal of Polymeric Materials*, v. 52, n. 11-12, p. 1049-1057, 2003.
- ANG, W. L.; MOHAMMAD, A. W. Integrated and hybrid process technology. In: *Sustainable Water and Wastewater Processing*. Elsevier, 2019. p. 279-328.
- BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G. K.; CHAUDHARI, S. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant. *Journal of hazardous materials*, v. 142, n.1-2, p. 477-482, 2007.
- BRIZOLA, J.; FANTIN, N. Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura. *Revista de Educação do Vale do Arinos-RELVA*, v. 3, n. 2, 2016.
- DESTA, W. M.; BOTE, M. E. Wastewater treatment using a natural coagulant (*Moringa oleifera* seeds): optimization through response surface methodology. *Heliyon*, v. 7, n. 11, p. e08451, 2021.
- FAHMI, M.R., Hamidin, N., Abidin, C.Z.A., Umi Fazara, M.A., Hatim, M.D.I., 2013. Performance Evaluation of Okra (*Abelmoschus esculentus*) as Coagulant for Turbidity Removal in Water Treatment. *KEM* 594–595, 226–230. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.594-595.226>

FREITAS, T.K.F.S, Oliveira,V.M., de Souza, M.T.F., H.C.L. Geraldino, V.C. Almeida, S.L. Fávoro, J.C. Garcia, Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant, *Industrial Crops and Products*, v. 76, 2015, p. 538-544,ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.027>

GANDIWA, B.I. et al. Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment:(*Moringa Oleifera*-*Cactus Opuntia*-alum blend). *South African Journal of Chemical Engineering*, v. 34, p. 158-164, 2020.

GUPTA, V. B. et al. Aluminium in Alzheimer's disease: are we still at a crossroad?. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, v. 62, p. 143-158, 2005.

KITCHENHAM, B. A.; MENDES, E.; TRAVASSOS, G. H. Cross versus within-company cost estimation studies: A systematic review. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 33, n. 5, p. 316-329, 2007.

LIMA, Bruna & Pinguelo, Gigliolla & Vernasqui, Laís & Consolin-Filho, Nelson & Barriquello, Marcilene & Valderrama, Patricia & Vieira da Silva Medeiros, Flávia. (2020). Aplicação do extrato de *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench como floculante para a remoção de cor no tratamento de águas com corante têxtil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*. 11. 424-431. 10.6008/CBPC2179-6858.2020.004.0035.

MUNIZ, G. L.; BORGES, A. C.; SILVA, T. C. F. da. Performance of natural coagulants obtained from agro-industrial wastes in dairy wastewater treatment using dissolved air flotation. *Journal of Water Process Engineering*, v. 37, p. 101453, 2020.

NTIBREY, R. A. K.; KURANCHIE, F. A.; GYASI, S. F. Antimicrobial and coagulation potential of *Moringa oleifera* seed powder coupled with sand filtration for treatment of bath wastewater from public senior high schools in Ghana. *Heliyon*, v. 6, n. 8, p. e04627, 2020.

NWAIWU, N. E.; LINGMU, B. Studies on the effect of settling time on coliform reduction using *Moringa oleifera* seed powder. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, v. 6, n. 3, 2011.

OLIVEIRA, Z.L. & Lyra, M. & Arruda, A.C.F. & Silva, Ana Maria & Nascimento, J.F. & Ferreira, Silvio. (2016). Efficiency in the treatment of landfill leachate using natural coagulants from the seeds of *Moringa oleifera* lam and *Abelmoschus esculentus* (L.) moench (Okra). 21. 9735-9752.

ONU (Nações Unidas Brasil). 2015. Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acesso em: 20 dez. 2023.

PETERSEN, K. et al. Systematic mapping studies in software engineering. In: 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE) 12. 2008. p. 1-10.

SALA, D.M., Valderrama, P., Peron, A.P. *et al.* UV–Vis Spectroscopy Applied in the Determination of the Degradation Time of *Abelmoschus esculentus* Moench Solution Used as Natural Flocculant. *Water Air Soil Pollut* 232, 368 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05307-9>

SULAIMAN, M. et al. Moringa oleifera seed as alternative natural coagulant for potential application in water treatment: A review. *Journal of Advanced Research in Materials Science*, v. 56, n. 1, p. 11- 21, 2019.

THAKUR, Sunita Singh; CHOUBEY, Sonal. Assessment of coagulation efficiency of Moringa oleifera and Okra for treatment of turbid water. **Scholars Research Library**, Coden, v. 2, n. 6, p. 24-30, set. 2014. Disponível em: <https://www.scholarsresearchlibrary.com/articles/assessment-of-coagulation-efficiency-of-moringa-oleifera-and-okra-for-treatment-of-turbid-water.pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.

UNDP (United Nations Development Programme). 2019. Human Development Report 2019: Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in human development in the 21st century. New York.

VARKEY, A. J. Purification of river water using Moringa Oleifera seed and copper for point-of-use household application. *Scientific African*, v. 8, p. e00364, 2020.

VARSANI, V.; VYAS, S. J.; DUDHAGARA, D. R. Development of bio-based material from the Moringa oleifera and its bio-coagulation kinetic modeling—A sustainable approach to treat the wastewater. *Heliyon*, v. 8, n. 9, p. e10447, 2022.

VIGNESHWARAN, S. et al. Optimization of sustainable chitosan/Moringa. oleifera as coagulant aid for the treatment of synthetic turbid water—A systemic study. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, v. 2, p. 132-140, 2020.