

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DAS LICENCIATURAS INTERDISCIPLINARES
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS/QUÍMICA

FRANCELINE SILVA DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA SEMENTE DE *MORINGA OLEIFERA* COMO
COAGULANTE NATURAL NO TRATAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS**

São Bernardo - MA

2026

FRANCELINE SILVA DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA SEMENTE DE *MORINGA OLEIFERA* COMO
COAGULANTE NATURAL NO TRATAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso à banca examinadora do Curso de Licenciatura em Ciências Naturais/Química, da Universidade Federal Do Maranhão como requisito final para a obtenção do grau de Licencianda em Ciências Naturais com habilitação em Química.

Orientadora: Dr^a. Maria do Socorro Evangelista Garreto

São Bernardo - MA

2026

Araújo, Franceline Silva de Sousa.

Avaliação da eficiência da semente de moringa oleífera como coagulante natural no tratamento de águas superficiais / Franceline Silva de Sousa Araújo. - 2026. 43 f.

Orientador(a): Maria do Socorro Evangelista Garreto.
Curso de Ciências Naturais - Química, Universidade Federal do Maranhão, Ufma - São Bernardo, 2026.

1. Moringa Oleifera. 2. Tratamento de Água. 3. Coagulante Natural. 4. Turbidez. 5. Sustentabilidade. I. Garreto, Maria do Socorro Evangelista. II. Título.

FRANCELINE SILVA DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA SEMENTE DE *MORINGA OLEIFERA* COMO
COAGULANTE NATURAL NO TRATAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso à banca examinadora do Curso de Licenciatura em Ciências Naturais/Química, da Universidade Federal Do Maranhão como requisito final para a obtenção do grau de Licencianda em Ciências Naturais com habilitação em Química.

Orientadora: Dr^a. Maria do Socorro Evangelista Garreto

Aprovado em: 07/07/2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MARIA DO SOCORRO EVANGELISTA GARRETO**
Data: 09/07/2026 14:49:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr^a. Maria do Socorro Evangelista Garreto (orientadora)
Universidade Federal do Maranhão – CCNQ CCSB

Documento assinado digitalmente
 **JOSBERG SILVA RODRIGUES**
Data: 09/07/2026 15:36:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Josberg Silva Rodrigues
Universidade Federal do Maranhão – CCNQ CCSB

Documento assinado digitalmente
 **ROSA MARIA PIMENTEL CANTANHEDE**
Data: 09/07/2026 20:09:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr^a. Rosa Maria Pimentel Cantanhede
Universidade Federal do Maranhão – CCNQ CCSB

AGRADECIMENTOS

Concluir esta etapa representa a realização de um sonho construído com muito esforço, dedicação e perseverança. Ao longo dessa trajetória, contei com o apoio, incentivo e carinho de pessoas especiais, sem as quais este momento não seria possível. Por isso, expresso aqui a minha mais profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste sonho.

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter sido meu refúgio e minha fortaleza nos momentos de dificuldade, concedendo-me saúde, sabedoria, coragem e determinação para seguir em frente e vencer cada desafio encontrado ao longo desta caminhada acadêmica.

Aos meus familiares, expresso minha sincera gratidão pelo apoio, compreensão e incentivo ao longo desta caminhada. Em especial, aos meus dois filhos, Maria Sophia e Miguel Neto, que são minha maior força e inspiração diária. Foi por eles e com o amor deles que encontrei coragem para enfrentar os desafios, superar os momentos difíceis e seguir firme em busca deste sonho. Cada conquista alcançada nesta trajetória também pertence a vocês, que dão sentido e motivação à minha vida.

À Universidade Federal do Maranhão (UFMA), em especial ao Centro de Ciências de São Bernardo, expresso minha sincera gratidão por proporcionar uma formação acadêmica de qualidade, oferecendo o ambiente, a estrutura e as oportunidades que contribuíram significativamente para meu crescimento pessoal, científico e profissional.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Maria do Socorro Evangelista Garreto, expresso minha sincera gratidão pela dedicação, paciência e compromisso demonstrados ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Obrigada pelos ensinamentos compartilhados, pelas orientações precisas, pelo incentivo constante e pela confiança depositada em mim durante toda esta trajetória acadêmica. Sua contribuição foi fundamental para a concretização desta pesquisa e para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos professores do curso de Ciências Naturais/Química, agradeço pelos conhecimentos compartilhados, pela dedicação ao ensino, pelo incentivo constante e pela importante contribuição para minha formação acadêmica e profissional. Cada ensinamento, orientação e exemplo foram fundamentais para a construção desta trajetória, fortalecendo meu compromisso com a ciência, a pesquisa e a educação.

À Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA), agradeço pelo incentivo e pela colaboração prestada durante a realização desta pesquisa. Em especial, à Regional, na pessoa do gerente Denis Monteiro, pela disponibilidade, confiança e apoio ao ceder o laboratório para o desenvolvimento das análises necessárias a este estudo. Ao químico

Rodrigo Lima, expresso minha profunda gratidão por todo o suporte técnico oferecido, pela prontidão em esclarecer dúvidas, pela paciência e pelos conhecimentos compartilhados ao longo desta pesquisa. Sua contribuição foi essencial para a realização das análises e para o êxito deste trabalho.

Aos meus amigos Kethy, Alex, Marcelo, Felipe e Valter, deixo registrada minha profunda gratidão pelo companheirismo, incentivo e apoio ao longo desta caminhada. A amizade de vocês tornou esta trajetória mais leve e significativa. Obrigada pelas palavras de encorajamento nos momentos de insegurança, pela compreensão diante das ausências e por celebrarem comigo cada pequena conquista. Ter pessoas tão especiais ao meu lado foi fundamental para que eu mantivesse a determinação necessária para chegar até aqui.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso. Esta conquista representa não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas também a confirmação de que a persistência, a fé e o apoio das pessoas que amamos tornam possível a realização dos nossos sonhos.

A todos, o meu mais sincero, muito obrigada!

RESUMO

A qualidade da água destinada ao consumo humano constitui um dos principais desafios relacionados à saúde pública e à sustentabilidade ambiental, especialmente em regiões com limitações de infraestrutura para o tratamento de água. Nesse contexto, a utilização de coagulantes naturais surge como alternativa aos coagulantes químicos convencionais, destacando-se a *Moringa oleifera* devido ao seu baixo custo, fácil obtenção e potencial de remoção de impurezas. O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da semente de *Moringa oleifera* como coagulante natural no tratamento de águas superficiais, comparando seu desempenho com o sulfato de alumínio. A pesquisa caracteriza-se como experimental, de abordagem quantitativa e caráter comparativo, sendo realizada no laboratório da Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA), localizado na Estação de Tratamento de Água de Itamacaoca, no município de Chapadinha (MA). Foram coletadas amostras de água dos rios Parnaíba, Munim e da reserva de Itamacaoca, submetidas a ensaios de coagulação, floculação e decantação em equipamento Jar Test. O extrato de *Moringa oleifera* foi preparado em três concentrações (0,05; 0,10 e 0,15 g/mL), aplicadas em diferentes dosagens, sendo avaliados os parâmetros de turbidez, cor aparente e pH antes e após os tratamentos. Os resultados demonstraram que a *Moringa oleifera* apresentou elevada eficiência na remoção da turbidez e da cor aparente, principalmente nas amostras com maior turbidez inicial, alcançando percentuais de remoção próximos aos obtidos com o sulfato de alumínio. Observou-se ainda que o coagulante natural promoveu menor alteração do pH da água tratada, constituindo importante vantagem operacional. A solução preparada com concentração de 0,10 g/mL apresentou o melhor desempenho global, enquanto concentrações mais elevadas evidenciaram a ocorrência de superdosagem em algumas condições experimentais. Conclui-se que a *Moringa oleifera* apresenta potencial para aplicação como coagulante natural no tratamento de águas superficiais, configurando-se como alternativa sustentável, de baixo custo e ambientalmente favorável para complementar ou substituir parcialmente coagulantes químicos convencionais, especialmente em comunidades com acesso limitado a tecnologias de tratamento de água.

Palavras-chave: *Moringa oleifera*. Tratamento de água. Coagulante natural. Turbidez. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The quality of water intended for human consumption is a major challenge regarding public health and environmental sustainability, particularly in regions with limited water treatment infrastructure. In this context, the use of natural coagulants emerges as an alternative to conventional chemical coagulants; *Moringa oleifera* stands out due to its low cost, ease of acquisition, and potential for impurity removal. This study aimed to evaluate the efficiency of *Moringa oleifera* seeds as a natural coagulant for surface water treatment, comparing their performance with that of aluminum sulfate. The research was experimental in nature, employing a quantitative and comparative approach, and was conducted at the laboratory of the Maranhão Environmental Sanitation Company (CAEMA), located at the Itamacaoca Water Treatment Plant in the municipality of Chapadinha (MA). Water samples were collected from the Parnaíba and Munim rivers and the Itamacaoca reservoir and subjected to coagulation, flocculation, and sedimentation tests using Jar Test equipment. *Moringa oleifera* extract was prepared at three concentrations (0.05, 0.10, and 0.15 g/mL) and applied at various dosages; turbidity, apparent color, and pH parameters were evaluated before and after treatment. The results demonstrated that *Moringa oleifera* was highly efficient at removing turbidity and apparent color—especially in samples with higher initial turbidity—achieving removal rates comparable to those obtained with aluminum sulfate. It was also observed that the natural coagulant caused less alteration to the treated water's pH, representing a significant operational advantage. The solution prepared at a concentration of 0.10 g/mL showed the best overall performance, whereas higher concentrations indicated overdosing under certain experimental conditions. It is concluded that *Moringa oleifera* shows potential for use as a natural coagulant in surface water treatment, representing a sustainable, low-cost, and environmentally favorable alternative to complement or partially replace conventional chemical coagulants, especially in communities with limited access to water treatment technologies.

Keywords: *Moringa oleifera*, Water treatment, Natural coagulante, Turbidity, Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fluxograma 1 – Forma simplificada das etapas do tratamento convencional da água.....	16
Figura 1 – Equipamentos utilizados nas análises físico-químicas da água.....	24
Figura 2 – Equipamento Jar Test utilizado nos ensaios experimentais.....	25
Figura 3 – Etapas do preparo das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	26
Equação 1 – Concentração da solução.....	27
Tabela 1 – Concentração das soluções de <i>Moringa oleifera</i>	27
Equação 2 – Cálculo da eficiência de remoção da turbidez	28
Tabela 2 – Comparação geral das amostras	28
Tabela 3 – Delineamento experimental dos ensaios com extrato de <i>Moringa oleifera</i>	29
Tabela 4 – Resultados da primeira etapa experimental	30
Tabela 5 – Resultados da segunda etapa experimental	32
Tabela 6 – Resultados da terceira etapa experimental	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1 Recursos Hídricos e Sustentabilidade.....	14
2.2 Parâmetros de Qualidade da Água	15
2.3 Tratamento Convencional da Água	17
2.4 Coagulantes Naturais no Tratamento de Água	19
2.5 Caracterização da <i>Moringa oleífera</i>	20
2.6 Mecanismo de Coagulação da <i>Moringa oleífera</i>	21
2.7 Estudos Científicos sobre o Uso da <i>Moringa oleífera</i> no Tratamento de Água	22
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 Análises Físico-Químicas	26
3.2 Coleta das Amostras de Água.....	28
3.3 Tratamento da água com sulfato de alumínio	28
3.4 Tratamento com <i>Moringa Oleífera</i>	28
3.5 Cálculo da Concentração das Soluções de Moringa.....	29
3.6 Cálculo da Eficiência de Remoção da Turbidez	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 Caracterização das Amostras	30
4.2 Etapas Experimentais	31
4.2.1 Primeira Etapa Experimental – Solução com 10 g de <i>Moringa oleífera</i>	32
4.2.2 Segunda Etapa Experimental – Solução com 20 g de <i>Moringa oleífera</i>	34
4.2.3 Terceira etapa Experimental – Solução com 30 g de <i>Moringa oleífera</i>	36
4.3 Análise Comparativa das Etapas Experimentais	37
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a manutenção da vida e para o desenvolvimento das atividades humanas, sendo indispensável para o consumo, higiene, agricultura e processos industriais. Entretanto, a crescente degradação dos recursos hídricos, associada ao aumento populacional, à urbanização e à poluição ambiental, tem intensificado os desafios relacionados ao acesso à água potável em diversas regiões do mundo, especialmente em comunidades com infraestrutura limitada de saneamento básico. Conforme destaca Costa (2012), embora a água seja um recurso abundante em escala global, sua distribuição ocorre de forma desigual entre as diferentes regiões do planeta. Essa disparidade faz com que determinadas áreas enfrentem situações de escassez hídrica, especialmente quando a demanda supera a disponibilidade natural dos recursos. Nesse contexto, garantir a qualidade da água destinada ao consumo humano torna-se uma questão de saúde pública e de sustentabilidade ambiental.

A qualidade da água está diretamente relacionada a parâmetros físicos, químicos e biológicos, entre os quais se destaca a turbidez, que corresponde à presença de partículas suspensas, como argila, matéria orgânica, microrganismos e outros contaminantes. Altos níveis de turbidez comprometem não apenas o aspecto visual da água, mas também a eficiência dos processos de desinfecção, podendo favorecer a sobrevivência de microrganismos patogênicos. Dessa forma, a remoção da turbidez constitui uma etapa fundamental no tratamento de água, sendo comumente realizada por meio dos processos de coagulação, floculação e decantação.

Tradicionalmente, as estações de tratamento de água utilizam coagulantes químicos, como o sulfato de alumínio e o cloreto férrico, devido à sua elevada eficiência na remoção de partículas coloidais. No entanto, apesar de eficazes, esses compostos podem gerar impactos ambientais, como a produção de lodo químico, além de apresentarem custos elevados de aquisição e possíveis implicações à saúde quando utilizados de forma inadequada. Segundo Amagloh e Benang (2009), a dependência de coagulantes químicos convencionais, como os sais de alumínio e ferro, por vezes pode torna-se um obstáculo para a universalização do tratamento de água em países em desenvolvimento, isso devido aos elevados custos de aquisição e à necessidade de importação desses produtos. Sendo assim, os coagulantes naturais é uma alternativa promissora, especialmente em comunidades rurais e regiões com infraestrutura limitada. A *Moringa oleifera* destaca-se entre essas alternativas por apresentar baixo custo de obtenção, facilidade de cultivo e potencial eficiência na remoção de impurezas da água, contribuindo para o acesso a tecnologias de tratamento mais sustentáveis e

economicamente viáveis. Além disso, o uso contínuo desses produtos químicos pode não ser viável em regiões rurais ou em locais com escassez de recursos tecnológicos e financeiros, reforçando a necessidade de alternativas sustentáveis, acessíveis e ambientalmente seguras para o tratamento de água.

Nesse cenário, o uso de coagulantes naturais tem se destacado como uma alternativa promissora, sobretudo por apresentar baixo custo, fácil obtenção e menor impacto ambiental. Dentre as opções naturais investigadas pela comunidade científica, destaca-se a *Moringa oleífera*, uma planta de origem tropical amplamente conhecida por suas propriedades nutricionais, medicinais e tecnológicas. As sementes dessa planta possuem proteínas catiônicas solúveis em água, capazes de neutralizar as cargas negativas das partículas coloidais presentes na água turva, promovendo a coagulação, a formação de flocos e, conseqüentemente, a sedimentação das impurezas.

Estudos científicos apontam que o extrato das sementes de moringa apresenta significativa eficiência na redução da turbidez da água, sendo considerado um coagulante natural eficaz e sustentável. Além disso, sua utilização se mostra especialmente relevante em comunidades rurais e regiões em desenvolvimento, onde o acesso a sistemas convencionais de tratamento de água é limitado. Dessa forma, a aplicação da moringa como tecnologia social pode contribuir para a melhoria da qualidade da água de forma simples, econômica e ambientalmente responsável.

Diante dessa problemática, surge o seguinte questionamento: a semente de *Moringa oleífera* apresenta eficiência comparável aos coagulantes químicos tradicionais na remoção da turbidez da água? A partir dessa questão norteadora, formulam-se as hipóteses de que a aplicação do extrato de moringa é capaz de reduzir significativamente a turbidez da água e de que concentrações intermediárias do extrato podem apresentar maior eficiência no processo de coagulação.

A relevância deste estudo justifica-se pela necessidade de desenvolvimento de métodos alternativos e sustentáveis para o tratamento de água, especialmente em contextos onde há limitação de recursos financeiros e tecnológicos. Além disso, a investigação contribui para o avanço do conhecimento científico sobre o uso de coagulantes naturais, promovendo práticas ambientalmente adequadas e socialmente acessíveis. Assim, o uso da moringa pode representar uma solução viável para o tratamento simplificado da água, reduzindo impactos ambientais e ampliando o acesso à água de melhor qualidade.

Nesse sentido, o objetivo geral desta pesquisa é avaliar a eficiência da semente de *Moringa Oleífera* como coagulante natural no tratamento de água. Como objetivos específicos,

pretende-se preparar o extrato da semente, aplicar diferentes concentrações no teste de coagulação (Jar Test), analisar a redução da turbidez das amostras e comparar os resultados obtidos com dados disponíveis na literatura científica, a fim de verificar sua viabilidade como alternativa aos coagulantes químicos convencionais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Recursos Hídricos e Sustentabilidade

Os recursos hídricos desempenham papel fundamental para a manutenção da vida, para o equilíbrio dos ecossistemas e para o desenvolvimento das atividades humanas. A água é um recurso natural indispensável, utilizado para consumo, higiene, produção de alimentos, atividades industriais e geração de energia, sendo considerada um elemento essencial para a sobrevivência dos seres vivos e para a qualidade de vida da população. Nesse contexto, a sustentabilidade dos recursos hídricos refere-se ao uso consciente, à preservação das fontes de água e à adoção de práticas que garantam sua disponibilidade em quantidade e qualidade adequadas para as presentes e futuras gerações. Para Costa (2012) “As fontes hídricas são abundantes, porém mal distribuídas na superfície do planeta. Em algumas áreas, as retiradas são bem maiores que a oferta, causando um desequilíbrio nos recursos hídricos disponíveis (Costa, 2012, p.69). Nesse contexto, a sustentabilidade dos recursos hídricos deve abranger o uso consciente, à preservação das fontes de água e à adoção de práticas que garantam sua disponibilidade em quantidade e qualidade adequadas para as presentes e futuras gerações. A importância da água para a vida é indiscutível, uma vez que todos os organismos vivos dependem diretamente desse recurso para a realização de funções biológicas essenciais. No ser humano, a água atua no transporte de nutrientes, na regulação da temperatura corporal, na eliminação de substâncias tóxicas e na manutenção das reações metabólicas.

De acordo De Angelis (2001), a água é fundamental para a vida, sendo indispensável para o funcionamento adequado do organismo e para a garantia da qualidade de vida. Além disso, a água também é indispensável para a manutenção dos ecossistemas, assegurando a sobrevivência da fauna e da flora e contribuindo para o equilíbrio ambiental. No âmbito social, o acesso à água potável está diretamente relacionado à saúde pública, pois a ausência de água tratada favorece a ocorrência de doenças de veiculação hídrica, evidenciando a necessidade de investimentos em saneamento básico e em tecnologias eficientes de tratamento de água.

Apesar de sua relevância, a disponibilidade de água potável é limitada. Embora o planeta possua grande quantidade de água, a maior parte é salgada e imprópria para consumo humano, sendo que apenas uma pequena fração corresponde à água doce acessível em rios, lagos e aquíferos. A escassez de água potável tem se intensificado nas últimas décadas em decorrência do crescimento populacional, da urbanização desordenada, das mudanças climáticas e do uso inadequado dos recursos hídricos. Além disso, a distribuição desigual da água entre as regiões

agrava ainda mais essa problemática, resultando em dificuldades de acesso à água de qualidade, especialmente em comunidades rurais e áreas com infraestrutura limitada de saneamento.

Santos. R. (2022) discorre que:

Somada a precariedade do saneamento tem-se ainda o problema da degradação da qualidade da água, tanto dos mananciais superficiais como subterrâneos, ao longo do tempo o que vem demandando cuidados cada vez mais específicos no tratamento dessas águas. No entanto, em comunidades rurais e/ou em tradicionais o tratamento muitas vezes é negligenciado, necessitando da aplicação de novas tecnologias que garantam o fornecimento de água segura, e por sua vez, minimizando os riscos sanitários envolvidos.(Santos, 2022,p.12)

A crise hídrica não está relacionada apenas à disponibilidade natural de água, mas também à sua distribuição desigual e à forma como os recursos são geridos. Conforme destaca Costa (2012), embora as fontes hídricas sejam abundantes, sua distribuição ocorre de maneira irregular, o que provoca desequilíbrios no acesso e na disponibilidade de água em diferentes regiões. Outro fator que compromete a sustentabilidade dos recursos hídricos é a poluição das fontes de água, considerada um dos principais problemas ambientais da atualidade. O lançamento de esgoto doméstico sem tratamento, resíduos industriais, agrotóxicos, fertilizantes e outros poluentes nos corpos d'água provoca a degradação da qualidade da água, tornando-a imprópria para consumo e prejudicial aos ecossistemas aquáticos. A contaminação hídrica contribui para o aumento da turbidez, a presença de microrganismos patogênicos e a alteração das características físico-químicas da água, dificultando os processos de tratamento e elevando os riscos à saúde humana.

Dessa forma, a preservação dos recursos hídricos e a adoção de práticas sustentáveis tornam-se essenciais para garantir o acesso à água potável e a manutenção do equilíbrio ambiental. Nesse cenário, destaca-se a necessidade de desenvolvimento de tecnologias alternativas, sustentáveis e de baixo custo para o tratamento da água, capazes de reduzir impactos ambientais e ampliar o acesso à água de qualidade, especialmente em regiões com escassez de recursos tecnológicos e financeiros.

2.2 Parâmetros de Qualidade da Água

A qualidade da água é determinada por um conjunto de parâmetros físicos, químicos e biológicos que indicam suas condições e sua adequação para diferentes usos, especialmente para o consumo humano. Para Queiroz et al., 2010 O monitoramento da qualidade da água é apontado como etapa inicial essencial para uma gestão eficiente dos recursos hídricos. O monitoramento desses parâmetros é essencial para garantir a segurança sanitária, prevenir

doenças de veiculação hídrica e assegurar que a água atenda aos padrões estabelecidos pelos órgãos reguladores. Entre os principais indicadores de qualidade destacam-se a cor, o odor, o sabor, o pH, a presença de substâncias químicas, microrganismos e, sobretudo, a turbidez, que representa um dos parâmetros físicos mais relevantes no controle da potabilidade da água.

Nesse contexto, a água potável pode ser definida como aquela que apresenta características físicas, químicas e microbiológicas dentro dos limites aceitáveis para o consumo humano, não oferecendo riscos à saúde. Para ser considerada própria para ingestão, a água deve estar livre de microrganismos patogênicos, substâncias tóxicas e contaminantes em concentrações prejudiciais ao organismo, além de possuir aparência, odor e sabor adequados. A garantia da potabilidade depende, em grande parte, da eficiência dos processos de tratamento, especialmente quando a água é proveniente de fontes superficiais, como rios e lagos, que estão mais suscetíveis à poluição e à presença de partículas em suspensão.

Dentre os parâmetros físicos de qualidade, a turbidez se destaca por estar diretamente relacionada à presença de partículas suspensas na água, como argila, silte, matéria orgânica, algas, microrganismos e outros resíduos. Essas partículas reduzem a transparência da água e dificultam a passagem da luz, tornando-a visualmente turva. Vieira(2015) discorre que:

A turbidez das águas é causada pela dispersão dos raios luminosos devido à presença de partículas em suspensão, tais como: silte, partículas coloidais, microrganismos, óleo emulsificado, etc. A zona produtiva dos corpos d'água é quase idêntica à profundidade de visibilidade da mesma. A presença de sólidos em suspensão, e consequentemente de turbidez, modifica as condições de iluminação das águas e o alcance da radiação luminosa, influenciando na fotossíntese e no crescimento das plantas aquáticas e do plâncton, especialmente em águas paradas ou com baixa velocidade de escoamento. A presença de turbidez elevada na água bruta dos mananciais utilizados como fonte de água para abastecimento resulta em um consumo elevado de reagentes na etapa de floculação/sedimentação durante o tratamento da água nas ETA's, encarecendo o processo e o custo da água para o consumidor final.(Vieira, 2015,p.2019)

A turbidez pode ter origem natural, decorrente de processos como erosão do solo e decomposição de matéria orgânica, ou antrópica, associada ao lançamento de esgoto, resíduos industriais, atividades agrícolas e descarte inadequado de poluentes nos corpos hídricos. Dessa forma, elevados níveis de turbidez indicam possível comprometimento da qualidade da água e a necessidade de tratamento adequado antes do consumo.

Além de afetar o aspecto visual da água, a turbidez exerce impactos significativos tanto na saúde humana quanto nos processos de tratamento. Do ponto de vista sanitário, as partículas

suspensas podem servir como abrigo para microrganismos patogênicos, protegendo-os da ação dos desinfetantes utilizados no tratamento, como o cloro. Isso aumenta o risco de sobrevivência de agentes causadores de doenças, como bactérias, vírus e protozoários, favorecendo a ocorrência de enfermidades de veiculação hídrica. No que se refere ao tratamento, altos níveis de turbidez reduzem a eficiência das etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração, exigindo maior dosagem de coagulantes químicos e elevando os custos operacionais, além de aumentar a produção de resíduos.

Diante disso, o controle dos parâmetros de qualidade da água, especialmente da turbidez, é fundamental para garantir a eficiência do tratamento e a segurança do abastecimento. A remoção das partículas suspensas torna-se uma etapa indispensável para a obtenção de água potável, reforçando a importância do desenvolvimento e da aplicação de métodos eficazes e sustentáveis de tratamento que contribuam para a melhoria da qualidade da água e para a proteção da saúde pública.

2.3 Tratamento Convencional da Água

O tratamento convencional da água consiste em um conjunto de processos físico-químicos aplicados com o objetivo de torná-la adequada para o consumo humano. Esse sistema é amplamente utilizado em estações de tratamento de água (ETAs) e visa a remoção de partículas em suspensão, impurezas, microrganismos e substâncias potencialmente prejudiciais à saúde. O processo ocorre de forma sequencial, sendo composto por etapas interdependentes que garantem a melhoria progressiva da qualidade da água. Inicialmente, ocorre a etapa de coagulação, na qual são adicionados coagulantes químicos à água bruta. Esses produtos têm a função de neutralizar as cargas elétricas das partículas em suspensão, permitindo que elas se aproximem e iniciem o processo de agregação. Em seguida, ocorre a floculação, caracterizada por uma agitação lenta e controlada da água, que favorece a formação de flocos maiores e mais densos a partir das partículas desestabilizadas. Esses flocos são fundamentais para as etapas seguintes do tratamento.

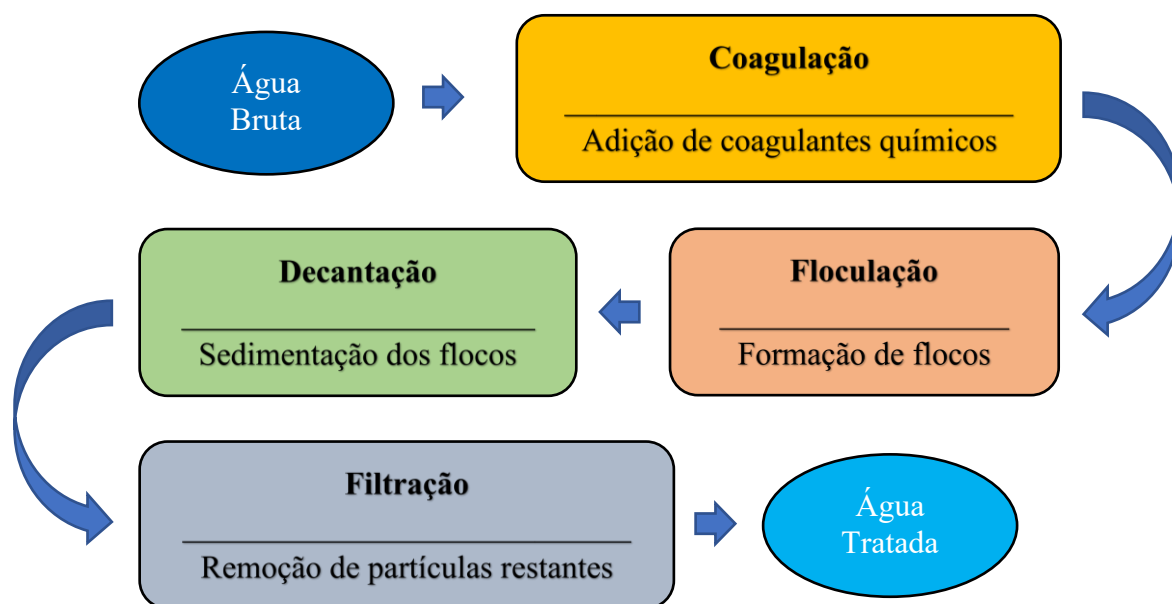
Posteriormente, realiza-se a decantação, processo em que os flocos formados se sedimentam no fundo dos tanques devido à ação da gravidade, promovendo a separação entre a fase sólida e a fase líquida. A água clarificada segue então para a etapa de filtração, na qual passa por filtros compostos por materiais como areia e carvão, responsáveis por reter partículas menores que não foram removidas anteriormente. Essa etapa contribui significativamente para a melhoria da qualidade final da água. No tratamento convencional, destaca-se o uso de coagulantes químicos, sendo o sulfato de alumínio um dos mais empregados devido à sua alta eficiência na remoção de turbidez e matéria orgânica. Esse composto atua neutralizando as

cargas das partículas, favorecendo a formação de flocos. Outro coagulante bastante utilizado é o cloreto férrico, que apresenta bom desempenho, especialmente em águas com maior carga orgânica, além de atuar em uma faixa de pH mais ampla, o que o torna uma alternativa viável em diferentes condições operacionais.

Entretanto, apesar de sua eficiência, o uso de coagulantes químicos pode gerar impactos ambientais e operacionais relevantes. Um dos principais problemas é a geração de lodo químico, resultante da sedimentação dos flocos, o qual necessita de tratamento e disposição adequada para evitar a contaminação ambiental. Além disso, o uso inadequado ou em excesso desses produtos pode ocasionar a presença de resíduos químicos na água tratada, representando possíveis riscos à saúde humana. Outro aspecto importante refere-se aos custos operacionais, que envolvem a aquisição dos produtos químicos, manutenção dos sistemas e o gerenciamento dos resíduos gerados, podendo impactar significativamente a viabilidade econômica do processo.

Macedo (2007) comenta um ponto muito importante sobre a necessidade da atenção para um ponto central no tratamento de água: a limitação da sedimentação simples. O autor menciona que, sozinha, essa etapa não consegue remover de forma eficiente todas as impurezas presentes na água, principalmente aquelas partículas muito pequenas e estáveis, como os coloides. O aspecto que Macedo(2007) pontua mais é a necessidade da coagulação como etapa complementar. Ele explica que os coagulantes reagem com a alcalinidade da água e formam compostos com carga positiva, Macedo evidencia o princípio químico envolvido: a neutralização de cargas. Como os coloides geralmente possuem carga negativa e permanecem dispersos, eles não sedimentam facilmente. A ação dos coagulantes permite que essas partículas se aglutinem. Macedo(2007) ainda pontua que o uso de coagulantes nas Estações de Tratamento de Água (ETAs), é uma etapa é indispensável para sistemas de abastecimento seguros. O processo de tratamento convencional da água envolve diferentes fases interdependentes. A organização dessas etapas pode ser observada no Fluxograma 1.

Fluxograma 1: Forma simplificada das etapas do tratamento convencional da água.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

2.4 Coagulantes Naturais no Tratamento de Água

Os coagulantes naturais são substâncias de origem vegetal, animal ou mineral utilizadas no tratamento de água com a finalidade de promover a coagulação e a floculação de partículas suspensas. Esse processo ocorre por meio da neutralização das cargas elétricas das impurezas presentes na água, facilitando sua aglomeração e posterior remoção. Diferentemente dos coagulantes químicos convencionais, como o sulfato de alumínio, os coagulantes naturais são obtidos a partir de recursos renováveis, como sementes, cascas de árvores e biopolímeros. Entre os exemplos mais conhecidos, destacam-se a *Moringa oleifera*, os taninos vegetais e a quitosana, que apresentam propriedades eficazes na clarificação da água. Sobre a *Moringa*:

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. (Mesquita, 2024, p.18)

Os taninos vegetais também se destacam como coagulantes naturais amplamente utilizados no tratamento de água, especialmente por suas propriedades eficazes na remoção de partículas em suspensão e na redução da turbidez. Para Mesquita(20007), os taninos vegetais são moléculas extraíveis de diferentes partes das plantas, como cascas, sementes, tecidos, raízes e folhas. Esses compostos naturais destacam-se por sua ampla ocorrência no reino vegetal e por

suas propriedades químicas, que possibilitam diversas aplicações, especialmente em processos industriais e ambientais.

Já a quitosana é um biopolímero natural obtido a partir da desacetilação da quitina, substância encontrada principalmente nas carapaças de crustáceos, como camarões e caranguejos. No contexto do tratamento de água, a quitosana ele atua como agente coagulante e floculante, que promove a neutralização de cargas e a aglomeração de partículas em suspensão, formando flocos maiores que podem ser facilmente removidos por sedimentação ou filtração.

A utilização desses coagulantes apresenta importantes vantagens ambientais e econômicas. Do ponto de vista ambiental, são biodegradáveis e, em geral, não geram resíduos tóxicos, reduzindo os impactos negativos ao meio ambiente e evitando a introdução de substâncias potencialmente nocivas na água tratada. Além disso, contribuem para a diminuição da dependência de insumos químicos industriais. Sob o aspecto econômico, os coagulantes naturais podem ser produzidos localmente, especialmente em regiões que dispõem dos recursos necessários, o que reduz custos com aquisição e transporte. Essa característica os torna uma alternativa viável e acessível, principalmente para comunidades de baixa renda.

Nesse contexto, os coagulantes naturais têm ampla aplicação em tecnologias sociais voltadas ao tratamento de água. Essas tecnologias são caracterizadas por soluções simples, de baixo custo e de fácil implementação, desenvolvidas para atender às necessidades de populações em situação de vulnerabilidade. O uso de materiais como a *Moringa Oleífera* em sistemas alternativos de purificação da água permite que comunidades tenham maior autonomia no acesso à água de qualidade. Além disso, essas práticas contribuem para a promoção da saúde pública, ao reduzir a incidência de doenças de veiculação hídrica, e fortalecem a sustentabilidade ao valorizar recursos locais e práticas ambientalmente responsáveis. Dessa forma, os coagulantes naturais se consolidam como uma alternativa promissora e eficiente no tratamento de água, especialmente em contextos onde soluções convencionais são limitadas.

2.5 Caracterização da *Moringa oleífera*

A *Moringa oleífera* é uma planta amplamente estudada devido às suas diversas aplicações, especialmente no tratamento de água, alimentação e medicina tradicional. De acordo com Mesquita (2024), trata-se de uma espécie que apresenta grande adaptabilidade a diferentes condições climáticas, sendo cultivada principalmente em regiões tropicais e subtropicais. Suas características botânicas, composição química e propriedades físico-químicas tornam suas sementes particularmente relevantes como coagulante natural, destacando-se como uma alternativa sustentável e eficiente no processo de clarificação da água.

Originária do norte da Índia, a *Moringa oleifera* pertence à família Moringaceae e é conhecida por seu rápido crescimento e resistência à seca. É uma árvore de pequeno a médio porte, podendo atingir até cerca de 10 metros de altura, com folhas compostas, flores brancas e frutos em forma de vagens alongadas. Para o Referido autor “Assim, a moringa é utilizada na coagulação através do extrato de sua semente, que tem em sua polpa uma proteína com propriedades coagulantes.”(Mesquita,2024, p.18) As sementes, que são a principal parte utilizada no tratamento de água, apresentam formato arredondado, coloração clara a escura e são envoltas por uma casca rígida. Essas características botânicas contribuem para sua fácil identificação e cultivo em diferentes regiões do mundo, inclusive no Brasil.

No que se refere à composição química, as sementes da *Moringa oleifera* são ricas em proteínas, lipídios e carboidratos, além de conterem compostos bioativos responsáveis por sua ação coagulante. Destacam-se as proteínas catiônicas solúveis em água, que possuem carga positiva e atuam na neutralização das partículas coloidais presentes na água, facilitando o processo de coagulação e floculação. Além disso, as sementes contêm minerais, vitaminas e ácidos graxos, que ampliam seu potencial de uso em diferentes áreas, embora seja no tratamento de água que seu papel se torna mais relevante no contexto ambiental.

As propriedades físico-químicas das sementes de *Moringa oleifera* estão diretamente relacionadas à sua eficácia como coagulante natural. Entre essas propriedades, destacam-se a capacidade de redução da turbidez, a eficiência na remoção de partículas suspensas e microrganismos, além de sua atuação em uma ampla faixa de pH, o que favorece sua aplicação em diferentes condições de tratamento. Outro aspecto importante é a baixa geração de lodo e a biodegradabilidade dos resíduos produzidos, o que reforça seu caráter sustentável. Dessa forma, a *Moringa oleifera* apresenta características que a tornam uma alternativa viável e promissora para o tratamento de água, especialmente em contextos que demandam soluções acessíveis e ambientalmente adequadas.

2.6 Mecanismo de Coagulação da *Moringa oleifera*

O mecanismo de coagulação promovido pela *Moringa oleifera* está diretamente relacionado à presença de compostos ativos em suas sementes, especialmente proteínas de natureza catiônica. Essas substâncias desempenham papel fundamental no tratamento de água, atuando na remoção de partículas suspensas e na melhoria da qualidade da água. O processo envolve etapas interligadas, como a ação das proteínas, a neutralização das cargas das partículas coloidais e, posteriormente, a formação de flocos que se sedimentam, permitindo a clarificação da água.

De acordo com Lima (2015) As proteínas catiônicas presentes nas sementes da *Moringa oleifera* são os principais agentes responsáveis pela coagulação. Essas proteínas possuem carga elétrica positiva, o que lhes permite interagir com partículas coloidais geralmente carregadas negativamente, como argilas, matéria orgânica e microrganismos. Ao serem adicionadas à água, essas proteínas se dissolvem e passam a atuar como agentes coagulantes naturais, promovendo a desestabilização das partículas em suspensão.

A neutralização de partículas coloidais ocorre quando as proteínas catiônicas reduzem ou anulam as cargas elétricas dessas partículas, que normalmente se repelem devido à semelhança de cargas. Com a diminuição dessa repulsão eletrostática, as partículas tornam-se instáveis e passam a se aproximar umas das outras. Esse fenômeno é essencial para o início do processo de coagulação, pois possibilita a agregação das partículas que anteriormente permaneciam dispersas na água.

Após a neutralização das cargas, inicia-se o processo de floculação, no qual as partículas desestabilizadas se agrupam formando flocos maiores e mais densos. Esses flocos são visíveis a olho nu e, com o aumento de seu tamanho e peso, tendem a se depositar no fundo do recipiente por ação da gravidade, caracterizando a etapa de sedimentação. Esse conjunto de processos resulta na redução da turbidez e na remoção de impurezas da água. Assim, o uso da *Moringa oleifera* como coagulante natural demonstra eficiência e simplicidade, sendo uma alternativa viável para sistemas de tratamento de água, especialmente em contextos de baixo custo e acesso limitado a tecnologias convencionais.

2.7 Estudos Científicos sobre o Uso da *Moringa oleifera* no Tratamento de Água

Diversos estudos científicos têm investigado o uso da *Moringa oleifera* como coagulante natural no tratamento de água, o que evidencia seu potencial como alternativa sustentável aos coagulantes químicos convencionais. Essas pesquisas abrangem tanto o contexto nacional quanto internacional, analisando aspectos como eficiência na redução da turbidez, remoção de microrganismos e comparação com substâncias químicas amplamente utilizadas, como o sulfato de alumínio.

Dentre as pesquisas prévias que foram pesquisas afim de entender o que já se tinha pesquisado sobre a *Moringa* destaca-se o trabalho intitulado: “Uso da Moringa Oleífera Como Coagulante no Tratamento de água: revisão da literatura” De Santos, R. L. (2022) trata-se de uma pesquisa que buscou, por meio de pesquisas em estudos científicos, apresentar uma alternativa sustentável para o tratamento de água, utilizando a *moringa* como coagulante natural, destacando suas vantagens em relação aos coagulantes químicos tradicionais. De acordo com levantamentos bibliográficos, o uso de coagulantes derivados das sementes de

Moringa oleifera mostra-se viável para simplificar o tratamento de água, sendo um procedimento de baixo custo que não envolve a utilização de produtos químicos comumente presentes em coagulantes tradicionais.

Além disso, por se tratar de uma planta que pode ser cultivada localmente, sua utilização torna-se ainda mais acessível, especialmente para comunidades que dependem de cisternas e outras fontes alternativas de abastecimento. O uso de coagulantes naturais apresenta grande relevância ecológica e ambiental, contribuindo para a sustentabilidade dos processos de tratamento de água.

Medeiros em seu trabalho intitulado: "Uso da *Moringa oleifera* como coagulante natural no tratamento de águas superficiais." (2023). Também Avaliou a eficiência da utilização de sementes de *Moringa oleifera* como agente coagulante no processo de clarificação de água, visando à remoção de cor e turbidez. Como resultado ela concluiu que a *Moringa oleifera* apresenta de fato, um elevado potencial para aplicação no tratamento de águas superficiais, podendo atuar como alternativa ao sulfato de alumínio, especialmente em contextos de baixo custo e fácil aplicação. Sua utilização é particularmente promissora em sistemas de tratamento doméstico, beneficiando comunidades com acesso limitado ao abastecimento público de água. Contudo, para aplicação em larga escala, como em Estações de Tratamento de Água (ETA), ainda são necessários estudos mais aprofundados.

No âmbito das pesquisas nacionais, estudos têm destacado o uso da *Moringa oleifera* principalmente em contextos de tratamento de água. Essas pesquisas enfatizam a viabilidade do uso das sementes como coagulante natural de baixo custo, além de sua eficiência na redução de turbidez e melhoria da qualidade microbiológica da água. Além disso, investigações nacionais frequentemente abordam a adaptação dessa tecnologia às condições locais, considerando fatores como disponibilidade da planta, simplicidade de aplicação e impacto social.

Em relação às pesquisas internacionais, há uma ampla produção científica que avalia a eficiência da *Moringa oleifera* em diferentes tipos de água, como águas superficiais, residuais e industriais. Estudos laboratoriais e experimentais demonstram que o extrato das sementes pode alcançar elevados níveis de remoção de turbidez e contaminantes.

A pesquisa intitulada: "Characterization of the scientific production of *Moringa oleifera* Lam. for the period 2013-2023" trata sobre a produção científica sobre *Moringa oleifera* que tem apresentado crescimento significativo em nível mundial. No contexto do México, foram identificados 168 documentos científicos, o que coloca o país na décima posição global em pesquisas sobre a moringa. Desse total, 118 correspondem a produções individuais e 50 resultam de colaborações internacionais, especialmente com países como Estados Unidos,

Espanha, Egito, Itália, Equador e Paquistão, evidenciando o caráter cooperativo das investigações nessa área. Além disso, foram registradas 1.886 citações, com média de 11,22 por publicação, indicando um impacto relevante desses estudos. No entanto, os autores ressaltam que a análise foi limitada à base de dados Scopus, o que pode restringir uma compreensão mais ampla da produção científica existente no país.

A moringa possui alta produção científica mundial devido aos múltiplos benefícios que oferece para a nutrição e saúde humana. A contribuição científica sobre a moringa nos últimos anos, destaca sua importância econômica e ecológica para a criação de sistemas agroalimentares sustentáveis. As análises bibliométricas ajudam a mapear as tendências de pesquisa e servem como base para o desenvolvimento de pesquisas com alto grau de relevância. (Ruiz-Hernández et al., 2025, p. 82, tradução própria).

As pesquisas recentes têm se concentrado principalmente em estudos descritivos, caracterização físico-química e análise de metabólitos secundários, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre a espécie. Ademais, áreas emergentes, como as ciências ômicas, tendem a ampliar ainda mais a compreensão sobre as propriedades e aplicações da moringa. De modo geral, conclui-se que a elevada produção científica relacionada à *Moringa oleifera* está associada aos seus benefícios nutricionais, medicinais e ambientais, destacando sua importância para o desenvolvimento de sistemas agroalimentares sustentáveis, além de evidenciar o papel dos estudos bibliométricos na identificação de tendências e no direcionamento de futuras pesquisas. Diversas pesquisas apontam que a remoção de turbidez pode alcançar níveis elevados em condições adequadas de tratamento. No entanto, a eficiência desse processo pode variar de acordo com fatores como a concentração do coagulante utilizado, o pH da água e o tempo de sedimentação.

No que se refere à redução da turbidez, a literatura científica apresenta resultados bastante positivos. A *Moringa oleifera* tem demonstrado grande potencial na remoção de partículas suspensas, matéria orgânica e até microrganismos presentes na água. Sua eficiência está diretamente relacionada às condições de aplicação e às características da água tratada, podendo apresentar desempenho significativo quando utilizada de forma adequada. Além disso, há evidências de que seu uso pode contribuir para alcançar padrões satisfatórios de qualidade da água.

Quando comparada aos coagulantes químicos, como o sulfato de alumínio, a *Moringa oleifera* apresenta tanto vantagens quanto limitações. Em alguns casos, os coagulantes químicos

ainda se destacam pela alta eficiência em determinadas condições. Por outro lado, a *Moringa oleifera* pode apresentar resultados semelhantes, especialmente quando aplicada em condições adequadas, além de demonstrar bom desempenho na remoção de microrganismos. Outro aspecto relevante é que os coagulantes naturais tendem a não alterar significativamente o pH da água e não geram resíduos tóxicos, diferentemente de alguns coagulantes químicos, que podem causar impactos ambientais e à saúde.

Dessa forma, os estudos científicos evidenciam que a *Moringa oleifera* é uma alternativa eficaz e sustentável para o tratamento de água, especialmente em regiões com acesso a tecnologias convencionais. Embora ainda existam desafios relacionados à padronização de dosagens e condições de uso, os resultados apontam para um grande potencial de aplicação dessa planta em sistemas de tratamento de água, tanto em escala local quanto em contextos mais amplos.

3 METODOLOGIA

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa caracteriza-se como experimental, de abordagem quantitativa e caráter comparativo. Esse tipo de delineamento é amplamente utilizado em estudos de tratamento de água, pois permite avaliar, de forma controlada, a eficiência de diferentes substâncias coagulantes a partir da mensuração de parâmetros físico-químicos, como turbidez, cor e pH.

Esta pesquisa foi desenvolvida no laboratório de análises da Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA), localizado na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Itamacaoca, no município de Chapadinha (MA). O ambiente laboratorial apresenta condições adequadas para a realização de análises físico-químicas, permitindo o controle das variáveis experimentais e garantindo maior confiabilidade aos resultados.

Os procedimentos experimentais, bem como as análises físico-químicas realizadas neste estudo, seguiram as metodologias adotadas pela Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA). Todas as etapas foram executadas sob a orientação de um técnico da companhia, garantindo a aplicação adequada dos procedimentos e a confiabilidade dos resultados obtidos.

Os experimentos foram realizados ao longo de três dias distintos, estratégia que possibilita a verificação da reprodutibilidade dos resultados, princípio fundamental em pesquisas experimentais, além de minimizar possíveis interferências ocasionais.

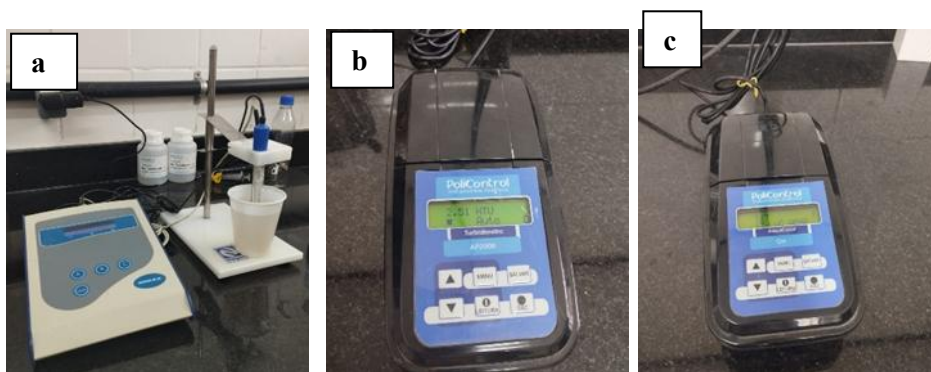
Para a realização das análises, foram utilizados equipamentos previamente calibrados, garantindo a precisão das medições, conforme recomendado em análises laboratoriais.

3.1 Análises Físico-Químicas

i. Análise de pH, Turbidez e Cor Aparente

A determinação do pH, turbidez e a cor aparente foram analisadas por meio de pHmetro, turbidímetro e colorímetro, respectivamente, conforme ilustrado na Figura 1 a, b e c. Tais parâmetros são amplamente utilizados como indicadores da qualidade da água, sendo essenciais na avaliação da eficiência de processos de coagulação, seguindo as metodologias padronizadas para a determinação de pH, turbidez e cor aparente, parâmetros físico-químicos essenciais para a caracterização da qualidade da água e para a avaliação da eficiência dos processos de tratamento.

Figura 1: Imagens do a) pHmetro utilizado para medição de pH; b) Turbidímetro utilizado para medição de turbidez; c) Colorímetro utilizado para medição de cor aparente.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

ii. Ensaios de Coagulação, Floculação e Decantação

Os ensaios de coagulação, floculação e decantação foram realizados por meio do equipamento Jar Test, conforme ilustrado na Figura 2, técnica amplamente empregada em estudos de tratabilidade de água por permitir a simulação, em escala laboratorial, das condições operacionais de estações de tratamento. Esse método possibilita a determinação das dosagens ótimas de coagulantes e a avaliação de sua eficiência na remoção de impurezas.

Em cada dia experimental, foram realizados seis ensaios, correspondentes às três amostras de água analisadas, com dois tratamentos para cada uma: sulfato de alumínio e extrato de *Moringa oleifera*.

Os experimentos foram organizados em três dias, variando-se a concentração do coagulante natural, mantendo-se constantes os demais parâmetros. Esse delineamento permitiu analisar a influência da concentração na eficiência do tratamento, além de possibilitar a comparação direta com o coagulante químico

Inicialmente, volumes de 2L das amostras de água foram adicionados nos jarros, sendo posteriormente adicionadas diferentes dosagens de 1,5ml, 2ml e 2,5ml dos coagulantes avaliados. A etapa de coagulação foi conduzida sob agitação rápida, a aproximadamente 120 rpm durante 2 minutos, favorecendo a dispersão do coagulante e a desestabilização das partículas coloidais. Em seguida, realizou-se a floculação, com agitação lenta de 40 rpm por 15 minutos, promovendo a formação de flocos maiores e mais densos. Posteriormente, as amostras permaneceram em repouso por 30 minutos para a etapa de decantação, permitindo a sedimentação dos flocos formados.

Após a conclusão do processo, foram avaliados os parâmetros de pH, turbidez e cor aparente, além de realizadas observações visuais das amostras, com o objetivo de verificar a eficiência dos coagulantes empregados.

Figura 2: Imagem do Equipamento Jar Test utilizado nos ensaios de coagulação, floculação e decantação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3.2 Coleta das Amostras de Água

As amostras foram coletadas em três diferentes corpos hídricos: Rio Parnaíba, Rio Munim e reserva de Itamacaoca, todos localizados na região de Chapadinha (MA).

A escolha de diferentes pontos de coleta fundamenta-se na necessidade de avaliar o desempenho do coagulante em águas com características distintas, uma vez que parâmetros como turbidez, matéria orgânica e carga de partículas influenciam diretamente a eficiência do processo de coagulação.

As amostras foram coletadas em recipientes previamente higienizados, devidamente identificados e transportados ao laboratório em condições adequadas, evitando contaminações externas. Ressalta-se que as amostras foram utilizadas sem tratamento prévio, com o objetivo de simular condições reais de aplicação, conforme recomendado em estudos de tratabilidade.

3.3 Tratamento da água com sulfato de alumínio

Para o tratamento das amostras de água com sulfato de alumínio, foram aplicadas dosagens de 1,5 mL, 2,0 mL e 2,5 mL de sulfato de alumínio líquido 50% isento de ferro em 2L de água das amostras. Os ensaios foram realizados nas três etapas experimentais, a fim de possibilitar a comparação dos resultados obtidos com aqueles provenientes do tratamento utilizando o extrato de *Moringa oleifera*. Da mesma forma, a etapa de coagulação foi realizada sob agitação rápida de 120 rpm durante 2 minutos, seguida da floculação a 40 rpm por 15 minutos. Posteriormente, as amostras permaneceram em repouso por 30 minutos para decantação. Ao final do processo, foram analisados os parâmetros de pH, turbidez e cor aparente.

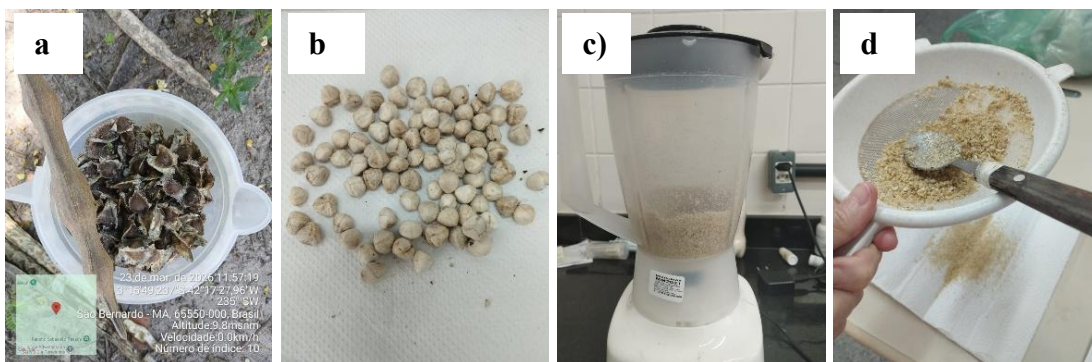
3.4 Tratamento com *Moringa Oleífera*

Coleta e Preparação da *Moringa oleifera*

As sementes de *Moringa oleifera* foram coletadas no povoado Porteirinha, zona rural do município de São Bernardo (MA), sendo selecionadas aquelas em bom estado de conservação.

Após a coleta, as sementes passaram por processo de descascamento, trituração utilizando um liquidificador e peneiramento, conforme ilustrado na Figura 3 de a à d, visando à obtenção de um pó fino e homogêneo. Esse procedimento é amplamente descrito por Paterniani et al. (2009; 2010), uma vez que a redução do tamanho das partículas aumenta a área de contato e favorece a extração das proteínas coagulantes.

Figura 3:Imagens das etapas de a) Coleta e seleção; b) Descascamento; c) Trituração; d) Peneiração



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Foram preparadas soluções com diferentes concentrações (10 g, 20 g e 30 g em 200 mL de água destilada), submetidas à agitação para extração dos compostos ativos. Posteriormente, as soluções foram filtradas, resultando em extratos aquosos utilizados como coagulante natural.

A utilização de diferentes concentrações fundamenta-se na necessidade de avaliar a influência da dosagem na eficiência do processo, uma vez que a coagulação depende diretamente da quantidade de agente coagulante disponível para neutralizar as cargas das partículas em suspensão.

3.5 Cálculo da Concentração das Soluções de Moringa

Para o preparo das soluções, diferentes massas do pó das sementes (10 g, 20 g e 30 g) foram diluídas em 200 ml de água destilada. A concentração de cada solução foi determinada a partir da Equação 01 e as concentrações obtidas para cada solução estão apresentadas na Tabela 01

Equação 01 - Concentração da solução

$$c = \frac{m}{v}$$

Onde:

C = concentração da solução (g/mL).

m = massa do pó de moringa (g).

V = volume de água destilada utilizado no preparo (mL).

Tabela 01 – Concentração das soluções de *Moringa oleifera*.

Solução	Massa de moringa (g)	Volume (ml)	Concentração (g/ml)
---------	----------------------	-------------	---------------------

Solução 1	10	200	0,05
Solução 2	20	200	0,10
Solução 3	30	200	0,15

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3.6 Cálculo da Eficiência de Remoção da Turbidez

A eficiência de remoção da turbidez foi utilizada como parâmetro para avaliar o desempenho do coagulante natural nos ensaios realizados. O cálculo foi efetuado comparando-se os valores de turbidez antes e após o tratamento. A eficiência de remoção foi calculada por meio da Equação 02.

Equação 02 - Cálculo da eficiência de remoção da turbidez.

$$Eficiência (\%) = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100$$

Onde:

T_i = turbidez inicial da água bruta (NTU);

T_f = turbidez final após o tratamento (NTU);

Eficiência (%) = percentual de remoção da turbidez.

O mesmo procedimento foi aplicado a todos os tratamentos avaliados durante as três etapas experimentais, possibilitando a comparação do desempenho das diferentes concentrações e dosagens do coagulante natural na redução da turbidez das amostras analisadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização das Amostras

As amostras de água analisadas dos três mananciais, permitiu avaliar águas com diferentes condições ambientais e, conseqüentemente, distintos comportamentos nos parâmetros físico-químicos analisados, conforme tabela 02.

Tabela 02 - Comparação geral das amostras

Manancial	Origem das amostras
Rio Parnaíba	Água superficial de grande porte, sujeita à influência sazonal das chuvas e do transporte de sedimentos.
Rio Munim	Água superficial que drena áreas rurais e urbanas da bacia do Munim.
Rio Itamacaoca	Água superficial de menor porte, representativa das condições ambientais locais.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

As diferenças entre os mananciais estão principalmente relacionadas ao aporte de sedimentos, matéria orgânica e às condições hidrológicas de cada bacia. O Rio Parnaíba, por ser um rio de maior porte, tende a apresentar maior variabilidade sazonal de turbidez. O Rio Munim, influenciado por áreas de ocupação humana e drenagem superficial, pode apresentar valores mais elevados de turbidez e cor aparente em eventos de chuva. Já o Rio Itamacaoca, de menor porte, apresenta características mais fortemente controladas pelas condições locais e pela presença de matéria orgânica natural.

Essas diferenças são relevantes para a interpretação da tratabilidade da água, pois influenciam diretamente a eficiência dos processos de coagulação, floculação e decantação. Em geral, águas com maior turbidez e cor aparente demandam maior atenção na definição da dosagem de coagulantes, enquanto variações de pH podem afetar o desempenho dos reagentes utilizados no tratamento.

4.2 Etapas Experimentais

Os ensaios experimentais foram conduzidos em caráter exploratório, com o objetivo de avaliar a eficiência do extrato de sementes de *Moringa oleifera* como coagulante natural no tratamento de água. Para a preparação do coagulante, foram elaboradas soluções nas concentrações de 0,05 g/mL, 0,10 g/mL e 0,15 g/mL. Para cada concentração, foram aplicadas dosagens de 1,5 mL, 2,0 mL e 2,5 mL do extrato.

Cada jarro do equipamento Jar Test recebeu 2 L de água bruta. A partir do volume de água e das dosagens aplicadas, foi determinada a concentração final de coagulante na amostra, expressa em g/mL, permitindo estabelecer a relação entre a quantidade de extrato adicionada e o volume de água submetido ao tratamento.

Inicialmente, foram avaliadas diferentes combinações entre as concentrações das soluções de *Moringa oleifera* e as dosagens aplicadas, visando identificar as condições que proporcionassem maior eficiência no processo de coagulação/floculação da água bruta. As concentrações finais de coagulante na amostra variaram de 0,0000375 g/mL a 0,0001875 g/mL, conforme apresentado na Tabela 03.

Tabela 03 – Delineamento experimental dos ensaios com extrato de moringa.

Etapa	Concentração da solução (g/mL)	Dosagem aplicada (mL)	Concentração na amostra (g/mL)
1	0,05	1,5	0,0000375
1	0,05	2	0,0000500
1	0,05	2,5	0,0000625
2	0,10	1,5	0,0000750

2	0,10	2	0,0001000
2	0,10	2,5	0,0001250
3	0,15	1,5	0,0001125
3	0,15	2	0,0001500
3	0,15	2,5	0,0001875

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.2.1 Primeira Etapa Experimental – Solução com 10 g de *Moringa oleifera*

A primeira etapa experimental foi realizada utilizando solução preparada com 10 g de sementes de *Moringa oleifera*, correspondendo à concentração de 0,05 g/mL e concentração final na amostra variando de 0,000375 a 0,0000625 g/ml, conforme dosagem. Os resultados das análises estão apresentados na tabela 04.

Tabela 04 – Resultados da primeira etapa experimental.

RIO PARNAÍBA					
Tratamento	Dosagem	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	pH	Eficiência (%)
Água bruta	-	858	98,3	5,82	-
Moringa	1,5ml	370,5	18,0	5,43	81,69
Moringa	2ml	39,5	5,54	5,95	94,36
Moringa	2,5ml	25,6	2,25	5,34	97,71
Sulfato	1,5ml	354,5	15,0	3,47	84,74
Sulfato	2ml	36,76	4,34	3,54	95,58
Sulfato	2,5ml	22,3	3,21	3,45	96,73
RESERVA DE ITAMACAOCA					
Tratamento	Dosagem	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	pH	Eficiência (%)
Água bruta	-	13,8	2,16	5,63	-
Moringa	1,5ml	83,9	1,77	5,34	18,05
Moringa	2ml	2,6	1,56	5,43	27,77
Moringa	2,5ml	4,2	0,76	5,42	64,81
Sulfato	1,5ml	2,9	2,3	3,73	6,48
Sulfato	2,0ml	2,3	1,45	3,24	32,87
Sulfato	2,5ml	4,2	0,65	3,26	69,90
RIO MUNIM					
Tratamento	Dosagem	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	pH	Eficiência (%)
Água bruta	-	890	57,8	5,78	-
Moringa	1,5ml	500	15,8	5,64	72,66
Moringa	2ml	450	14,9	5,43	74,22
Moringa	2,5ml	320	11,5	3,44	80,10
Sulfato	1,5ml	450	14,5	3,43	74,91
Sulfato	2ml	342	12,5	3,24	78,37
Sulfato	2,5ml	260	9,87	3,44	82,92

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Para a água do Rio Parnaíba, que apresentou turbidez inicial de 98,3 NTU e cor aparente de 858 uH, verificou-se elevada eficiência de remoção da turbidez tanto para a moringa quanto para o sulfato de alumínio. A melhor resposta da moringa foi observada na dosagem de 2,5 mL,

reduzindo a turbidez para 2,25 NTU e alcançando eficiência de 97,71%. O sulfato de alumínio apresentou eficiência ligeiramente inferior nessa condição específica, atingindo 96,73%.

Os resultados demonstram que a *Moringa oleifera* apresentou desempenho extremamente satisfatório em águas com elevada concentração de partículas suspensas. Nessas condições, as proteínas catiônicas presentes nas sementes promovem a neutralização das cargas superficiais dos coloides, favorecendo a agregação das partículas e a formação de flocos sedimentáveis. Nesse contexto, Santos (2022, p.20) destaca que:

A purificação da água com sementes de Moringa tem demonstrado ter implicações positivas como baixo custo, coagulante eficaz, sobre os tratamentos químicos tradicionais e constitui a alternativa mais importante e viável. Quando as sementes são secas, descascadas, trituradas e adicionadas à água, elas agem como um coagulante para ligar partículas coloidais, formar flocos e depois assentar a decantação. (Santos, 2022,p.20)

Esse comportamento está relacionado ao mecanismo de coagulação da moringa, baseado na ação de proteínas de carga positiva que neutralizam as partículas coloidais suspensas na água. Como resultado, ocorre a formação de flocos maiores e mais densos, os quais sedimentam com maior facilidade, promovendo a redução da turbidez e a melhoria da qualidade da água tratada.

Além da expressiva remoção da turbidez, observou-se importante diferença entre os tratamentos quanto ao comportamento do pH. Enquanto as amostras tratadas com moringa apresentaram valores entre 5,34 e 5,95, próximos ao pH da água bruta (5,82), o sulfato de alumínio promoveu acidificação significativa, reduzindo o pH para valores entre 3,45 e 3,54. Isso ocorre porque o sulfato libera íons H^+ durante sua hidrólise, reduzindo o pH do meio. Essa acidificação é considerada uma desvantagem, pois pode aumentar a corrosividade da água e exigir correção posterior do pH com produtos químicos. Já a manutenção do pH pelas sementes de moringa é vista como um aspecto positivo, por reduzir a necessidade de ajustes adicionais e preservar melhor as características naturais da água.

Conforme o trabalho de GhebreMichael (2004) como coagulantes químicos convencionais, a *Moringa oleifera* tem inúmeras vantagens, destacando-se a ausência da necessidade de ajustes de pH e alcalinidade, a redução de problemas relacionados à corrosão, o baixo custo de aplicação, a manutenção das características químicas da água tratada e a produção de menor volume de lodo.

Na água proveniente da reserva de Itamacaoca, cuja turbidez inicial foi de apenas 2,16 NTU, os resultados apresentaram comportamento distinto. A melhor eficiência da moringa ocorreu na dosagem de 2,5 mL, atingindo 64,81% de remoção da turbidez. O sulfato de alumínio apresentou eficiência de 69,90%, também na dosagem de 2,5 mL.

A menor eficiência observada nessa amostra pode ser explicada pela baixa concentração de partículas suspensas disponíveis para a formação de flocos. Em águas de baixa turbidez, o processo de coagulação tende a ser menos eficiente devido à reduzida frequência de colisões entre partículas durante as etapas de mistura e floculação. Para Lopes (2020):

As etapas de coagulação e floculação, que ocorrem antes da sedimentação e da FAD, afetam diretamente o desempenho das unidades de separação subsequentes no tratamento de água. Por essa razão, é fundamental avaliar as condições de mistura e as características dos flocos para a escolha adequada da etapa subsequente e, assim, melhorar a eficiência de remoção. (Lopes, 2020, p.568)

Segundo Lopes (2020), as etapas de coagulação e floculação influenciam diretamente a eficiência das unidades de separação subsequentes, sendo a formação e as características dos flocos fatores determinantes para o sucesso do tratamento.

Para a água do Rio Munim, cuja turbidez inicial foi de 57,8 NTU, a moringa apresentou eficiência máxima de 80,10% na dosagem de 2,5 mL. O sulfato de alumínio alcançou eficiência de 82,92%, demonstrando desempenho apenas ligeiramente superior. Os resultados são considerados satisfatórios indicando que, mesmo utilizando a menor concentração da solução coagulante, a moringa apresentou capacidade significativa de remoção da turbidez evidenciando o potencial da moringa como coagulante natural, devido à sua elevada eficiência na redução da turbidez.

4.2.2 Segunda Etapa Experimental – Solução com 20 g de *Moringa oleifera*

A segunda etapa experimental foi conduzida utilizando solução preparada com 20 g de sementes de *Moringa oleifera*, correspondendo à concentração de 0,10 g/mL e concentração final na amostra variando de 0,000750 à 0,0001250 g/ml, conforme dosagem. Os resultados obtidos nas análises encontram-se apresentados na Tabela 05.

Tabela 05 – Resultados da segunda etapa experimental.

RIO PARNAÍBA					
Tratamento	Dosagem	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	pH	Eficiência (%)
Água bruta	-	280	74,4	4,37	-
Moringa	1,5ml	55,4	3,6	6,11	95,16
Moringa	2ml	39,3	2,59	6,39	96,52

Moringa	2,5ml	24	1,62	6,52	97,82
Sulfato	1,5ml	8,8	1,76	3,82	97,63
Sulfato	2ml	7,76	0,96	3,60	98,71
Sulfato	2,5ml	7,3	0,55	3,47	99,26
RESERVA DE ITAMACAOCA					
Tratamento	Dosagem	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	pH	Eficiencia (%)
Água bruta	-	24,03	2,43	4,38	-
Moringa	1,5ml	14,3	1,81	6,35	25,51
Moringa	2ml	11,8	1,28	6,09	47,33
Moringa	2,5ml	9,05	1,35	5,89	44,44
Sulfato	1,5ml	19,4	2,6	3,40	6,99
Sulfato	2ml	8,4	1,20	3,28	50,62
Sulfato	2,5ml	6,1	0,85	3,29	65,02
RIO MUNIM					
Tratamento	Dosagem	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	pH	Eficiencia (%)
Água bruta	-	280	18,9	5,78	-
Moringa	1,5ml	61,1	3,65	4,12	80,69
Moringa	2ml	34,4	2,74	4,14	85,50
Moringa	2,5ml	38,1	3,19	4,23	83,12
Sulfato	1,5ml	37,9	2,47	3,29	86,93
Sulfato	2ml	32	1,90	3,12	89,95
Sulfato	2,5ml	36	2,29	3,00	87,88

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Na água do Rio Parnaíba, a *Moringa oleifera* apresentou elevadas eficiências de remoção de turbidez em todas as dosagens avaliadas. Os resultados variaram de 95,16% a 97,82%, sendo o maior valor obtido na dosagem de 2,5 mL, quando a turbidez foi reduzida de 74,4 NTU para 1,62 NTU. O sulfato de alumínio apresentou eficiências entre 97,63% e 99,26%, demonstrando desempenho superior, porém com diferenças relativamente pequenas em relação à moringa. Esses resultados evidenciam o potencial da *Moringa oleifera* para o tratamento de águas com elevada turbidez, alcançando níveis de remoção próximos aos obtidos com o coagulante químico.

Em relação ao pH, verificou-se novamente comportamento favorável da moringa. Os valores permaneceram entre 6,11 e 6,52, próximos da neutralidade, enquanto o sulfato reduziu o pH para valores inferiores a 4,0.

Para a água da Reserva de Itamacaoca, cuja turbidez inicial foi de 2,43 NTU, as eficiências obtidas com a moringa variaram entre 25,51% e 47,33%. O melhor desempenho foi observado na dosagem de 2,0 mL, enquanto a aplicação de 2,5 mL resultou em eficiência ligeiramente inferior. O sulfato de alumínio apresentou eficiências entre 6,99% e 65,02%, alcançando melhor resultado na dosagem de 2,5 mL. De modo geral, os resultados indicam que ambos os coagulantes apresentaram desempenho mais limitado nessa amostra, possivelmente

em função da baixa turbidez inicial da água, condição que reduz a disponibilidade de partículas para agregação e formação de flocos.

Para a água do Rio Munim, a *Moringa oleifera* apresentou eficiências de remoção entre 80,69% e 85,50%, sendo o melhor resultado obtido na dosagem de 2,0 mL. O sulfato de alumínio alcançou eficiências entre 86,93% e 89,95%, mantendo desempenho ligeiramente superior ao coagulante natural. Apesar dessa diferença, a moringa demonstrou elevada capacidade de remoção de turbidez, evidenciando sua eficiência no tratamento dessa água. Em relação ao pH, observou-se que os tratamentos com moringa mantiveram valores superiores aos obtidos com sulfato de alumínio, reforçando uma das principais vantagens operacionais do coagulante natural.

4.2.3 Terceira etapa Experimental – Solução com 30 g de *Moringa oleifera*

A terceira etapa experimental utilizou solução preparada com 30 g de sementes de *Moringa oleifera*, correspondendo à concentração de 0,15 g/mL. A concentração final das amostras, conforme a dosagem utilizada, variou de 0,0001125 a 0,0001875 g/mL, cujos resultados das análises são apresentados na Tabela 06.

Tabela 06 – Resultados da terceira etapa experimental.

RIO PARNAÍBA					
Tratamento	Dosagem	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	pH	Eficiencia (%)
Água bruta	-	100	20,4	7,8	-
Moringa	1,5ml	37,8	3,17	6,84	84,46
Moringa	2ml	10,3	1,47	7,03	92,79
Moringa	2,5ml	7,8	0,99	7,12	95,15
Sulfato	1,5ml	5,3	1,79	3,84	91,22
Sulfato	2ml	2,0	0,59	3,70	97,11
Sulfato	2,5ml	3,2	0,10	3,60	99,50
RESERVA DE ITAMACAOCA					
Tratamento	Dosagem	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	pH	Eficiencia (%)
Água bruta	-	19,4	2,71	6,7	-
Moringa	1,5ml	2,2	0,45	4,03	83,39
Moringa	2ml	4,7	0,48	4,50	82,29
Moringa	2,5ml	2,4	1,58	4,77	41,70
Sulfato	1,5ml	5,4	0,1	3,41	96,31
Sulfato	2ml	2,1	0,3	3,28	88,93
Sulfato	2,5ml	2,9	0,68	3,22	74,91
RIO MUNIM					
Tratamento	Dosagem	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	pH	Eficiencia (%)
Água bruta	-	100	7,47	7,63	-
Moringa	1,5ml	2,7	0,61	4,09	91,83
Moringa	2ml	34	2,29	5,03	69,34
Moringa	2,5ml	30	1,84	5,60	75,37
Sulfato	1,5ml	5,0	0,1	3,64	98,66

Sulfato	2ml	4,4	0,1	3,45	98,66
Sulfato	2,5ml	5,5	0,1	3,35	98,66

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Em relação à água do Rio Parnaíba, observou-se que a turbidez inicial de 20,4 NTU foi reduzida para 0,99 NTU na dosagem de 2,5 mL, resultando em eficiência de 95,15%. Embora o valor permaneça elevado, observou-se ligeira redução em comparação à segunda rodada experimental.

Tal comportamento sugere que, para determinadas características da água, o aumento excessivo da concentração da solução não necessariamente proporciona ganhos adicionais de eficiência, indicando a existência de uma faixa ótima de aplicação.

Na reserva de Itamacaoca, a melhor eficiência foi obtida na dosagem de 1,5 mL, alcançando 83,39%, resultado significativamente superior aos observados nas rodadas anteriores. Entretanto, na dosagem de 2,5 mL ocorreu redução acentuada da eficiência para 41,70%.

Esse resultado de acordo com Lima (2015) reforça a hipótese de superdosagem, uma vez que o excesso de material orgânico introduzido pelo extrato de moringa pode interferir na estabilidade das partículas suspensas e comprometer a formação dos flocos sedimentáveis.

Para a água do Rio Munim, a moringa apresentou seu melhor desempenho em todo o estudo, alcançando 91,83% de remoção da turbidez na dosagem de 1,5 mL. Contudo, nas dosagens subsequentes a eficiência diminuiu para 69,34% e 75,37%, respectivamente.

Essa redução evidencia novamente o efeito da superdosagem e demonstra que a eficiência da coagulação não depende exclusivamente do aumento da quantidade de coagulante aplicado, mas também do equilíbrio entre concentração da solução e características físico-químicas da água tratada.

4.3 Análise Comparativa das Etapas Experimentais

A análise integrada das três etapas experimentais demonstra que a *Moringa oleifera* possui elevado potencial para aplicação como coagulante natural no tratamento de águas superficiais.

Os resultados evidenciaram que a eficiência do processo está diretamente relacionada às características da água bruta, especialmente à turbidez inicial. As maiores eficiências foram observadas nas águas dos rios Parnaíba e Munim, que apresentaram concentrações mais elevadas de partículas suspensas. Nessas condições, a coagulação mostrou-se mais eficiente devido à maior disponibilidade de partículas para agregação e formação de flocos corroborando com os estudos de Lopes (2020) sobre a coagulação/floculação de água com turbidez.

De modo geral, verificou-se que o aumento da concentração da solução de moringa promoveu melhorias significativas na remoção da turbidez, principalmente entre a primeira e a segunda etapa experimental. Entretanto, a terceira etapa da experimentação demonstrou que concentrações mais elevadas nem sempre resultam em maior eficiência, evidenciando a existência de uma dosagem ótima para cada condição de tratamento. Neste estudo, a solução preparada com 20 g de sementes de *Moringa oleifera* (0,10 g/mL) apresentou o melhor desempenho global, por proporcionar elevadas eficiências de remoção da turbidez nos diferentes mananciais analisados, mantendo resultados mais consistentes entre as condições experimentais. Embora a solução de 30 g (0,15 g/mL) tenha alcançado maiores eficiências em algumas situações específicas, também apresentou redução do desempenho em determinadas amostras, evidenciando a ocorrência de superdosagem. Assim, a concentração de 0,10 g/mL mostrou-se a mais adequada para as condições avaliadas nesta pesquisa.

A ocorrência de superdosagem foi observada principalmente nas amostras da reserva de Itamacaoca e do Rio Munim durante a terceira etapa experimental. Segundo Lêdo (2008), esse fenômeno ocorre quando o excesso de proteínas catiônicas provenientes das sementes provoca a restabilização das partículas suspensas, reduzindo a capacidade de formação de flocos sedimentáveis.

Outro aspecto relevante refere-se à remoção da cor aparente. Em todas as fontes analisadas observou-se redução expressiva desse parâmetro após a aplicação da moringa. Os melhores resultados foram observados principalmente nas amostras do Rio Parnaíba, nas quais a cor inicial elevada foi reduzida para valores inferiores a 10 uH nas maiores concentrações da solução.

A manutenção do pH constitui uma das principais vantagens da utilização da *Moringa oleifera*. Em todas as análises, os valores de pH permaneceram próximos das condições naturais da água bruta, enquanto o sulfato de alumínio promoveu acidificação significativa, frequentemente reduzindo os valores para faixas entre 3,0 e 4,0.

Sob o ponto de vista operacional, essa característica representa importante benefício, pois reduz ou elimina a necessidade de correções posteriores do pH mediante aplicação de alcalinizantes, contribuindo para a redução de custos e para a sustentabilidade do processo de tratamento, que consiste em minimizar o uso de produtos químicos adicionais e preservar as características naturais da água tratada, tornando o processo mais eficiente e ambientalmente adequado.

Embora o sulfato de alumínio tenha apresentado as maiores eficiências absolutas de remoção da turbidez em praticamente todas as situações avaliadas, as diferenças observadas em

relação à moringa foram relativamente pequenas em diversas condições experimentais. No Rio Parnaíba, por exemplo, a moringa atingiu eficiência máxima de 97,82%, valor muito próximo dos 99,26% obtidos pelo sulfato.

Os resultados obtidos corroboram com alguns estudos apresentados na literatura. Por exemplo, os resultados obtidos por Santos W.B (2022) demonstraram que a *Moringa oleifera* apresentou potencial significativo como coagulante natural no tratamento de água. Os autores observaram a redução nos parâmetros analisados, evidenciando a eficiência das proteínas catiônicas presentes nas sementes na remoção de partículas suspensas e na formação de flocos sedimentáveis.

Mesquita (2024), em sua pesquisa com o uso da Moringa, também constatou uma redução significativa da turbidez, da cor aparente e da concentração de microrganismos presentes na água. Além disso, os agentes coagulantes naturais presentes nas sementes contribuem para a remoção de coliformes, sem provocar alterações significativas no pH da água tratada. Tais estudos atribuem à *Moringa oleifera* elevada capacidade coagulante devido à presença de proteínas catiônicas solúveis em água. Essas proteínas atuam neutralizando as cargas negativas dos coloides presentes na água, promovendo a desestabilização das partículas e favorecendo sua sedimentação.

De maneira geral, os resultados demonstram que a *Moringa oleifera* constitui alternativa tecnicamente viável para o tratamento de águas superficiais, apresentando elevada eficiência de remoção da turbidez e da cor aparente, além da vantagem de manter o pH próximo às condições naturais da água. Tais características reforçam seu potencial de aplicação em sistemas simplificados de tratamento, especialmente em comunidades rurais e localidades com acesso limitado a insumos químicos convencionais.

Considerando o conjunto dos resultados obtidos, nota-se que as soluções preparadas com 20 g e 30 g de sementes apresentaram os melhores desempenhos globais, destacando-se pela elevada eficiência de remoção da turbidez e pela estabilidade do pH. Dessa forma, a utilização da *Moringa oleifera* mostra-se uma alternativa sustentável, de baixo custo e ambientalmente favorável para complementar ou substituir parcialmente coagulantes químicos convencionais em determinadas condições de tratamento de água.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, os resultados demonstraram que a eficiência da *Moringa oleifera* variou conforme as características físico-químicas das amostras analisadas. Os maiores percentuais de

remoção foram observados nas águas com maiores níveis de turbidez inicial, especialmente nos rios Parnaíba e Munim. Embora o sulfato de alumínio tenha apresentado maior eficiência na maioria das condições avaliadas, a moringa demonstrou desempenho próximo, com a vantagem de promover menor alteração do pH da água tratada, evidenciando seu potencial como alternativa sustentável para sistemas de tratamento de água.

Foi possível avaliar a eficiência da *Moringa oleifera* na remoção da turbidez e da cor aparente das águas analisadas, verificando reduções expressivas desses parâmetros em diferentes dosagens. Também foi realizada a comparação entre a moringa e o sulfato de alumínio, constatando-se que o coagulante natural apresentou desempenho próximo ao do coagulante químico em diversas condições experimentais. Além disso, a análise do comportamento do pH demonstrou que a moringa promoveu menor alteração desse parâmetro, mantendo valores mais próximos aos da água bruta e evidenciando uma vantagem operacional em relação ao sulfato de alumínio.

Os resultados da pesquisa demonstraram a viabilidade da utilização da *Moringa oleifera* como coagulante natural no tratamento de águas superficiais, evidenciando seu potencial para melhorar a qualidade da água, especialmente na redução da turbidez e da cor aparente, além de apresentar menor impacto sobre o pH, configurando-se como uma alternativa promissora, sustentável e de baixo custo para processos de tratamento de água.

Além disso, verificou-se que a eficiência da *Moringa oleifera* esteve diretamente relacionada às características físico-químicas da água analisada e à concentração do extrato aplicado. As soluções preparadas com 20 g e 30 g de sementes apresentaram os melhores desempenhos em diferentes condições experimentais. Entretanto, observou-se que o aumento da concentração do coagulante não resultou necessariamente em maior eficiência, evidenciando a existência de uma dosagem ótima para cada tipo de água e a possível ocorrência de superdosagem em concentrações mais elevadas. Esses resultados reforçam a necessidade de otimização das condições de aplicação da moringa para maximizar seu desempenho como coagulante natural.

Por fim, recomenda-se o desenvolvimento de estudos complementares envolvendo diferentes características de águas superficiais, avaliação microbiológica, testes em escala piloto e análises de viabilidade econômica, de modo a ampliar o conhecimento sobre a aplicação da *Moringa oleifera* e contribuir para sua utilização segura e eficiente como alternativa sustentável em sistemas de tratamento de água.

REFERÊNCIAS

- AMAGLOH, F. K.; Benang, A. **Effectiveness of Moringa oleifera seed as coagulant for water purification**. African Journal of Agricultural Research, v.4, p.119-123, 2009. Disponível em: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AMAGLOH%20and%20BENANG%202009.%20Effectiveness%20of%20Moringa%20oleifera%20seed%20as%20coagulant%20for%20water%20purification.pdf. Acesso em 12.jun.2026.
- AUAD, Priscila. **Composição química de taninos vegetais, curtimento e propriedades nos couros**. 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/185808/001075606.pdf>. Acesso em: 17.abr.2026.
- COSTA, André Felipe Sosnierz et al. **Recursos hídricos**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE, v. 1, n. 1, p. 67-73, 2012. Disponível em: <https://periodicosgrupotiradentes.emnuvens.com.br/cadernoexatas/article/view/201>. Acesso em: 03 març.2026.
- DA SILVA, Fernando José Araújo; DE MATOS, José Everardo Xavier. **Sobre dispersões de moringa oleifera para tratamento de água**. Revista Tecnologia, v. 29, n. 2, 2008. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/30/4487>. Acesso em: 19.març.2026.
- DE ANGELIS, Franceschi; DE ANGELIS, Derlene Attili. **Importância da água para a vida e garantia de manutenção da sua qualidade**. 2001. Disponível em: <https://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2016/10-importancia-da-agua-para-a-vida-e-garantia-de-manutencao-da-sua-qualidade.pdf>. Acesso em: 01.abr.2026
- GHEBREMICHAEL, K. A. **Moringa seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment**. Stockolm: Department of Land and Water Resources Engineering, 2004. Thesis (PhD). Disponível em: <https://fr.ircwash.org/sites/default/files/Ghebremichael-2004-Moringa.pdf>. Acesso em 10.jun.2026.
- LÊDO, Patrícia Guilhermina da Silva. **Flotação por ar dissolvido na clarificação de águas com baixa turbidez** utilizando sulfato de alumínio e sementes de Moringa oleifera como coagulantes. 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/2cf834bb-34ee-4fcd-a2a0-6a267d0038d4/content>. Acesso em: 14.jun.2026.
- LIMA, Niedja Maria de et al. **Aplicação da Moringa oleífera no tratamento de água com turbidez**. 2015. Disponível em: <https://tede2.unicap.br/server/api/core/bitstreams/1310983f-059a-4767-bae6-e916d9110830/content>. Acesso em 25.jun.2026.
- LOPES, Verônica dos Santos et al. **Estudo da coagulação/floculação de água com turbidez moderada na sedimentação e flotação por ar dissolvido**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, p. 567-572, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/cFRHmKKj6cNbnmzqr5rvpFJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 11.jun.2026.

MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas**. 3º Ed. Minas Gerais: CRQ – MG, 2007. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/539120398/Agua-e-Aguas-Macedo>. Acesso em: 19.abri.2026.

MESQUITA, Gabrielle Sanches Lima. **Otimização do uso de coagulantes naturais no tratamento de águas turvas provenientes de drenagem de mineração**. 2024. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/7117/3/MONOGRAFIA_Otimiza%C3%A7%C3%A3oUsoCoagulantes.pdf. Acesso em: 19.abr.2026.

PATERNIANI, J. E. S.; Mantovani, M. C.; Sant’Anna, M. R. **Uso de sementes de Moringa oleifera para tratamento de águas superficiais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, p.765-771, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/LBXqwXC5xQvhdXjxd65M3mz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 12.junh.2026.

PATERNIANI, J. E. S.; Ribeiro, T. A. P.; Mantovani, M. C.; Sant’Anna, M. R. Water treatment by sedimentation and slow fabric filtration using Moringa oleifera seeds. African Journal of Agricultural Research, v.5, p.1256-1263, 2010. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/295680605_Water_treatment_by_sedimentation_and_slow_fabric_filtration_using_Moringa_oleifera_seeds. Acesso em 12 junh.2026

PEREIRA, Ana Clara et al. **Água potável e saneamento**: uma análise focada em assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável de água potável e saneamento para todos no Brasil. Disponível em: https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/39134/1/administracao_2024_2_ana_clara_pereira_agua_potavel_e_saneamento_uma_analise_focada_em_assegurar_a_disponibilidade_e_a_gestao_sustentavel_de_agua_potavel_e_saneamento_para_todos_no_brasil.pdf. Acesso em: 02.abr.2026.

QUEIROZ MMF, Iost C, Gomes SD, Vilas Boas MA. **Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável 2010; 5(4): 200-210. Disponível em: file:///C:/Users/sergi/Downloads/Dialnet-InfluenciaDoUsoDoSoloNaQualidadeDaAguaDeUmaMicroba-7459665.pdf Acesso em: 05.fev.2026

SANTOS, Whelton Brito dos et al. **Análise da eficiência da solução alternativa coletiva de tratamento de água (SALTA-z) para a potabilidade aplicada ao semiárido brasileiro**. 2022. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/27162/3/WHELTON%20BRITO%20DOS%20SANTOS%20e%2080%93%20TESE%20PPGEGRN%202022.pdf>. Acesso em: 19.abr.2026.

SANTOS, Rafael Leite dos. **Uso da moringa oleífera como coagulante no tratamento de água**: revisão da literatura. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/033d5854-0458-4a54-8609-6eafc86b0830/content>. <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/033d5854-0458-4a54-8609-6eafc86b0830/content>. Acesso em: 19.abr.2026.

VIEIRA, Maurrem Ramon. **Os principais parâmetros monitorados pelas sondas multiparâmetros são: pH, condutividade, temperatura, turbidez, clorofila ou cianobactérias e oxigênio dissolvido.** Agência Nacional das Aguas–ANA-2015. Disponível em:

https://www.agsolve.com.br/news_upload/file/Parametros%20da%20Qualidade%20da%20Aguas.pdf. Acesso em: 02.abr.2026.

Hernández, Rafael Ruiz, et al. "Characterization of the scientific production on *Moringa oleifera* Lam. for the period 2013–2023." *Agro Productividad* (2025). Disponível em:

<file:///C:/Users/sergi/Downloads/con-8-3.pdf>. Acesso em 20.abr.2026.