



Potencial de uso da *Moringa oleifera* Lam. como coagulante alternativo no tratamento de água do lago dos americanos em Boa vista, Roraima, Brasil

Potential use of *Moringa oleifera* Lam. as an alternative coagulant in the treatment of water from lake of americanos in Boa vista, Roraima, Brazil

DOI: <https://doi.org/10.24979/ambiente.v19i2.1508>

Submissão: 03/12/24

Aprovação: 15/07/26

Karla de Lima Machado

<https://orcid.org/0009-0003-0549-9680>

Maria do Livramento Sampaio de Almeida

<https://orcid.org/0000-0003-3560-1116>

Willian Alves Cavalcante

<https://orcid.org/0000-0002-4923-2465>

Lucilia Dias Pacobahyba

<https://orcid.org/0009-0002-5374-2422>

RESUMO

Moringa oleifera Lam., pertencente à família Moringaceae, e popularmente conhecida como Moringa é uma planta originária da Índia presente em muitos países, difundida em todo mundo devido ao seu caráter adaptativo principalmente em regiões de clima tropical, sendo tolerante a seca e crescendo em diversos tipos de solos. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de elaborar, com a moringa, testes relacionados ao seu potencial de clarificação e higienização da água bruta utilizadas do Lago dos Americanos, área de estudo localizada no bairro dos Estados, zona Norte do município de Boa Vista, Roraima, Brasil. Utilizou-se sementes frescas e armazenadas para avaliar se ambas

apresentam o mesmo potencial, com o método de macerar até obter o pó da semente da moringa associado a água coletada do lago, por meio de filtragem lenta, realizando a verificação do pH, turbidez e análise microbiológica com o kit qualiquantitativo Colipaper. Com os resultados foi possível observar que o uso do pó da moringa fresca provoca a diminuição da turbidez, estabilização do pH e higienização dela, já com as sementes armazenadas apesar de resultados positivos na higienização e pH, ela aumentou significativamente a turbidez. Os testes realizados no presente trabalho sugerem o potencial de aplicação da moringa em tecnologias alternativas no tratamento simplificado de água. No processo avaliou-se a eficiência da moringa na coagulação, floculação e sedimentação da matéria orgânica em suspensão.

Palavras-chave: Biodiversidade. Sustentabilidade. Tratamento de Água. Turbidez.

ABSTRACT

Moringa oleifera Lam., belonging to the Moringaceae family and popularly known as Moringa, is a plant native to India and found in many countries. It is widespread throughout the world due to its adaptability, especially in regions with a tropical climate, being drought tolerant and growing in different types of soil. The aim of this study was to carry out tests on moringa related to its potential for clarifying and sanitizing the raw water used in Lake of Americanos, a study area located in the neighborhood of Estados, in the northern part of the city of Boa Vista, Roraima, Brazil. Fresh and saved seeds were used to assess whether both have the same potential, using the method of macerating moringa seed powder associated with the water collected from the lake, by means of slow filtration, checking pH, turbidity and microbiological analysis with the Colipaper qualitative kit. It was observed that the use of fresh moringa powder led to a reduction in turbidity, pH stabilization and sanitization, while the use of saved seeds, despite positive results in terms of sanitization and pH, significantly increased turbidity. The tests carried out in this study suggest the potential for applying moringa in alternative technologies for simplified water treatment. The process evaluated the efficiency of moringa in coagulation, flocculation and sedimentation of suspended organized matter.

Keywords: Biodiversity. Sustainability. Turbidity. Water Treatment.

1 Introdução

O tratamento da água para o abastecimento de uma cidade deve seguir as disposições da Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, que “dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade” (Brasil, 2011).

Geralmente, no processo de tratamento de águas, utilizam-se sais de alumínio e ferro como coagulante e floculante, respectivamente. Esses compostos possuem baixo custo e são comprovadamente eficientes, porém são ambientalmente danosos. Os sais de alumínio são compostos inorgânicos e não biodegradáveis, tendo sido objeto de inúmeros estudos científicos, pois o lodo produzido durante o tratamento da água apresenta alto teor de metais pesados, sendo prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente (Pavanelli et al., 2001; Di Bernardo et al., 2008; Martins et al., 2014).

Os sais de ferro, assim como os de alumínio, são compostos inorgânicos e não biodegradáveis, apresentam caráter ácido e corrosivo, além de acentuada formação de lodo, causando graves prejuízos ao meio ambiente devido à sua utilização. Uma solução frequentemente abordada seria a utilização de compostos orgânicos em substituição aos inorgânicos (Pavanelli et al., 2001; Di Bernardo et al., 2008; Martins et al., 2014).

As principais vantagens dos coagulantes orgânicos em comparação aos inorgânicos incluem, alta disponibilidade da matéria-prima, frequentemente renovável, redução de até cinco vezes no volume de lodo gerado, lodo biodegradável, não tóxico e com maior valor nutricional, ausência de riscos à saúde humana e animal, redução de custos e de perigos nos processos de tratamento de água, e estímulo ao desenvolvimento de tecnologias ambientalmente sustentáveis (Martins et al., 2014; Rôla et al., 2016).

Apesar dessas evidências de eficácia e custo-benefício, a adoção de substitutos orgânicos por empresas de saneamento ainda é limitada por entraves à comercialização e à escala industrial. Entre os principais desafios destacam-se, a necessidade de garantir um fornecimento constante de sementes; os elevados custos dos processos de purificação para evitar o aumento da carga orgânica (DQO) na água tratada; a falta de aprovações regulatórias específicas; e a baixa aceitação de novas tecnologias por investidores acostumados aos métodos tradicionais (Saleem et al., 2019; Yamaguchi et al., 2021).

No grupo dos coagulantes e floculantes orgânicos, os taninos destacam-se como polímeros naturais de alta eficiência. Esses compostos são polifenóis encontrados em diversas partes das plantas, incluindo sementes, cascas, folhas e madeira (Saleem et al., 2019). Atuam em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre essas partículas, o que leva à formação de flocos e, conseqüentemente, à sedimentação. Os taninos não alteram o pH da água tratada. Por essas características, extratos de tanino são amplamente empregados como agentes primários ou auxiliares de coagulação no tratamento de águas residuárias (Bongiovani et al., 2010; Monaco et al., 2010; Saleem et al., 2019).

Dentre os coagulantes orgânicos, a *Moringa oleifera* Lam. destaca-se pelo seu elevado potencial na clarificação de águas e efluentes (Aboagye et al., 2020; Alam et al., 2020; Boulaadjoul et al., 2018). Embora possua uso ornamental, a espécie tem sido amplamente cultivada para outros fins devido às suas características nutricionais superiores e ao seu caráter atóxico para seres humanos e animais (Kucera e Hofmanova, 2020). A utilização de suas sementes no tratamento de água representa um tema de alto valor científico e socioeconômico, fundamentado em fatores como seu cultivo rápido, acessibilidade, abundância, biodegradabilidade e propriedades antimicrobianas comprovadas (Aboagye et al., 2021; Boulaadjoul et al., 2018; Kilinfo et al., 2022).

Conhecida popularmente como *Moringa* ou “árvore milagrosa”, a *M. oleifera* é uma planta originária da Índia, especificamente da região do Himalaia (Boulaadjoul et al., 2018; Yamaguchi et al., 2021). Atualmente, encontra-se difundida globalmente, com presença marcante em regiões de clima tropical e subtropical na África, Ásia e Américas. Sua ampla distribuição deve-se ao seu caráter adaptativo, sendo uma espécie altamente tolerante à seca e capaz de se desenvolver em diversos tipos de solos sem exigências nutricionais específicas (Fagundes-Klen et al., 2023; Valverde et al., 2018).

Pertencente à família Moringaceae, que possui apenas um único gênero e 14 espécies conhecidas. É uma planta oleaginosa, considerada uma hortaliça perene e arbórea de crescimento rápido, podendo atingir de cinco a doze metros de altura (Aboagye et al., 2021; Valverde et al., 2018).

Suas características morfológicas incluem folhas bipenadas, flores brancas perfumadas e frutos em formato de vagens triangulares pendulares e deiscentes, que medem entre 30 e 90 cm. Cada vagem contém de 10 a 20 sementes globóides e aladas, protegidas por uma casca escura e contendo em seu interior uma massa branca rica em óleo e proteínas catiônicas solúveis em água (Bazzo et al., 2021; Jesus et al., 2013a; Kucera e Hofmanova, 2020; Melo et al., 2020).

A capacidade coagulante da espécie reside nestas proteínas catiônicas de baixo peso molecular, que atuam na neutralização de cargas de coloides negativamente carregados e na formação de pontes poliméricas. Esse mecanismo permite que a moringa atue como um clarificador eficiente, reduzindo a turbidez e a carga orgânica sem alterar significativamente o pH da água tratada (Landázuri-Rojas et al., 2018; Valverde et al., 2018; Yamaguchi et al., 2021).

As sementes de *Moringa oleifera* Lam. são reconhecidas como agentes coagulantes naturais de alta eficiência, apresentando também propriedades antibacterianas e antimicrobianas fundamentais para a purificação de águas brutas e residuárias. Estudos demonstram que o uso do pó ou extrato das sementes possui um efeito higiênico significativo, sendo capaz de reduzir a carga de coliformes totais e *E. coli* em níveis que variam de 85% a mais de 90%, dependendo da dosagem aplicada e das características da amostra (Aboagye et al., 2021; Alam et al., 2020; Fagundes-Klen et al., 2023; Saleem et al., 2019).

A espécie representa uma alternativa sustentável, atóxica e biodegradável frente aos coagulantes químicos convencionais, demonstrando eficácia na remoção de turbidez, sólidos suspensos e contaminantes biológicos sem os riscos à saúde associados a resíduos metálicos. Devido à sua abundância, baixo custo e

facilidade de cultivo, a moringa constitui uma opção estratégica para processos de tratamento simplificado de água (Kucera e Hofmanova, 2020; Ravikumar e Udayakumar, 2020; Yamaguchi et al., 2021).

Considerando que o Lago dos Americanos, localizado em área urbana de Boa Vista, Roraima, é frequentemente utilizado para recreação e contato primário pela população, e que análises prévias indicam a presença de contaminantes microbiológicos (coliformes totais e *Escherichia coli*) bem como turbidez acima dos limites legais, torna-se necessária a busca por alternativas de tratamento de água de baixo custo, ambientalmente sustentáveis e de fácil aplicação, especialmente em situações de acesso restrito e pouca infraestrutura. Nesse contexto, o coagulante natural a partir das sementes de *Moringa oleifera* Lam. surge como uma estratégia promissora para o tratamento simplificado de água, por ser natural, não tóxico e potencialmente eficaz na remoção de partículas e microrganismos.

Desse modo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência do uso do coagulante natural *Moringa oleifera* Lam. para o tratamento simplificado de água bruta captada do Lago dos Americanos, em Boa Vista, Roraima, Brasil.

2 Metodologia

Para a clarificação da água com sementes de *Moringa oleifera*, o protocolo adotado baseou-se nos estudos e na metodologia propostos por Lima (2015) e Santos (2011) para o tratamento de turbidez.

2.1 Coleta

O Lago dos Americanos possui formato aproximadamente circular, com perímetro de 935,12 m, área de 64.936,85 m², dimensões de 336,95 m por 251,87 m e profundidade máxima de cerca de 1,16 m (**Figura 1**). O ponto de captação da água estudada localiza-se nesse lago, situado no Parque Anauá, Bairro dos

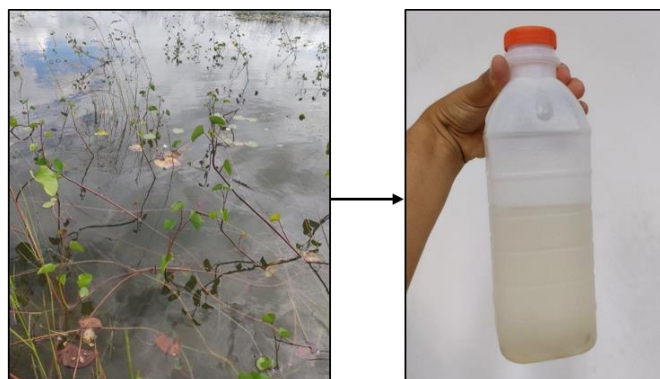
Estados (CEP 69305-150), zona Norte de Boa Vista, Roraima, nas coordenadas $2^{\circ}50'24''$ N e $60^{\circ}40'45''$ O. A coleta foi realizada em 9 de junho de 2021, utilizando-se garrafas novas de 1 L (**Figura 2**).

Figura 1 - Mapa de Localização do Lago dos Americanos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Figura 2 - (a) Lago dos Americanos; e (b) Amostra de água coletada no lago



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

O lago apresenta característica paisagística fitomórfica dos campos de Roraima, Savana regionalmente denominado de Lavrado, é perene, considerado um local de preservação com finalidade de ornamentação, porém muito utilizado por banhistas, este possui alta atividade antrópica, durante o período da estiagem (setembro à maio) o nível da água fica reduzido a menos de 1/3 da sua capacidade total, aparecendo um solo com muita lama e a presença de poucos organismos vivos, é um lago com baixo teor de nutrientes, com pouco eutrofização e definido como oligotrófico (Primeiro, 2017).

As vagens de *Moringa oleifera* foram obtidas de árvores ornamentais localizadas na Universidade Federal de Roraima (UFRR), espécie facilmente encontrada em praças da cidade e no próprio campus universitário. A UFRR está situada na Avenida Ene Garcês, 2413, Bairro Aeroporto, CEP 69310-000, zona Norte de Boa Vista, Roraima. As coletas foram realizadas manualmente em dois períodos distintos, em 9 de março de 2020 (sementes rotuladas como “armazenadas”) e em 9 de junho de 2021 (rotuladas como “frescas”). Ambas as amostras foram armazenadas em sacos plásticos identificados (Figura 3).

Figura 3 - Coleta das vagens de moringa. (a) Árvore; (b) Vagem fechada recém coletada; (c) Vagem aberta; (d) Sementes; e (e) Tegumento da semente.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

2.2 Processamento

Foram realizados dois ensaios, o primeiro, com as sementes armazenadas, estas foram mantidas em freezer já descascadas, somente a massa interna das sementes (tegumentos); e o segundo ensaio, com as sementes frescas coletadas um dia antes do experimento, ambas passaram pelo mesmo processamento, de acordo com a sequência a seguir:

1. Coletou-se manualmente as vagens e a água bruta do lago (**Figuras 2 e 3**);
2. Realizou-se o processamento das sementes, que consistiu em retirá-las da vagem e casca, ficando somente a massa branca interna, em seguida, com o auxílio de cadinho e pistilo foram maceradas até obter-se o pó, este foi armazenado em recipientes de plástico devidamente rotulados e vedados para evitar umidade (**Figura 4**);
3. Pesou-se o pó da semente de moringa em balança analítica (MARTE AL500C), separando-as em amostras de 1g, estas foram aplicadas em 1L de água coletada;
4. Contabilizou-se o tempo de espera de 2 horas para a solução (1g do pó da semente de moringa misturada a 1L de água bruta), após ele, submeteu-se a agitação com auxílio de um bastão de vidro por 2 minutos e colocada em repouso até a sedimentação dos sólidos suspensos, pelo tempo de 30 minutos, em seguida realizou-se a filtração lenta, como pode ser observado na **Figura 5**;
5. A análise microbiológica realizou-se com o auxílio do kit qualiquantitativo Colipaper (ALFAKIT), sendo composto por cartelas microbiológicas que apresentam a combinação de dois substratos cromogênicos (Salmon-GAL e X - glicuronídeo) assim possibilitando a detecção de coliformes totais e fecais em uma mesma cartela;
6. Mergulhou-se as cartelas Colipaper nas amostras de água, em seguida elas foram transferidas para uma estufa de esterilização e secagem (ESTUFA ODONTOBRAS EL MAX - EL 1.5) onde ficaram por 15 horas em temperatura controlada de 36 °C a 37 °C;

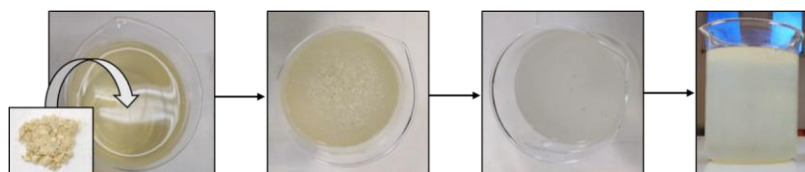
7. Após o tempo decorrido foi realizada a contagem das colônias de *Escherichia coli* e coliformes totais na água em estudo, o resultado se deu pela contagem dos pontos violetas/azuis (colônias de coliformes fecais) e a contagem dos pontos violetas/azuis e rosas/vermelhos (colônias de coliformes totais) e a multiplicação dos mesmos por 6.400 e dividido por 100, obtendo-se os resultados em UFC/100 ml (ALFAKIT, 2020), a imagem esquemática do kit utilizado pode ser observada na Figura 6.

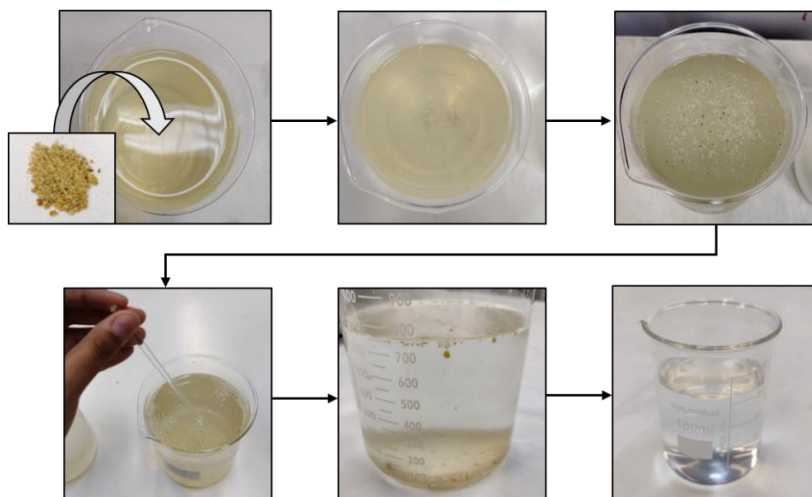
Figura 4 - Etapas do processo de obtenção do pó da moringa. (a) Sementes com casca; (b) Sementes descascadas; Maceração das sementes com auxílio de cadinho e pistilo (c) Início e (d) Final; Pó da semente de moringa (e) Armazenadas e (f) Frescas; e (g) Armazenamento das sementes maceradas



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

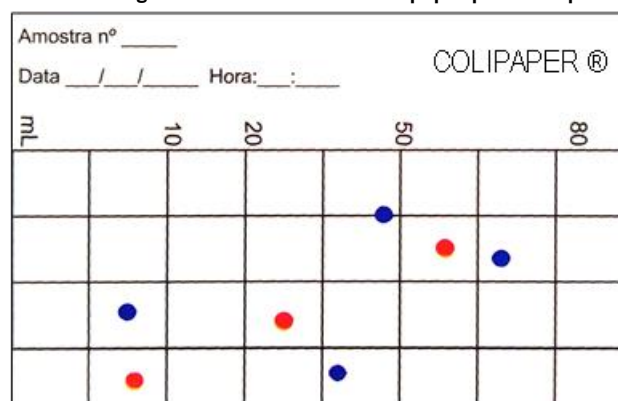
Figura 5 - Fluxograma ilustrando as etapas de clarificação da água com o pó da semente de moringa armazenada (a) e fresca (b).





Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Figura 6 - Esquema de contagem das colônias no kit Colipaper para interpretação dos dados



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Os parâmetros qualitativos da água utilizados para avaliar a eficiência dos processos foram turbidez e cor aparente. Também foram monitorados o pH, o tempo de sedimentação e o tempo de filtração. A eficiência dos floculadores granulares foi avaliada com base na remoção de turbidez e cor aparente após sedimentação.

3 Resultados e discussão

Os resultados obtidos nos ensaios estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores obtidos com a análise da água coletada no lago dos Americanos

Parâmetro	Unidade	M0	M1	M2
Potencial hidrogeniônico	pH	5,39	6,10	6,20
Turbidez	uT	13,35	26,90	3,77
Potencial de clarificação	%	-	Aumento de 200%	Redução de 72%
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100ml	Presente 1.216 UFC/100 ml	Presente 64 UFC/100 ml	Presente 64 UFC/100 ml
Coliformes totais	UFC/100ml	Presente 3.968 UFC/100 ml	Presente 704 UFC/100 ml	Ausente -
Potencial de higienização	%	-	Redução de 80%	Redução de 98%

Legenda: M0 = Água in natura do lago dos Americanos; M1 = Água do lago dos Americanos após procedimento com o pó das sementes armazenadas; e M2 = Água do lago dos Americanos após procedimento com o pó das sementes frescas.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A análise utilizando o kit microbiológico Colipaper detectou e quantificou a presença de *Escherichia coli* e coliformes totais na água em estudo.

O valor estabelecido pela Resolução CONAMA nº 274/2000 define que as águas serão consideradas impróprias para consumo, banho e lazer quando, no trecho avaliado, for verificado que o valor obtido na última amostragem é superior a 2.500 UFC/100 ml de coliformes totais.

Após a contagem, os valores obtidos nos procedimentos M1 (água do Lago dos Americanos após procedimento com o pó das sementes armazenadas) e M2 (água do Lago dos Americanos após procedimento com o pó das sementes frescas) estão dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA, a contagem das colônias pode ser observada na **Figura 7**.

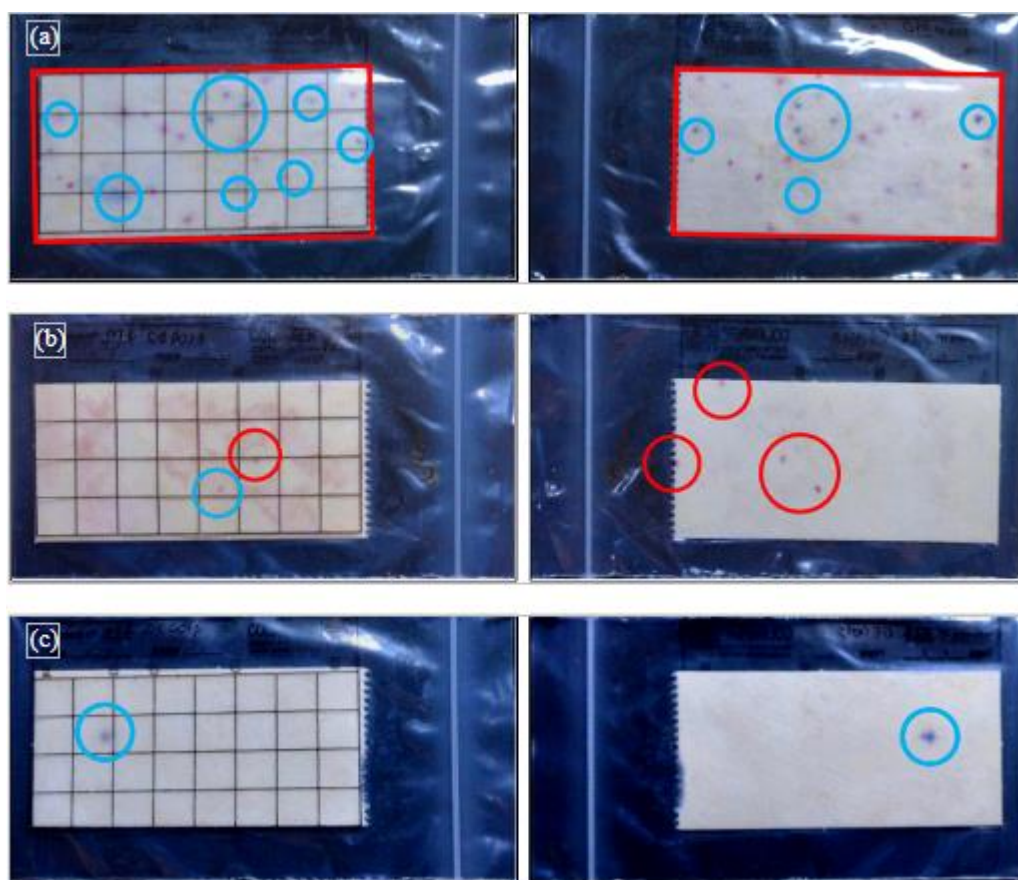


Figura 7 - Resultados obtidos a partir das análises microbiológicas utilizando o kit Colipaper considerando frente e verso da cartela, onde: (a) M0 = Água *in natura* do lago dos Americanos; (b) M1 = Água do lago dos Americanos após procedimento com o pó das sementes armazenadas; e (c) M2 = Água do lago dos Americanos após procedimento com o pó das sementes frescas

No entanto, a água in natura do Lago dos Americanos (M0) não está de acordo, apresentando 3.968 UFC/100 ml de coliformes totais e 1.216 UFC/100 ml de *Escherichia coli*. Isso se deve ao fato de que, apesar de o lago ser um local de preservação com finalidade de ornamentação, ele é muito utilizado por banhistas,

possui alta atividade antrópica, com eventos no local incluindo descarte de lixo e de forma inadequada (Nascimento *et al.*, 2018; Primeiro, 2017).

Mesmo M1 apresentando um aumento de 200% na turbidez, pode-se perceber que os parâmetros microbiológicos estão dentro dos padrões de potabilidade exigidos, com 704 UFC/100 ml de coliformes totais e 64 UFC/100 ml de *Escherichia coli*. Os resultados de M2 foram os mais satisfatórios, podendo-se observar na cartela somente uma unidade de colônia de *Escherichia coli* (64 UFC/100 ml) e ausência de coliformes totais, corroborando a Resolução CONAMA nº 274/2000 e afirmando que as sementes frescas apresentam maior potencial de clarificação e de higienização da água em comparação às sementes armazenadas, que apresentou somente alto potencial higiênico e baixíssima eficácia na clarificação.

Corroborando também com Nunes *et al.* (2018), que em análises bacteriológicas de efluentes com despejo de esgoto doméstico observou valores reduzidos de coliformes totais em aproximadamente 65% após o procedimento com o extrato de Moringa, mesmo em ambientes altamente contaminados. No procedimento M2, obteve-se 98% de redução nos coliformes totais da água em estudo, enquanto no M1 a porcentagem foi um pouco menor, mas ainda significativamente relevante com 80% de redução.

O pH da água é indicado pela medida de acidez ou alcalinidade nela encontrada. É um parâmetro que deve ser acompanhado para melhorar os processos de tratamento. Na Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, recomenda-se que o pH da água potável seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. Os resultados mostram que os valores de pH após o procedimento com a Moringa (M1 e M2) encontram-se dentro da faixa estabelecida pela portaria, sendo respectivamente 6,10 e 6,20.

A turbidez é indicada pela medição da resistência da água à passagem de luz, sendo provocada pela presença de partículas flutuantes na água. O Ministério da Saúde, em sua Portaria nº 2.914/2011, estabelece o valor máximo permissível para a turbidez de 5,0 uT na água distribuída para consumo, mostrando que as

concentrações encontradas após o procedimento M2 (3,77 uT) estão de acordo com a referida portaria e com a Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

O potencial da semente de Moringa para eliminar a turbidez e a cor aparente deve-se às suas proteínas de baixo peso molecular, quando maceradas, seu pó é dissolvido em água e adquire carga positiva, que atrai as partículas negativamente carregadas, formando flocos densos que sedimentam após um período. Essa coagulação natural realizada pela Moringa, nos dados obtidos em M2, permitiu verificar que o procedimento com o pó da semente de Moringa fresca na água bruta do lago estudado foi eficiente na remoção de 78% de turbidez. A água in natura apresentou turbidez de 13,35 uT, já em M2, foi determinado o valor de 3,77 uT, estando de acordo com a legislação brasileira.

Quando comparados os resultados, verificou-se que os valores de turbidez obtidos com as sementes frescas são significativamente menores do que os obtidos nos ensaios com as sementes armazenadas, estas apresentaram turbidez de 26,90 uT.

Esse resultado pode ser atribuído ao ressecamento das sementes ocorrido durante o período de armazenamento (de março de 2020 a junho de 2021), tornando-as menos eficazes. Essa diferença foi perceptível já no processo de maceração, as sementes frescas exalavam odor intenso, apresentavam coloração amarela forte e oleosidade após a maceração, já as sementes armazenadas, quando maceradas, exibiam coloração esbranquiçada, não exalavam odor e tinham textura emborrachada (**Figura 8**).

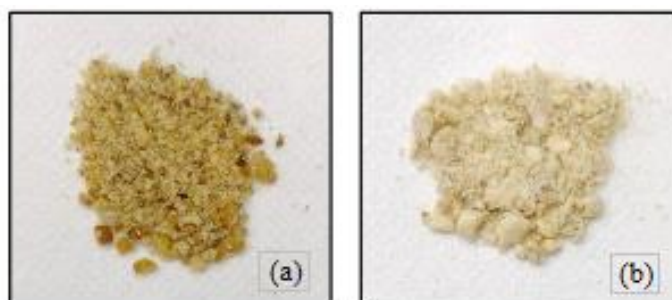


Figura 8 - Sementes de moringa maceradas. (a) Sementes frescas; e (b) Sementes armazenadas

Vale ressaltar que, apesar do aumento significativo na turbidez em M2, no pH não houve uma diferença tão discrepante em relação à neutralidade. Essas informações corroboram Moreti (2014), que discute que a semente de Moringa apresenta limitações quando armazenada em temperatura ambiente ou em refrigeração, apontando que seu potencial decresce de acordo com o tempo de armazenamento.

De acordo com Lima (2015) e Valverde (2014) é ideal utilizar sementes recém-colhidas (frescas), a fim de garantir a eficácia no tratamento, pois a eficiência de coagulação diminui com o passar do tempo de armazenamento das sementes. Entretanto ainda são consideradas ativas, pois aqui notamos uma neutralização do pH da amostra pós procedimento com as sementes armazenadas, outro ponto negativo para estas sementes é que segundo Jesus (2013b), após três meses de colhidas as sementes perdem o seu potencial germinativo e de clarificação.

Em relação à neutralização do pH obtida nos ensaios com as sementes armazenadas e frescas, os resultados estão de acordo com o observado por Albuquerque (2016) e Sabóia (2020). Este último, em todos os seus ensaios, obteve pH estável na neutralidade, considerado um efeito positivo, e remoção de turbidez de 99% após a filtração, utilizando 1 g de pó da semente de Moringa para 1 L de água coletada. Ribeiro (2010) mostrou que o pH se encontra em condições ótimas (pH 7) após a utilização do extrato de Moringa, apresentando valores de remoção de turbidez superiores a 94%.

Corroborando também com Cangela (2018), que afirma que a técnica pode ser usada em nível domiciliar ou em situações em que não haja água segura para abastecimento e onde existam árvores de

Moringa oleifera para coleta de sementes. Apesar das vantagens sustentáveis, a aplicação de coagulantes orgânicos como a *Moringa oleifera* em escala industrial enfrenta obstáculos técnicos, econômicos e regulatórios significativos.

O principal entrave reside no aumento da carga orgânica residual (DQO) na água tratada quando se utiliza o extrato bruto, o que pode favorecer a proliferação microbiana durante a estocagem e a formação de subprodutos indesejados (Boulaadjoul *et al.*, 2018). Do ponto de vista operacional, os processos de purificação necessários para mitigar esses efeitos são complexos e de alto custo, e a carência de estudos em escala piloto e de aprovações normativas específicas dificulta sua adoção (Yamaguchi *et al.*, 2021).

Por fim, a sazonalidade na produção das sementes e a necessidade de grandes áreas de cultivo para garantir um suprimento industrial constante representam desafios logísticos adicionais para a viabilidade comercial desta tecnologia (Yamaguchi *et al.*, 2021).

Entretanto, este estudo em escala de bancada valida os resultados obtidos nos ensaios realizados, demonstrando que as sementes frescas de *Moringa oleifera* apresentaram o melhor desempenho, dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira para os parâmetros de clarificação e desinfecção da água.

4 Conclusão

O experimento com o pó da semente de *Moringa oleifera* Lam. apresentou resultados satisfatórios, demonstrando que a utilização da *Moringa* pode ser viável como método alternativo no tratamento simplificado de águas, pois promoveu uma alteração positiva no pH, trazendo-o à neutralidade, e apresentou remoção de mais de 70% da turbidez da água e eliminação de 98% dos coliformes totais com o uso de sementes frescas, atendendo assim às exigências da Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. As sementes armazenadas, apesar de aumentarem a turbidez, também foram eficazes na neutralização do pH e apresentaram alto potencial higiênico na água estudada.

No experimento, foi possível verificar a capacidade de coagulação da matéria orgânica presente na amostra de água, na qual ocorreu coagulação, floculação e posterior decantação, sem o auxílio de aditivos químicos. Por fim, sendo sustentável, atóxica ao homem e ao ambiente, a utilização da *Moringa* mostra-se promissora para diversos usos, com alto potencial biotecnológico na clarificação e higienização da água.

Referências

- ABOAGYE, G.; NAVELE, M.; ESSUMAN, E. *Moringa oleifera* – an antibacterial agent and water clarifier. *MethodsX*, v. 8, 101283, 2021.
- ALAM, M. W. *et al.* Study to Investigate the Potential of Combined Extract of Leaves and Seeds of *Moringa oleifera* in Groundwater Purification. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 20, 7468, 2020.
- ALBUQUERQUE, W. G. *et al.* Verificação do potencial da semente de *Moringa oleifera* como coagulante natural no tratamento de água. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2016, Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu: CONTECC, 2016. p. 1-4.
- ALFAKIT. Manual Colipaper Petri: análise microbiológica de E. coli e Coliformes Totais. [S. l.]: Alfakit, 2020.
- BAZZO, F. P. *et al.* Multivariate optimization approach applied to natural polymers from *Ceratonia siliqua* L. and *Moringa oleifera* Lam as coagulating/flocculating agents. *Environmental Technology*, 2021.
- BONGIOVANI, C. M. *et al.* Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. *Acta Scientiarum. Technology*, Maringá, v. 32, n. 2, p. 167-170, 2010.
- BOULAADJOUL, S. *et al.* A novel use of *Moringa oleifera* seed powder in enhancing the primary treatment of paper mill effluent. *Chemosphere*, v. 206, p. 142-149, 2018.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Dispõe sobre índice microbiológico de coliformes fecais. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2000.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem

como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 39, 14 dez. 2011.

CANGELA, G. L. C.; BENETTI, A. D. Otimização da clarificação de águas turvas com sementes de *Moringa oleifera*. Revista DAE, v. 66, n. 212 (Edição Especial), 2018.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. Seleção de tecnologia de tratamento da água. São Carlos: Editora Cuba, 2008. 878 p.

JESUS, A. *et al.* Cultivo da Moringa oleifera. Bahia: Instituto Euvaldo Lodi, 2013. p. 1-23.

JESUS, M. S. de. Moringa oleífera: cultivo e processamento. [S.l.]: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (SBRT), 2013.

KUCERA, T.; HOFMANOVÁ, L. *Moringa Oleifera* seeds and Chitosan as alternatives to conventional coagulation agents. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 800, 012032, 2020.

LANDÁZURI-ROJAS, A. C. *et al.* Experimental evaluation of crushed *Moringa oleifera* Lam. seeds and powder waste during treatment. Journal of Water Process Engineering (Manuscrito aceito), 2018.

LIMA, N. M. *et al.* Aplicação de Moringa oleifera no tratamento de água com turbidez. 2015. 56 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2015.

MARINHO, J. B. M. *et al.* Uso da moringa na alimentação animal e humana: Revisão. Pubvet, v. 10, n. 8, Art. 2110, p. 574-648, 2016.

MARTINS, A. A.; OLIVEIRA, R. M. S.; GUARDA, E. A. Potencial de uso de compostos orgânicos como coagulantes, floculantes e adsorventes no tratamento de água e efluentes. Fórum Ambiental da Alta Paulista, [s. l.], n. 10, 2014.

- MELO, A. R. Uso da água residuária doméstica tratada e adubação fosfatada no cultivo da *Moringa oleifera* Lam. 2020. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.
- MONACO, P. A. V. *et al.* Utilização de extratos de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. *Ambiente & Água*, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010.
- MORETI, L. O. R. *et al.* Avaliação de um coagulante natural como agente floculante de *Dolichospermum Flos Aquae*, associado à flotação por ar dissolvido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20., 2014, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: COBEQ, 2014. p. 1-6.
- NASCIMENTO, C. H. C.; PAZ, A. C. Parque Anauá: Espaço vivo no coração de Boa Vista, Roraima. *Revista UFRJ, Belém/Rio de Janeiro*, v. 1, n. 2, p. 98-117, 2018.
- NUNES, T. C. G. *et al.* Diagnóstico da qualidade da água: uma forma de desenvolver educação ambiental em São João da Barra, RJ. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes*, v. 6, n. 2, p. 115-134, 2018.
- PAVANELLI, G. Eficiência de diferentes coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. 2001. 216 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- PRIMEIRO, L. J. O. História natural de *Notodiatomus amazonicus* (wright, 1935) em lago de área urbana protegida no lavrado de Roraima (Copepoda: Calanoida: Diaptomidae). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, v. 12, n. 4, p. 282-294, 2017.
- RAVIKUMAR, K.; UDAYAKUMAR, J. *Moringa oleifera* biopolymer coagulation and bentonite clay adsorption for hazardous heavy metals removal from aqueous systems. *Geosystem Engineering*, 2020.
- RIBEIRO, A. T. A. Aplicação da *Moringa oleifera* no tratamento de água para consumo humano: remoção de poluentes por coagulação-floculação. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2010.
- RÔLA, A. K. K. *et al.* Avaliação da eficiência de coagulantes comerciais para aplicação em sistemas de tratamento de água. *Journal of Chemical Engineering and Chemistry*, v. 2, n. 3, p. 14-36, 2016.

SABÓIA, A. G. C.; ALMEIDA, A. S. O.; SANTOS, H. A. S. Evaluation of moringa use as a coagulation auxiliary for the treatment of waters of eutrophicated reservoirs. *Conexões - Ciência e Tecnologia*, v. 14, n. 1, 2020.

SALEEM, M.; BACHMANN, R. T. A Contemporary Review of Plant-Based Coagulants for Applications in Water Treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2019.

SANTOS, W. R. *et al.* Estudo do tratamento e clarificação de água com torta de sementes de *Moringa oleifera* Lam. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 13, n. 3, p. 295-299, 2011.

YAMAGUCHI, U. N. *et al.* A review of *Moringa oleifera* seeds in water treatment: Trends and future challenges. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 147, p. 405-420, 2021.

VALVERDE, K. C. *et al.* Coagulation diagram using the *Moringa oleifera* Lam and the aluminium sulfate, aiming the removal of color and turbidity of water. *Acta Scientiarum. Technology*, Maringá, v. 35, n. 3, p. 485-489, 2014.

VALVERDE, K. C. *et al.* Combined water treatment with extract of natural *Moringa oleifera* Lam and synthetic coagulant. *Ambiente & Água*, v. 13, n. 3, e2135, 2018.

ZAID, A. Q. *et al.* Experimental optimization of *Moringa oleifera* seed powder as bio-coagulants in water treatment process. *SN Applied Sciences*, v. 1, 504, 2019