

Uso combinado de coagulantes naturais derivados de *Moringa oleifera* e *Aloe vera* no tratamento de água do Rio Solimões – Amazonas

Combined use of natural coagulants derived from Moringa oleifera and Aloe vera in the treatment of water from the Solimões River – Amazonas

Adriana Ribeiro Francisco^{1,2} , Camila Clementina Arantes^{1,3*} 

RESUMO

O aprimoramento de tecnologias e de processos de tratamento de água pode contribuir para ampliar as opções, gerando soluções com maior aceitação por parte da população, como o uso de coagulantes naturais em comunidades indígenas. Este trabalho objetivou avaliar a ação conjunta dos coagulantes *Moringa oleifera* e *Aloe vera*, em diferentes combinações de dosagens, no tratamento de água do Rio Solimões (Tabatinga, Amazonas). Foram realizados testes utilizando água bruta com duas faixas de turbidez: 200 a 254 NTU e 40 a 100 NTU. Os ensaios foram conduzidos com coagulação (300 s⁻¹ – 30 segundos) e floculação (40 s⁻¹ – 3 minutos e 20 s⁻¹ – 15 minutos). Amostras foram coletadas ao longo da sedimentação nos intervalos de 0, 5, 10, 20, 30 e 60 minutos para determinação de turbidez, cor aparente e pH. O uso isolado da *M. oleifera* e sua combinação com *A. vera* apresentaram reduções de turbidez e cor aparente em torno de 90%. *A. vera* isolada demonstrou baixo desempenho, com eficiências entre 5,2 e 43,5%. Em água bruta com turbidez mais elevada, a combinação de *M. oleifera* e *A. vera* mostrou discreto ganho de eficiência em relação ao uso isolado da *M. oleifera*, enquanto em turbidez mais baixa, a adição de *A. vera* não trouxe melhorias. Os resultados deste estudo, além de demonstrarem a elevada eficiência da *M. oleifera* usada isoladamente ou combinada com *A. vera* no tratamento da água do Rio Solimões, sugere que em determinadas combinações de dosagens, a *A. vera* atua como um polímero auxiliar.

Palavras-chave: coagulantes naturais; comunidades isoladas; saneamento rural; tratamento de água.

ABSTRACT

The improvement of water treatment technologies and processes can help expand available options, generating solutions with greater social acceptance, such as the use of natural coagulants in indigenous communities. This study aimed to evaluate the combined action of the natural coagulants *Moringa oleifera* and *Aloe vera* at different dosage combinations in the treatment of water from the Solimões River (Tabatinga-AM). Tests were performed using raw water with two turbidity ranges: 200-254 NTU and 40-100 NTU. The experiments included coagulation (300 s⁻¹ for 30 seconds) and flocculation (40 s⁻¹ for 3 minutes and 20 s⁻¹ for 15 minutes). Samples were collected during sedimentation at intervals of 0, 5, 10, 20, 30, and 60 minutes for the determination of turbidity, apparent color, and pH. The isolated use of *M. oleifera* and its combination with *A. vera* achieved turbidity and color reductions of around 90%. When used alone, *A. vera* exhibited low performance, with efficiencies ranging from 5.2 to 43.5%. In high-turbidity water, the combination of *M. oleifera* and *A. vera* showed a slight increase in efficiency compared to *M. oleifera* alone, whereas in lower-turbidity water, the addition of *A. vera* did not improve performance. The results of this study demonstrate the high efficiency of *M. oleifera*, used alone or combined with *A. vera*, in the treatment of Solimões River water, and suggest that, in certain dosage combinations, *A. vera* acts as a polymeric coagulant aid.

Keywords: natural coagulants; isolated communities; rural sanitation; water treatment.

¹Universidade Estadual de Campinas – Campinas (SP), Brasil.

²Universidade Estácio de Sá – Campinas (SP), Brasil.

³Universidade Federal do ABC – Santo André (SP), Brasil.

*Endereço para correspondência: Avenida dos Estados, 5001, Bloco A, Torre 1, sala 6071, Bangú. Santo André, SP. CEP: 09280-560. E-mail: camila.arantes@ufabc.edu.br

INTRODUÇÃO

No Brasil, locais remotos e distantes de grandes centros urbanos dependem de sistemas alternativos de tratamento de água, os quais trazem benefícios que impactam na qualidade de vida e promovem melhorias para as famílias. Muitas soluções simplificadas de tratamento de água demandam cuidados e monitoramento contínuo e eventualmente o envolvimento do usuário na operação e na manutenção do sistema. Mesmo as soluções caseiras podem exigir tempo para a realização do tratamento, conflitando com outras atividades executadas no ambiente rural, dada a indisponibilidade de mão de obra exclusiva para tratar água ou efluentes sanitários em tais localidades. O atendimento à população rural por meio de tecnologias compatíveis com as suas características econômicas e sociais está previsto nos marcos legais do saneamento, conforme as leis nº 11.445/2007 (Brasil, 2007) e nº 14.026/2020 (Brasil, 2020).

Por essa razão, diversas pesquisas buscam otimizar sistemas de tratamento de água, individuais ou coletivos, desenvolvendo técnicas cada vez mais simples, práticas e rápidas, sem comprometer a qualidade, garantindo a manutenção da saúde dos consumidores. O Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) aponta como uma das estratégias para o eixo abastecimento de água “promover incentivos tarifários para estimular a inovação e aplicação de tecnologias alternativas, mais eficientes e adequadas às diferentes localidades” (Brasil, 2019). Assim, o aprofundamento nas investigações de técnicas já difundidas em pequenas comunidades, como processos de coagulação e filtração, demonstra que o saneamento rural também pode ser alvo de inovações.

Outro aspecto importante na escolha da tecnologia de tratamento de água é o gerenciamento de resíduos e a redução da pegada ambiental (Deng, 2021). Nesse contexto, destaca-se a busca por soluções mais sustentáveis (Ang; Mohammad, 2020), como os coagulantes naturais, entre eles a *Moringa oleifera* e a *Aloe vera*. As sementes de *M. oleifera* têm proteínas catiônicas hidrossolúveis responsáveis pelo processo de coagulação e adsorção no tratamento de água e efluentes (Baptista *et al.*, 2015; Camacho *et al.*, 2017; Gandiwa *et al.*, 2020; Nhut *et al.*, 2021; Souza, 2016).

A *A. vera* também tem sido investigada como coagulante no tratamento de água (Amorim; Oliveira, 2023; Borri; Freire; Boina, 2014) por apresentar grupos funcionais que promovem ligações intermoleculares com partículas presentes na água, além de atuarem como adsorventes (Benalia *et al.*, 2022). Estudos utilizando tal coagulante têm demonstrado eficiências de redução de turbidez nas faixas de 36 a 68% (Rodrigues; Aquino; Cordeiro, 2020), 87% (Benalia *et al.*, 2022), 48 a 69% (Amorim; Oliveira, 2023) e 63 a 98% (Martins; Oliveira, 2023). Embora o uso do coagulante extraído da *A. vera* seja promissor, nem sempre o padrão de potabilidade é atendido, sendo sugerido que tal coagulante seja investigado como um coagulante auxiliar (Rodrigues; Aquino; Cordeiro, 2020).

Tais produtos têm origem em fontes renováveis, são biodegradáveis e apresentam um custo-benefício favorável tanto na aquisição e na produção do coagulante, quanto na destinação final do lodo (Saleem; Bachmann, 2019). Além disso, os coagulantes naturais não causam reduções consideráveis de pH (Yin, 2010), o que reduz o uso de insumos químicos no tratamento. A *M. oleifera* e a *A. vera* são espécies de fácil cultivo e bem adaptadas a diferentes regiões do Brasil, o que possibilita a produção do coagulante pelas próprias comunidades que demandam o tratamento de água.

Diversas comunidades indígenas e não indígenas localizadas no Alto Solimões e no Vale do Javari, no extremo oeste do Amazonas, apresentam dificuldades no acesso à água tratada. O Rio Solimões é o principal corpo hídrico superficial da região, sendo utilizado para transporte, recreação e abastecimento de água. No caso do Vale do Javari, o Rio Javari é o principal curso d'água, que, por sua vez, é um afluente que deságua no Rio Solimões. Por isso, os problemas relacionados à água são similares para as comunidades isoladas pertencentes à região. O Plano Distrital de Saúde Indígena do Vale do Javari aponta que a maioria dos casos de doenças diarreicas agudas na região está relacionada com a qualidade da água, com reduções de casos em algumas aldeias após implantação de tecnologias de tratamento de água (Brasil, 2024). No plano são relatadas ações como implantação de Salta-z e filtro de areia, além da distribuição de hipoclorito de sódio e de filtros de barro (Brasil, 2024).

Identificar novas possibilidades para o tratamento de água superficial da região em questão, baseado em plantas que possam ser cultivadas pelos próprios moradores, pode contribuir para a expansão do tratamento de água. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a ação conjunta dos coagulantes naturais a base de *M. oleifera* e de *A. vera* no tratamento de água do Rio Solimões no município de Tabatinga, Amazonas.

METODOLOGIA

Água bruta

A água bruta utilizada no estudo foi coletada na captação da estação de tratamento de água do município de Tabatinga, Amazonas, proveniente do Rio Solimões (4°14'14,92 S 69°56'44,27'' W). O município está localizado no extremo oeste do Estado do Amazonas, na tríplice fronteira entre Brasil, Colômbia e Peru.

O valor de turbidez da água do Rio Solimões no ponto de coleta apresenta variações sazonais ao longo do ano. Em geral, após o período de estiagem, quando o rio volta a encher, os valores de turbidez da água bruta aumentam, apresentando valores de turbidez na faixa de 150 a 600 NTU. Quando atinge níveis máximos de cheias, os valores de turbidez diminuem, tendendo a valores mínimos entre 40 e 60 NTU. Neste estudo foram feitas coletas em dois momentos: janeiro de 2025, quando a

turbidez da água bruta variava entre 200 e 254 NTU, e em abril de 2025, com turbidez entre 40 e 100 NTU. Assim, foram efetuados testes em água bruta nessas duas faixas de turbidez.

Preparo dos coagulantes

O coagulante a base de *M. oleifera* foi obtido a partir da solução extraída de sementes descascadas, maceradas e peneiradas (Figura 1A). O pó obtido foi misturado em água destilada e processado em liquidificador. Tal mistura foi coada em filtro de papel (Figura 1B) e aplicada nas proporções concentradas descritas na Tabela 1. No caso da *A. vera*, a solução foi preparada de acordo com metodologia apresentada por Amorim e Oliveira (2023). As folhas foram descascadas (Figura 1C) e processadas em liquidificador com água destilada, na proporção de 2 g de *A. vera* para 50 mL de água. Assim como efetuado para a *M. oleifera*, a mistura obtida foi filtrada em filtro de papel (Figura 1D).

Ensaio de clarificação

Os ensaios de clarificação e análises foram realizados no laboratório da estação de tratamento de água de Tabatinga. Os testes foram conduzidos em equipamento Jar Test, utilizando provas de 1 L em cada jarro. Foi testado o uso do coagulante extraído de sementes de *M. oleifera* combinado com polímero à base de *A. vera* em diferentes combinações de dosagens (Tabela 1). Ensaio preliminares para

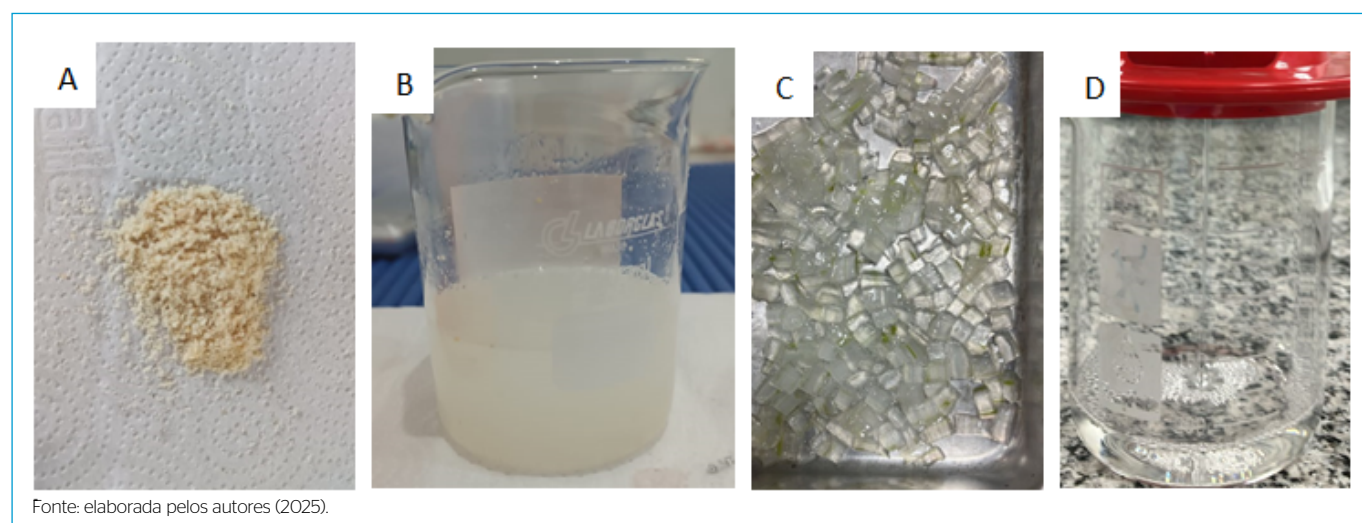


Figura 1 – Etapas da obtenção dos coagulantes: (A) pó obtido das sementes de *M. oleifera*; (B) coagulante extraído de sementes de *M. oleifera* coado; (C) folhas de *A. vera* descascadas; (D) coagulante extraído de folhas de *A. vera* coado

a definição da dosagem de *M. oleifera* foram realizados, com a água bruta com faixa mais reduzida de valores de turbidez, demandando dosagens significativamente superiores à dosagem necessária para valores mais elevados de turbidez da água bruta.

Após adição dos coagulantes nas respectivas dosagens (Tabela 1), efetuou-se o ensaio de clarificação utilizando o gradiente de velocidade máximo de 300 s⁻¹, por 30 segundos, intermediário de 40 s⁻¹, por 3 minutos, e mínimo de 20 s⁻¹, por 15 minutos. Após os tempos de mistura, ocorreram coletas nos intervalos de 0, 5, 10, 20, 30 e 60 minutos. Para as amostras coletadas ao longo do tempo foram determinados os valores dos parâmetros turbidez (NTU), cor aparente (mg Pt-Co/L) e pH (American Public Health Association, 2012).

Tabela 1 - Combinação de dosagem (mg L⁻¹) dos coagulantes testados em função do valor de turbidez da água bruta

Faixa de turbidez (NTU)	<i>M. oleifera</i> + <i>A. vera</i> (mg L ⁻¹)
200 a 254	50 + 0
	50 + 200
	50 + 400
	100 + 0
	100 + 200
	100 + 400
	0 + 400
40 a 100	500 + 0
	500 + 200
	500 + 400
	0 + 200
	0 + 400

Fonte: elaborada pelos autores (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as etapas de coagulação e floculação, observou-se a formação de flocos decorrente do uso combinado de *M. oleifera* e *A. vera* e apenas *M. oleifera*, com expressiva clarificação da água após a sedimentação (Figura 2).

Redução de turbidez

Para os tratamentos realizados com a água bruta apresentando valores de turbidez na faixa de 200 a 254 NTU, tanto os coagulantes aplicados em conjunto como apenas *M. oleifera*, apresentaram significativa redução de turbidez, com valores residuais inferiores a 6 NTU após 60 minutos de sedimentação (Figura 3), com exceção da dosagem de 50 mg/L de *M. oleifera* isolada. O melhor resultado observado foi para a combinação 100 mg/L de *M. oleifera* com 200 mg/L de *A. vera*, que resultou em turbidez média de 3,9 NTU após 60 minutos de sedimentação.

Ao analisar a contribuição da *A. vera* no processo, observou-se efeito mais expressivo apenas na combinação de 50 mg/L de *M. oleifera* com 200 e 400 mg/L de *A. vera*, que apresentaram turbidez residual de 4,3 e 4,8 NTU, respectivamente. Em comparação, o uso isolado de *M. oleifera* na dosagem 50 mg/L apresentou turbidez final de 10 NTU. Por outro lado, apenas a aplicação da *A. vera* implicou em turbidez de 102,8 NTU ao final da sedimentação.

Nos tratamentos com água bruta apresentando turbidez na faixa de 40 a 100 NTU, o uso isolado da *M. oleifera* ou desta combinada com *A. vera* também apresentaram os menores valores de turbidez residual, na faixa de 3,5 a 4,6 a NTU após 60 minutos de sedimentação (Figura 4). Não se

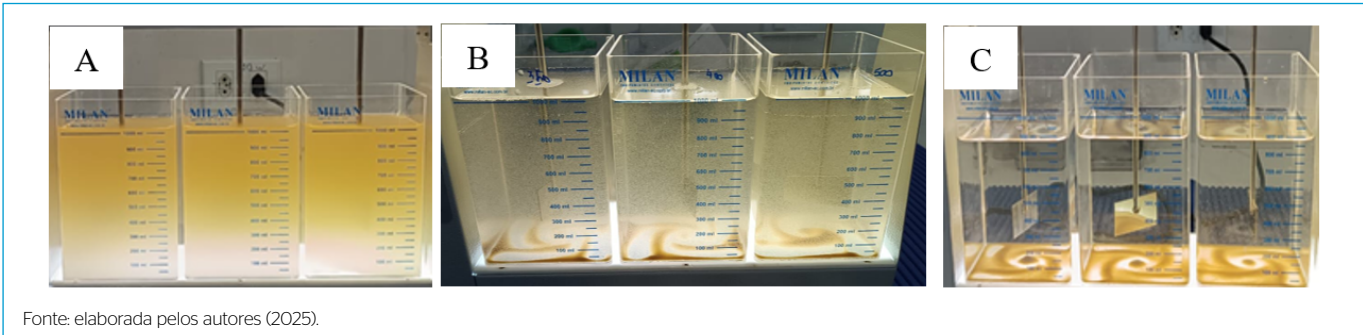


Figura 2 - (A) Água bruta do Rio Solimões; (B) flocos formados; (C) água clarificada após a sedimentação

observou contribuição do uso combinado dos coagulantes, com o uso da *M. oleifera* na dosagem de 500 mg/L combinada com 200 e 400 mg/L de *A. vera*, gerando turbidez

residual de 4,7 e 4,2 NTU, respectivamente, enquanto a *M. oleifera* isolada resultou em turbidez de 3,3 NTU ao final da sedimentação.

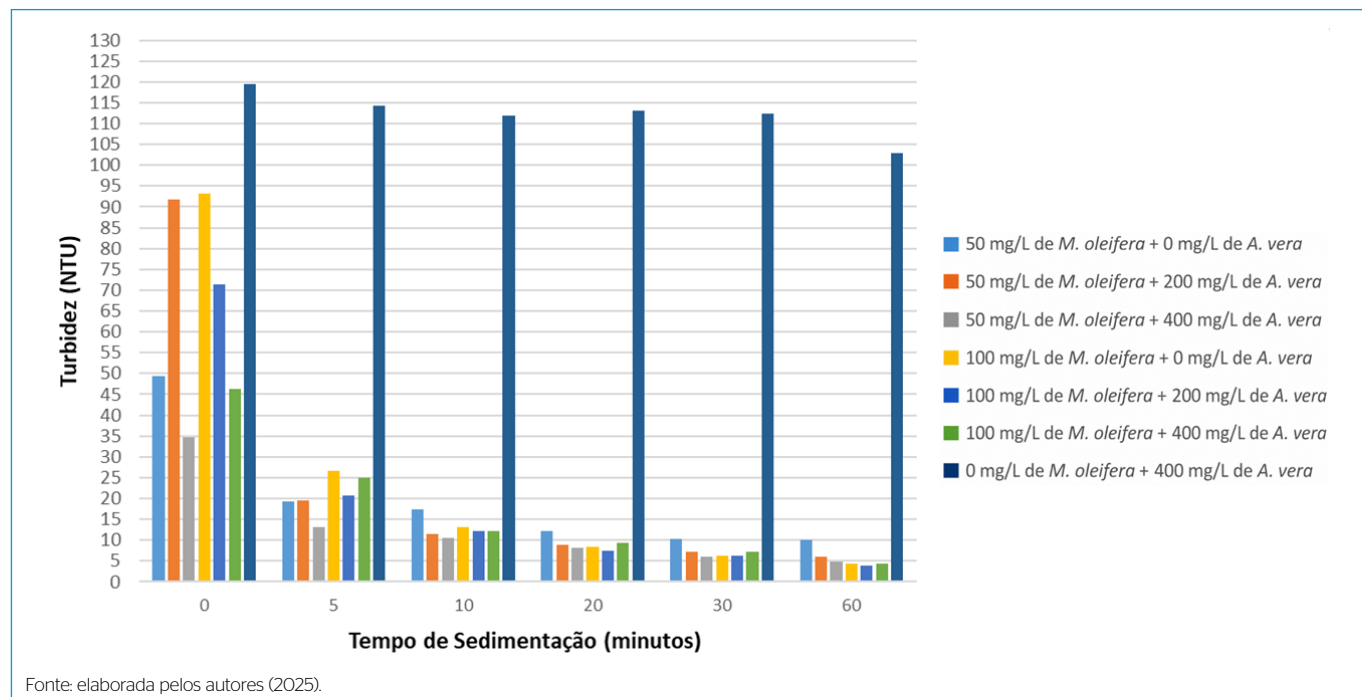


Figura 3 – Valores de turbidez (NTU) para as diferentes dosagens ao longo da sedimentação nos tratamentos realizados com água bruta na faixa de 200 a 254 NTU

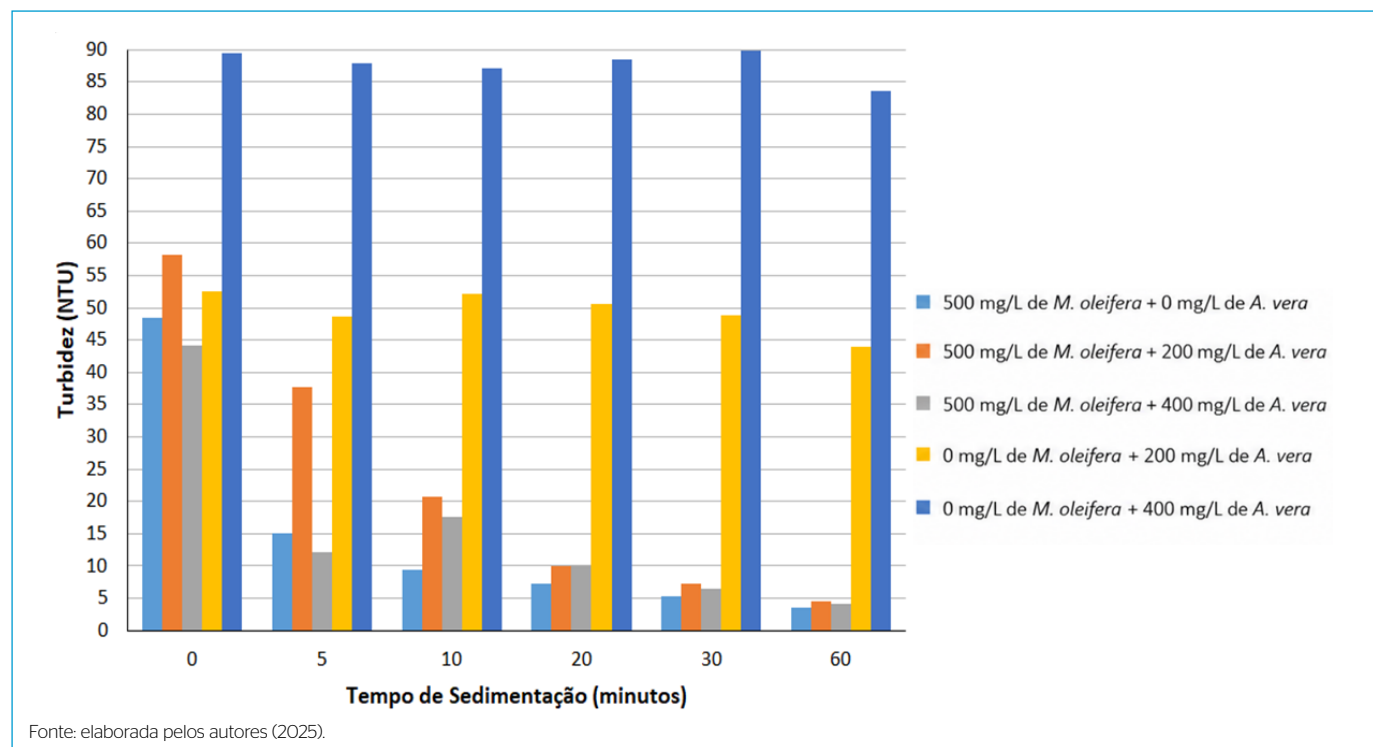


Figura 4 – Valores de turbidez (NTU) para as diferentes dosagens ao longo da sedimentação nos tratamentos realizados com água bruta na faixa de 40 a 100 NTU

Já com a aplicação apenas da *A. vera*, mesmo após 60 minutos de sedimentação, os valores de turbidez observados ficaram acima de 60 NTU. Em tais ensaios, notou-se dificuldade para selecionar as dosagens ótimas dos coagulantes, com melhor desempenho no tratamento com 500 mg/L de *M. oleifera*. Trata-se de uma dosagem elevada, e embora os valores de turbidez estivessem mais reduzidos, os valores de cor aparente da água bruta permaneceram elevados, variando entre 200 e 220 mg Pt-Co/L. Por essa razão, durante os ensaios de otimização, os melhores desempenhos foram com dosagem elevada de *M. oleifera* diante dessa condição sazonal.

Tanto o uso isolado de *M. oleifera* quanto sua combinação com *A. vera* apresentaram eficiência de remoção de turbidez acima de 90% (Tabela 2). A *M. oleifera* usada isoladamente apresentou desempenho semelhante ao uso combinado com *A. vera*, com ligeira redução na eficiência em algumas combinações de dosagens dos dois coagulantes na faixa mais reduzida de turbidez. Kenea *et al.* (2023) obtiveram eficiências próximas de 80% no uso combinado de *M. oleifera* com *A. vera*. O uso isolado da *A. vera* não apresentou bom desempenho, com eficiências de remoção de turbidez de 48,6 e 32% para água bruta nas duas faixas de turbidez, respectivamente.

Gaikwad e Munavalli (2019) constataram que o uso apenas da *A. vera* também não resultou em elevadas reduções de turbidez, com remoções na faixa de 20%. Borri, Freire e Boina (2014) verificaram baixa eficiência do coagulante derivado de *A. vera* em pH 4,0, desempenho satisfatório em pH 7,0 apenas com dosagens elevadas e melhores resultados em pH 10,0.

Por outro lado, Hadadi *et al.* (2022) observaram elevadas remoções de turbidez em ampla faixa de pH (2,0–8,0), com leve redução no desempenho em valores de pH superiores a 8,0. Segundo esses autores, a atuação da *A. vera* está associada à presença de polissacarídeos e proteínas que promovem neutralização de cargas e formação de pontes. A maior eficiência em meio ácido foi atribuída à protonação de grupos hidroxila e carboxila, favorecendo a adsorção dos coloides, enquanto o aumento da carga negativa em meio alcalino poderia reduzir a eficiência por intensificação da repulsão eletrostática. Ainda, Benalia *et al.* (2024) observaram elevado desempenho em pH 2,0, 7,0 e 12,0 ao avaliar *A. vera* em água bruta.

Esses resultados indicam que a influência do pH no desempenho do coagulante derivado de *A. vera* ainda não está clara, podendo depender de fatores como turbidez, alcalinidade, natureza da água bruta (natural ou preparada em laboratório), método de extração do coagulante e dosagem utilizada. A água bruta do Rio Solimões apresentou valores de pH entre 7,0 e 7,5 durante este estudo, situando-se justamente na faixa em que parte da literatura aponta maior variabilidade de desempenho. A faixa de pH adotada corresponde ao pH natural do corpo hídrico estudado, sendo sua utilização também justificada por estudos que indicam bom desempenho da *M. oleifera* em faixas de pH próximas à neutralidade (Murray; Rose; Osborne, 2022; Ndabigengesere; Narasiah, 2010; Trigueros *et al.*, 2023). Outro aspecto considerado neste estudo para a não correção do pH é a possibilidade de uso de coagulantes em comunidades isoladas, localidades nas quais tal operação pode não ser operacionalmente

Tabela 2 - Eficiência da remoção da turbidez (%) após 60 minutos de sedimentação.

Turbidez água bruta = 200 a 254 NTU		Turbidez água bruta = 40 a 100 NTU	
<i>M. oleifera</i> + <i>A. vera</i> (mg L ⁻¹)	Eficiência (%)	<i>M. oleifera</i> + <i>A. vera</i> (mg L ⁻¹)	Eficiência (%)
50 + 0	95,0	500 + 0	93,5
50 + 200	97,7	500 + 200	92,6
50 + 400	97,6	500 + 400	89,8
100 + 0	98,0	0 + 200	32,3
100 + 200	98,4	0 + 400	32,0
100 + 400	98,1		
0 + 400	48,6		

Fonte: elaborada pelos autores (2025).

viável pela indisponibilidade de reagentes, custos e limitações técnicas.

Porém, considerando que com o uso apenas da *A. vera* Hadadi *et al.* (2022) obtiveram bons resultados nessa faixa de pH com água sintética, mas Borri, Freire e Boina (2014) observaram limitações em pH neutro com água natural, é possível que características específicas da água do Rio Solimões tenham contribuído para a limitação do desempenho observado. Assim, sugere-se que estudos futuros avaliem o ajuste do pH para faixas mais alcalinas e/ou mais ácidas, bem como a otimização da dosagem, acompanhados de caracterização físico-química da água e medições de potencial zeta para elucidar os mecanismos de coagulação para essa matriz.

Redução de cor aparente

Os valores da cor aparente da água bruta permaneceram entre 194 e 212 mg Pt-Co/L para os ensaios com água bruta com turbidez entre 200 e 254 NTU. Nos ensaios com água bruta com valores de turbidez em faixas mais elevadas, a dosagem de 50 mg/L de *M. oleifera* isolada e combinada

com 200 mg/L de *A. vera* resultaram em residuais de cor aparente de 36,1 e 30,4 mg Pt-Co/L, respectivamente, após 60 minutos de sedimentação (Figura 5).

Já a combinação de 50 mg/L de *M. oleifera* e 400 mg/L de *A. vera* resultou no menor valor de cor aparente (15,4 mg Pt-Co/L), com desempenho melhor do que o observado para a dosagem de 100 mg/L de *M. oleifera* isolada ou combinada com *A. vera*, cujos valores de cor aparente permaneceram entre 17,5 e 19,6 mg Pt-Co/L. Com o uso da *A. vera* isolada, o valor médio observado para cor aparente após 60 minutos de sedimentação foi de 204,5 mg Pt-Co/L, o que demonstra que tal coagulante não foi capaz de promover a coagulação e formação de flocos.

Embora a turbidez da água bruta estivesse na faixa de 40 a 100 NTU, os valores de cor aparente observados para a água bruta permaneceram entre 203 e 218 mg Pt-Co/L. Mesmo com dosagem mais elevada de *M. oleifera* isolada ou combinada com *A. vera*, os valores residuais de cor aparente permaneceram entre 25,2 e 27,4 mg Pt-Co/L (Figura 6), o que corresponde a eficiências na faixa de 87% (Tabela 3). Eficiências ligeiramente superiores foram

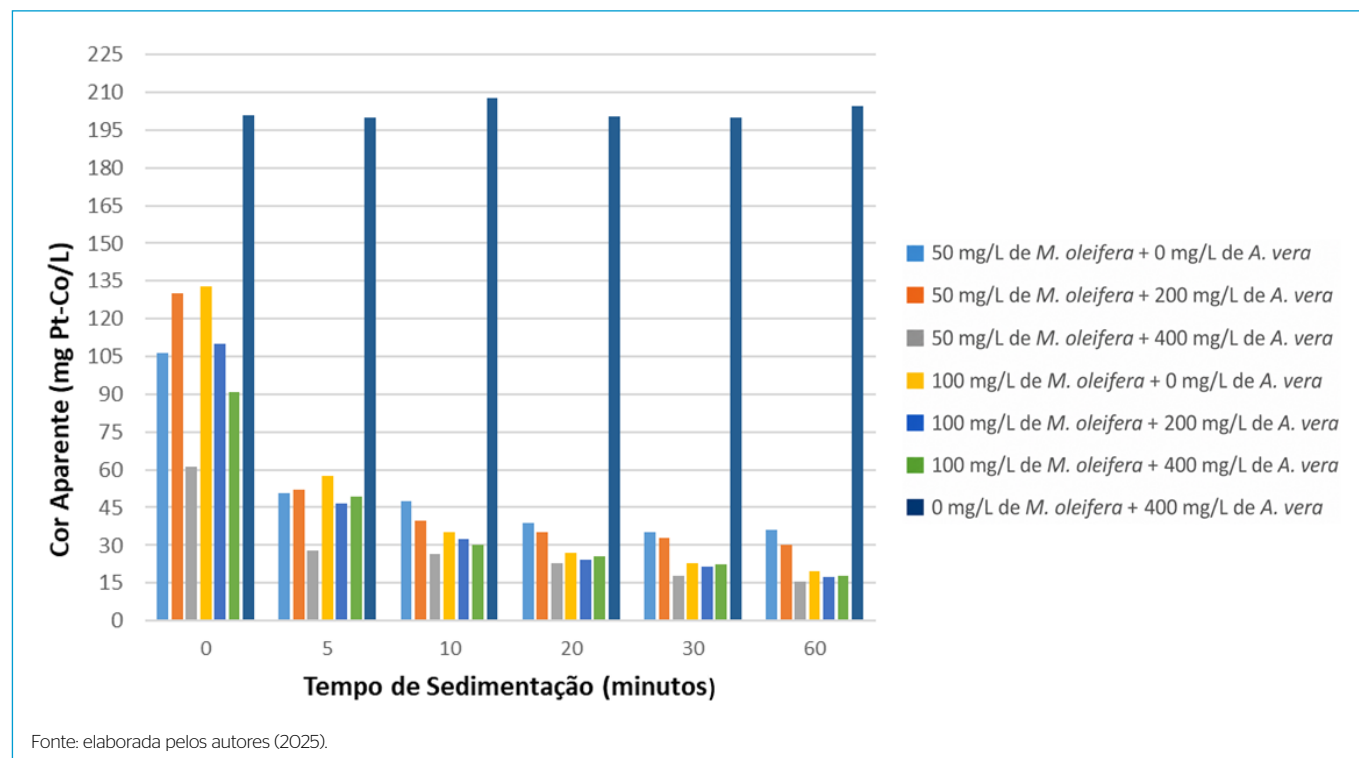


Figura 5 – Valores de cor aparente (mg Pt-Co/L) para as diferentes dosagens ao longo da sedimentação nos tratamentos realizados com água bruta na faixa de 200 a 254 NTU

observadas com dosagem de 100 mg/L de *M. oleifera* com e sem *A. vera* para a água bruta com valores de turbidez mais elevados, conforme a Tabela 3.

Já o uso isolado da *A. vera* resultou em elevados valores de cor aparente residual, 121 e 199 mg Pt-Co/L para as dosagens 200 e 400 mg/L, respectivamente. Para a dosagem de 200 mg/L a eficiência foi de 43,5%, enquanto na maior dosagem foi observada apenas 5,2% de eficiência.

Os resultados indicam que, embora a etapa de clarificação (coagulação, floculação e decantação) promova

reduções significativas de cor e turbidez, determinados valores residuais neste estudo permaneceram acima dos limites estabelecidos pela Portaria nº 888/2021 (Brasil, 2021) para água destinada ao consumo humano. Esse comportamento também foi observado por Bongiovani *et al.* (2016), que, ao utilizarem coagulante natural à base de tanino, obtiveram após a coagulação/floculação valores de cor aparente e turbidez superiores aos padrões de potabilidade. Somente após a etapa de filtração os autores verificaram a adequação da água tratada, com valores

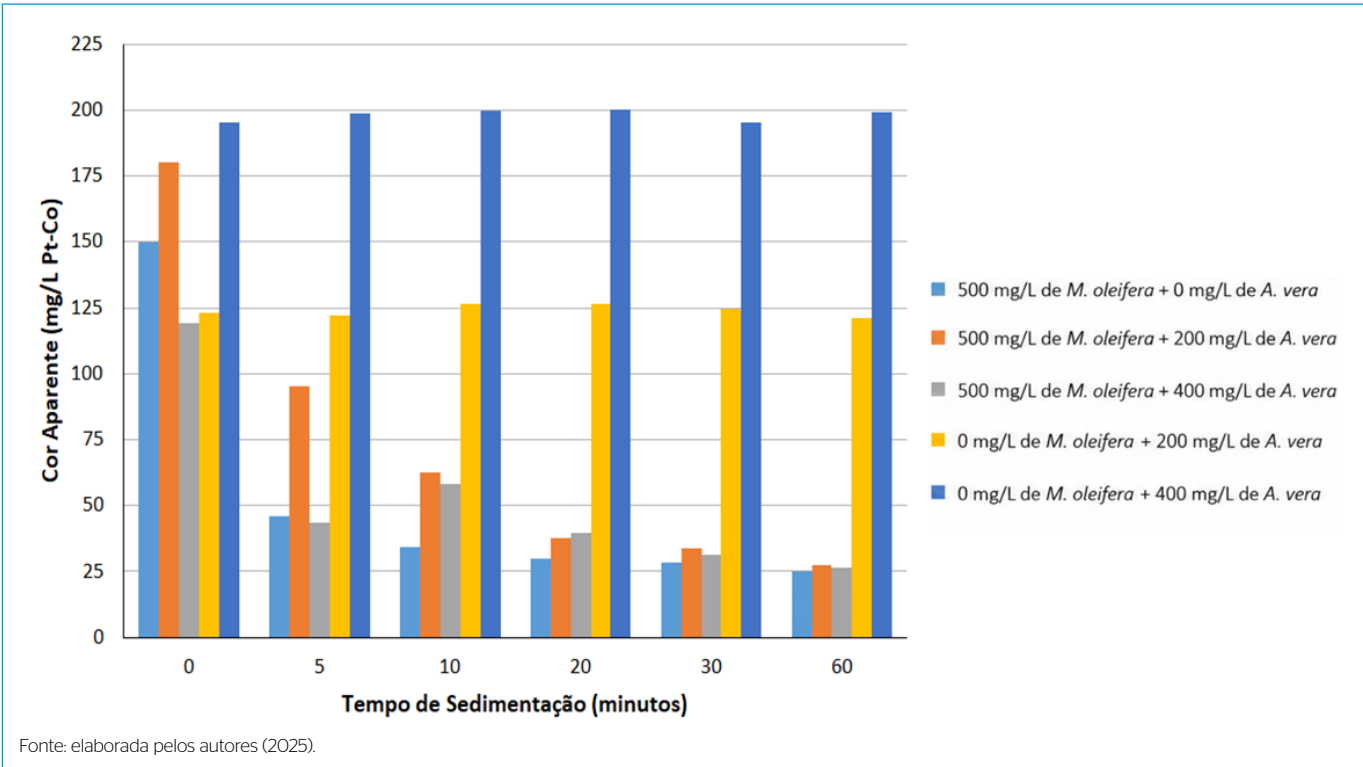


Figura 6 – Valores de cor aparente (mg Pt-Co/L) para as diferentes dosagens ao longo da sedimentação nos tratamentos realizados com água bruta na faixa de 40 a 100 NTU

Tabela 3 – Eficiência da remoção da cor aparente (%) após 60 minutos de sedimentação.

Turbidez água bruta = 200 a 254 NTU		Turbidez água bruta = 40 a 100 NTU	
<i>M. oleifera</i> + <i>A. vera</i> (mg L ⁻¹)	Eficiência (%)	<i>M. oleifera</i> + <i>A. vera</i> (mg L ⁻¹)	Eficiência (%)
50 + 0	82,9	500 + 0	87,9
50 + 200	84,9	500 + 200	87,2
50 + 400	92,7	500 + 400	86,9
100 + 0	90,6	0 + 200	43,5
100 + 200	91,1	0 + 400	5,2
100 + 400	90,9		
0 + 400	3,3		

Fonte: elaborada pelos autores (2025).

reduzidos para 2,62 mg Pt-Co/L de cor e 0,46 NTU de turbidez. Esses resultados reforçam que a clarificação isolada nem sempre é suficiente para assegurar a conformidade com os padrões legais, sendo a filtração uma etapa fundamental para a garantia da qualidade final da água.

A partir dos dados analisados, foi possível notar que a *A. vera* não atuou como coagulante, visto que usada isoladamente, as eficiências foram baixas tanto para remoção de turbidez como de cor aparente. Entretanto, a atuação conjunta com a *M. oleifera* em algumas combinações de dosagens foi responsável por discretas reduções de turbidez e cor aparente ao longo da sedimentação, sugerindo atuação da *A. vera* como um polímero auxiliar. Gaikwad e Munavalli (2019) constataram que a *A. vera* atua como agente auxiliar no processo de coagulação.

Enquanto a literatura atribui a capacidade coagulante da *M. oleifera* à presença de proteínas catiônicas hidrossolúveis (Al-Jadabi *et al.*, 2023; Gassenschmidt *et al.*, 1995; Santos *et al.*, 2009), com o principal mecanismo de coagulação sendo adsorção e neutralização de cargas (Ndabigengesere; Narasiah; Talbot, 1995), para a *A. vera* ainda há lacunas nesse sentido. Grupos funcionais responsáveis por ligações de hidrogênio intermoleculares e presença de grupos CH₃, responsáveis pela adsorção, podem ser responsáveis pela capacidade coagulante da *A. vera* (Benalia *et al.*, 2022). A presença de polissacarídeos e de ácidos poligalacturônicos na *A. vera* contribui para a formação e o crescimento dos flocos (Darkun *et al.*,

2024), reforçando a possibilidade de que a ação da *A. vera* é como um polímero auxiliar.

Além de uma melhor compreensão dos mecanismos de coagulação, considerando os resultados desta pesquisa, sugere-se mais investigações para compreender a influência do pH da água bruta e do método de preparo da solução de *A. vera*, como secagem da planta e obtenção de pó ou obtenção direta por processamento da planta *in natura*, no desempenho de tal coagulante.

CONCLUSÕES

A *M. oleifera*, utilizada isoladamente ou combinada com *A. vera*, apresentou elevado desempenho nos processos de coagulação e floculação, resultando em eficiência de remoção de turbidez superior a 90%. A associação entre os coagulantes proporcionou algum ganho em relação ao uso isolado da *M. oleifera* apenas em determinadas combinações de dosagens. Já a aplicação isolada de *A. vera* não apresentou desempenho satisfatório na formação de flocos e na clarificação da água. Assim, os dados deste estudo sugerem que, em determinadas combinações de dosagem, a *A. vera* atuou como um polímero auxiliar. É possível que os valores de pH da água bruta tenham desfavorecido o uso da *A. vera*. Assim, recomendam-se investigações que avaliem influência do pH, além da contribuição da etapa de filtração e dos métodos de preparo do extrato de *A. vera*, de modo a otimizar o uso combinado desses coagulantes naturais em diferentes condições sazonais do Rio Solimões.

REFERÊNCIAS

AL-JADABI, Naif; LAAOUAN, Mohamed; EL HAJJAJI, Souad; MABROUKI, Jamal; BENBOUZID, Maria; DHIBA, Driss. The dual performance of *M. oleifera* seeds as eco-friendly natural coagulant and as an antimicrobial for wastewater treatment: a review. *Sustainability*, v. 15, n. 5, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15054280>

AMORIM, Ana Clara Coli de; OLIVEIRA, Danieli Soares de. Utilização de Aloe vera para tratamento de água como alternativa ao uso de produtos químicos. In: IV Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia. *Anais...* Diamantina, 2023. <https://doi.org/10.29327/1298891.4-17>

ANG, Wei Lun; MOHAMMAD, Abdul Wahab. State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, v. 262, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22 ed. Washington: American Public Health Association, 2012. 1516 p.

BAPTISTA, Aline Takaoka Alves; COLDEBELLA, Priscila Ferri; CARDINES, Pedro Henrique Freitas; GOMES, Raquel Guttierres;

VIEIRA, Marcelo Fernandes; BERGAMASCO, Rosângela; VIEIRA, Angélica Marquetotti Salcedo. Coagulation-flocculation process with ultrafiltered saline extract of *Moringa oleifera* for the treatment of surface water. **Chemical Engineering Journal**, v. 276, p. 166-173, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.04.045>

BENALIA, Abderrezzaq; DERBAL, Kerroum; KHALFAOUI, Amel; PIZZI, Antonio; MEDJAHDI, Ghouti. The use of *Aloe Vera* as natural coagulant in Algerian drinking water treatment plant. **Journal of Renewable Materials**, v. 10, n. 3, p. 625-637, 2022. <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017848>

BENALIA, Abderrezzaq; BAATACHE, Ouiem; DERBAL, Kerroum; KHALFAOUI, Amel; AMROUCI, Zahra; PIZZI, Antonio; PANICO, Antonio. The use of central composite design (CCD) to optimize and model the coagulation-flocculation process using a natural coagulant: Application in jar test and semi-industrial scale. **Journal of Water Process Engineering**, v. 57, 104704, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104704>

BONGIOVANI, Milene Carvalho; CAMACHO, Franciele Pereira; COLDEBELLA, Priscila Ferri; VALVERDE, Karina Cardoso; NISHI, Letícia; BERGAMASCO, Rosângela. Removal of natural organic matter and trihalomethane minimization by coagulation/flocculation/filtration using a natural tannin. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 12, p. 5406-5415, 2016. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1006260>

BORRI, Rodrigo Babora; FREIRE, Rosane; BOINA, Welliton Leandro de Oliveira. Remoção da turbidez da água usando Aloe vera como coagulante natural. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.10, n. 12, 2014. <https://doi.org/10.17271/1980082710.122014857>

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 10 jan. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural**. Brasília: Funasa, 2019. 260 p. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf/08d94216-fb09-468e-ac98-afb4ed0483eb. Acesso em: 10 jan. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/2000, nº 10.768/2003, nº 11.107/2005, e nº 11.445/2007. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 10 jan. 2025.

www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 10 jan. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor 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, 7 maio 2021. Edição 85, p. 127.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Saúde Indígena. **Plano Distrital de Saúde Indígena - Distrito Sanitário Especial Indígena Vale do Javari - 2024-2027**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/sesai/planos-distritais-2024-2027/plano-distrital-vale-do-javari>. Acesso em: 10 jan. 2025.

CAMACHO, Franciele Pereira; SOUSA, Vânia Serrão; BERGAMASCO, Rosângela; TEIXEIRA, Margarida Ribau. The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. **Chemical Engineering Journal**, v. 313, p. 226-237, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>

DENG, Yang. Making Waves: Principles for the Design of Sustainable Household Water Treatment. **Water Research**, v. 198, 117151, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117151>

DARKUN, Kholil; MULYAWATI, Ira; FEBRINA, Laila; PATULAK, Asriana. The Influence of Aloe Vera Biocoagulant and Mixing Time in Reducing Biological Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand and Total Suspended Solids Levels. **Environmental Research, Engineering and Management**, v. 80, n. 3, p. 149-161, 2024. <https://doi.org/10.5755/j01.erem.80.3.35873>

GAIKWAD, Vitthal T.; MUNAVALLI, Guru. R. Turbidity removal by conventional and ballasted coagulation with natural coagulants. **Applied Water Science**, v. 9, n. 130, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1009-6>

GANDIWA, Bruce I.; MOYO, Langa Bright; NCUBE, Sokesimbone; MAMVURA, Tirivaviri Augustine; MGUNI, Liberty Lungisani; HLABANGANA, Nkosikhona. Optimisation of using a blend of plant-based natural and synthetic coagulants for water treatment: (*Moringa oleifera*-*Cactus Opuntia*-alum blend). **South African Journal of Chemical Engineering**, v. 34, p. 158-164, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.07.005>

GASSENSCHMIDT, Ursula; JANY, Klaus D.; BERNHARD, Tauscher; NIEBERGALL, Heinz. Isolation and characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects**, v. 1243, n. 3, p. 477-481, 1995. [https://doi.org/10.1016/0304-4165\(94\)00176-X](https://doi.org/10.1016/0304-4165(94)00176-X)

HADADI, Amina; IMESSAOUDENE, Ali; BOLLINGER, Jean-Claude; ASSADI, Aymen Amine; AMRANE, Abdeltif; MOUNI, Lotfi.

Comparison of four plant-based bio-coagulants performances against alum and ferric chloride in the turbidity improvement of bentonite synthetic water. **Water**, v. 14, n. 20, p. 3324, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14203324>

KENEA, Daniel; DENEKEW, Tibebe; BULTI, Rahel; OLANI, Bilise; TEMESGEN, Deme; SEFIW, Dawit; BEYENE, Dejene; EBBA, Million; MEKONIN, Wendesen. Investigation on surface water treatment using blended *Moringa oleifera* seed and *Aloe vera* plants as natural coagulants. **South African Journal of Chemical Engineering**, v. 45, p. 294-304, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.06.005>

MARTINS, Gabrielly Gomes; OLIVEIRA, Danieli Soares de. Avaliação do uso de coagulante natural à base de *Aloe vera* como alternativa no tratamento de água para remoção de turbidez. In: **Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA)**, 2023.

MURRAY, Paul M.; ROSE, Shanomae; OSBORNE, Chetwynd. Exploring the coagulant capability of *Moringa oleifera* seed powder at reducing turbidity in gold mine tailings slurry. **Journal of Academic Research and Essays**. 2022. <https://doi.org/10.52377/TYBQ5506>

NDABIGENGESERE, Anselme; NARASIAH, K. Subba; TALBOT, Brian G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. **Water Research**, v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)00161-Y](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)00161-Y)

NDABIGENGESERE, Anselme; NARASIAH, Subba. Influence of Operating Parameters on Turbidity Removal by Coagulation with *Moringa Oleifera* Seeds. **Environmental Technology**, v. 17, p. 1103-1112, 2010. <https://doi.org/10.1080/09593331708616479>

NHUT, Huynh Tan; HUNG, Tri Quang Hung; LAP, Bui Quoc; HAN, Le Thi Ngoc; TRI, Tran Quoc; BANG, Nguyen Hoang Kim; HIEP, Nguyen Thi; KY, Nguyen Minh. Use of *Moringa oleifera* seeds powder as bio-

coagulants for the surface water treatment. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 18, n. 8, p. 2173-218, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02935-2>

RODRIGUES, Andriane de Melo; AQUINO, Davi Santiago; CORDEIRO, Lilian Lopes. Avaliação de *Aloe arborescens* como coagulante para remoção de cor e turbidez em tratamento convencional de água. **Ingeniería del Agua**, v. 24, n. 2, p. 81-88, 2020. <https://doi.org/10.4995/ia.2020.11562>

SALEEM, Mussarat; BACHMANN, Robert Thomas. A contemporary review on plant-based coagulants for applications in water treatment. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 72, p. 281-297, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.12.029>

SANTOS, Andréa F. S.; LUZ, Luciana A.; ARGOLLO, Adriana C. C.; TEIXEIRA, José A.; PAIVA, Patrícia M. G.; COELHO, Luana C. B. B. Isolation of a seed coagulant *Moringa oleifera* lectin. **Process biochemistry**, v. 44, n. 4, p. 504-508, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2009.01.002>

SOUZA, H. K. S. **Utilização da semente, casca e vagem da *Moringa oleifera* Lam no processo de bio-sorção para remoção de Diuron de águas contaminadas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

TRIGUEROS, Daniela E. G.; HINTERHOLZ, Camila L.; FAGUNDES-KLEN, Márcia R.; VEIT, M.T.; FORMENTINI-SCHMITT, Dalila M. Statistical evaluation of the coagulation-flocculation process by using *Moringa oleifera* seeds extract to reduce dairy industry wastewater turbidity. **Bioresource Technology Reports**, v. 23, 101579, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101579>

YIN, Chun-Yang. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 9, p. 1437-1444, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>