

Avaliação da Goma do Cajueiro (*Anacardium occidentale*) como biocoagulante no tratamento de água

 <https://doi.org/10.47236/2594-7036.2025.v9.1808>

João Luca Isídio de Oliveira Almeida¹
Henety Nascimento Pinheiro²
Flávia Oliveira Monteiro da Silva Abreu³

Data de submissão concluída: 21/7/2025. Data de aprovação: 10/9/2025. Data de publicação: 24/9/2025.

Resumo – Para tornar o tratamento de água mais sustentável e econômico, biopolímeros têm sido estudados como biocoagulantes. Esses materiais demonstram excelentes resultados quando comparados aos coagulantes e floculantes convencionais. A goma do cajueiro surge como uma alternativa, devido às propriedades como abundância, fácil isolamento e atoxicidade. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da goma do cajueiro como biocoagulante e floculante em água turva sintética, comparando seu desempenho com o coagulante convencional sulfato de alumínio em água turva com caulim. A eficiência das substâncias isoladas e combinadas foi analisada em um aparelho *jar-test* simulando a etapa de coagulação/floculação. Medidas de turbidez e pH foram realizadas para determinar a eficiência, as concentrações ideais e o tempo de sedimentação do processo. Os testes demonstraram que a goma possui uma eficiência de cerca de 90% em ampla faixa de pH; já com os materiais combinados, utilizando a dosagem de 2 mg/L de goma do cajueiro, foi possível reduzir a quantidade de sulfato de alumínio em 52%, necessitando de 12 mg/L para uma remoção de 98,43% de turbidez. Além disso, o tempo de sedimentação foi reduzido pela metade quando a Goma do Cajueiro foi aplicada em conjunto com o sulfato de alumínio, sendo necessários 10 minutos para alcançar uma turbidez residual de 3,1 UNT, com eficiência de 97,5%. Conclui-se que a goma do cajueiro possui elevada eficiência para a remoção de turbidez e pode atuar como floculante reduzindo a quantidade do coagulante metálico necessário e o tempo do processo.

Palavras-chave: Biocoagulantes. Química verde. Tratamento de água.

Evaluation of Cashew Gum (*Anacardium occidentale*) as a biocoagulant in water treatment

Abstract - To make water treatment more sustainable and economical, biopolymers have been studied as biocoagulants. These materials demonstrate excellent results when compared to conventional coagulants and flocculants. Cashew gum emerges as an alternative due to its properties such as abundance, easy isolation, and non-toxicity. This study aimed to evaluate the efficiency of cashew gum as a biocoagulant and flocculant in synthetic cloudy water, comparing its performance with the conventional coagulant aluminum sulfate in cloudy water with kaolin. The effectiveness of the isolated and combined substances was analyzed in a jar-test apparatus simulating the coagulation/flocculation stage. Turbidity and pH measurements were taken to determine the efficiency, optimal concentrations, and sedimentation time of the process. The

¹ Mestre em Ciências Naturais pela Universidade Estadual do Ceará. Professor do Instituto Federal do Piauí. Corrente, Piauí, Brasil.  joao.isidio@ifpi.edu.br  <https://orcid.org/0000-0002-5073-3072>  <http://lattes.cnpq.br/4255269838810779>

² Doutorando em Ciências Naturais pela Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, Ceará, Brasil.  henety.pinheiro@alun.uece.br  <https://orcid.org/0000-0002-4039-5401>  <http://lattes.cnpq.br/5325214432461655>

³ Doutora em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professora da Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, Ceará, Brasil.  flavia.monteiro@uece.br  <https://orcid.org/0000-0003-4759-2739>  <http://lattes.cnpq.br/7921122115673207>

tests demonstrated that the gum has an efficiency of approximately 90% over a wide pH range, with the combined materials, using a dosage of 2 mg/L of Cashew Gum, it was possible to reduce the amount of aluminum sulfate by 52%, requiring 12 mg/L for a removal of 98.43% of turbidity. Furthermore, sedimentation time was halved when cashew gum was applied in conjunction with aluminum sulfate, requiring 10 minutes to achieve a residual turbidity of 3.1 UNT, with an efficiency of 97.5%. It can be concluded that cashew gum is highly efficient in removing turbidity and can act as a flocculant, reducing the amount of metal coagulant required and the process time.

Keywords: Biocoagulants. Green chemistry. Water treatment.

Evaluación de la goma del anacardo (*Anacardium occidentale*) como biocoagulante en el tratamiento de agua

Resumen – Para hacer el tratamiento de agua más sostenible y económico, se han estudiado biopolímeros como biocoagulantes. Estos materiales han demostrado excelentes resultados en comparación con los coagulantes y floculantes convencionales. La goma del anacardo surge como una alternativa debido a propiedades como su abundancia, fácil aislamiento y ausencia de toxicidad. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la goma del anacardo como biocoagulante y floculante en agua turbia sintética, comparando su desempeño con el coagulante convencional sulfato de aluminio en agua turbia con caolín. La eficiencia de las sustancias aisladas y combinadas se analizó en un equipo jar-test, simulando la etapa de coagulación/floculación. Se realizaron mediciones de turbidez y pH para determinar la eficiencia, las concentraciones ideales y el tiempo de sedimentación del proceso. Las pruebas demostraron que la goma posee una eficiencia de alrededor del 90% en un amplio rango de pH; con los materiales combinados, utilizando la dosis de 2 mg/L de goma del anacardo, fue posible reducir la cantidad de sulfato de aluminio en un 52 %, requiriéndose 12 mg/L para una remoción del 98,43 % de turbidez. Además, el tiempo de sedimentación se redujo a la mitad cuando la goma del anacardo se aplicó junto con el sulfato de aluminio, siendo necesarios 10 minutos para alcanzar una turbidez residual de 3,1 UNT, con una eficiencia del 97,5 %. Se concluye que la goma del anacardo presenta una elevada eficiencia para la remoción de turbidez y puede actuar como floculante, reduciendo la cantidad de coagulante metálico necesario y el tiempo del proceso.

Palabras clave: Biocoagulantes. Química verde. Tratamiento de agua.

Introdução

A poluição dos recursos hídricos é uma questão perene no debate da qualidade de vida da sociedade, pois a elevação da concentração de contaminantes no ambiente aquático dificulta o acesso à água potável em diversas regiões do planeta, principalmente devido à atividade antrópica (Lyu *et al.*, 2020). O descarte inadequado de materiais pela população e os efluentes industriais são fatores que contribuem para o aumento dos diferentes tipos de poluentes nos recursos hídricos utilizados para o abastecimento de água potável (Thompson *et al.*, 2020).

Dentre as operações unitárias realizadas nas estações de tratamento de água (ETA) e de efluentes (ETE) a etapa de coagulação/floculação é a que remove a maior carga de poluentes, tanto dissolvidos quanto em suspensão (Mishra; Kundu, 2019). Nessa etapa, são utilizados sais inorgânicos à base de alumínio ou ferro como coagulantes que, quando adicionados na água, sofrem reações de hidrólise formando aquocomplexos catiônicos, capazes de neutralizar a carga negativa das partículas suspensas causadoras de turbidez, favorecendo sua agregação em flocos maiores, os quais, posteriormente sedimentam no fundo do tanque de tratamento, gerando assim a clarificação da água tratada (Ang; Mohmamad, 2020).

Para reduzir a carga de poluentes ao fim do processo, além de tornar o tratamento mais sustentável e econômico, materiais obtidos da biomassa têm sido investigados como biocoagulantes. Esses materiais demonstram excelentes resultados em ensaios laboratoriais quando comparados aos coagulantes e floculantes convencionais, a saber: eficiência em ampla faixa de pH; baixas concentrações para aplicação; menor variação do pH; e menor volume de lodo ao final do processo (Lima Júnior *et al.*, 2020). Por serem abundantes na natureza, apresentam baixo custo para a produção e podem ser obtidos de diversas fontes, como sementes, cascas e exsudatos de árvores, fungos, metabólitos secundários e carapaças de crustáceos (Lima Júnior; Abreu, 2018).

Um material pouco estudado no tratamento de água e efluentes é a goma do cajueiro (GC), que possui propriedades atraentes, a exemplo de biodegradabilidade e abundância, para aplicação como biocoagulante (Klein *et al.*, 2018). Trata-se de um polissacarídeo obtido do exsudato do cajueiro com elevado peso molecular e cadeia ramificada, rico em grupos funcionais hidroxilas e carboxilas capazes de interagir com poluentes em meio aquoso. Possui diversos estudos para aplicação na área biomédica como em sistemas para liberação de fármacos sob a forma de nanopartículas, e também como hidrogéis superabsorventes para condicionamento do solo, porém, é pouco explorada para aplicações ambientais (Silva *et al.*, 2025).

Diante do exposto, é notória a necessidade de buscar materiais alternativos aos comumente utilizados no tratamento de água e efluentes, visando a uma redução de custos na produção, maior eficiência na remoção de poluentes e menor geração de poluição secundária durante e após o processo. Sendo assim, o presente trabalho busca avaliar a eficiência da GC como biocoagulante e floculante no tratamento de água para distribuição, utilizando água turva com caulim.

Materiais e métodos

Foram utilizados os seguintes reagentes para o isolamento da goma: Exsudato da goma do cajueiro (EMBRAPA); Etanol 96° GL (Santa Cruz); Etanol P.A (Neon); Acetona P.A (Dinâmica); Cloreto de Sódio P.A (Neon); Hidróxido de Sódio P.A (Neon); Ácido Clorídrico P.A (Dinâmica); Sulfato de Alumínio (Dinâmica) e Caulim (Neon).

Para o isolamento do polissacarídeo, foi utilizada a metodologia descrita por Paiva Júnior (2020). Inicialmente, o exsudato obtido do campus experimental da EMBRAPA, situado no município de Pacajus-CE, foi triturado e separado dos pedaços de casca restantes. Em seguida, foram preparados 100 mL de uma solução de concentração 10% (m/v) do exsudado em água destilada, que foi colocada sob agitação durante três horas. Após esse período, a solução foi filtrada em funil de placa sinterizada número três, para a remoção de materiais suspensos. Após a filtração, foi adicionado hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol/L até pH igual a sete, e, em seguida, cinco gramas de cloreto de sódio (NaCl), mantendo o sistema sob agitação durante trinta minutos. Após esse período, o polissacarídeo foi precipitado com 400 mL de etanol 96° GL e filtrado em funil de placa sinterizada de número um. Após a precipitação, o polissacarídeo foi lavado duas vezes com Etanol P.A e uma vez com Acetona P.A, para posterior secagem a 50 °C. Após o isolamento, foi realizado o cálculo do rendimento em massa utilizando a Equação (1):

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{m_{\text{final}}}{m_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (1)$$

Após a etapa de isolamento, a goma foi caracterizada por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Os espectros foram obtidos utilizando um espectrofotômetro modelo Nicolet is5 da Thermo Scientific. A amostra foi preparada na forma de pastilhas de KBr na proporção 1:20 (m/m) (amostra/KBr) e os espectros registrados no intervalo de 4000 a 400 cm⁻¹, empregando-se 32 scans e resolução de 4 cm⁻¹.

Para a realização dos testes de coagulação/floculação, foi preparada uma água turva utilizando Caulim, a fim de aumentar a turbidez. Inicialmente foram pesados 3g de Caulim para posteriormente serem adicionados em 1L de água. O sistema ficou sob agitação magnética durante 3h para a dispersão do material particulado e, após isso, foi mantido em repouso por 2h. Após esse período, a água turva foi sifonada a uma bombona onde ficou armazenada para a realização dos testes nos quais foram utilizados 200 mL da água turva preparada que diluídas em 300 mL de água para se obter um volume de 500 mL em cada cuba de acrílico.

Os coagulantes foram adicionados ao sistema que, em seguida, foi submetido a uma mistura rápida a 200 rpm por dois minutos e a mistura lenta a 40 rpm por dois minutos. Após esse período, o sistema foi mantido em repouso durante certo tempo e o sobrenadante foi retirado cuidadosamente a 2 cm abaixo da superfície com o auxílio de pipetas volumétricas de 50 mL para determinar os parâmetros físico-químicos. Para otimizar as condições do processo, foram determinadas as condições ideais de pH, concentração e tempo de sedimentação dos coagulantes utilizados.

Após a determinação das condições ideais de cada coagulante utilizado, foi avaliada a eficiência da utilização do $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, em conjunto com a GC atuando como floculante, com o intuito de avaliar o efeito sinérgico de ambos no tratamento. Inicialmente foi determinado o pH ideal dos materiais em conjunto, cujo valor variou de 4 a 9, utilizando 15 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e 3 mg/L de GC, sob as mesmas condições de agitação da primeira etapa. Após isso, a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ foi variada de 1 mg/L a 50 mg/L, no pH ideal, com 3 mg/L de GC, para verificar a concentração ideal de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ no conjunto. Para determinar a dosagem ideal de GC em conjunto do $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, foi mantida a concentração ideal de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e a concentração de GC variou de 1mg/L a 7 mg/L, no pH ideal. Por fim, foi determinado o tempo de sedimentação, utilizando as condições ideais previamente determinadas em um intervalo de 1 minuto a 25 minutos de sedimentação.

Para avaliar a eficiência de remoção de turbidez, foi utilizado um turbidímetro da marca Del Lab (modelo DLI 2500). A eficiência de remoção foi calculada com base na Equação (2).

$$\% \text{Remoção}_{\text{Turbidez}} = \frac{(\text{Turbidez}_{\text{Final}} - \text{Turbidez}_{\text{Inicial}})}{(\text{Turbidez}_{\text{Inicial}})} \quad (2)$$

Resultados e discussões

Rendimento do isolamento da GC

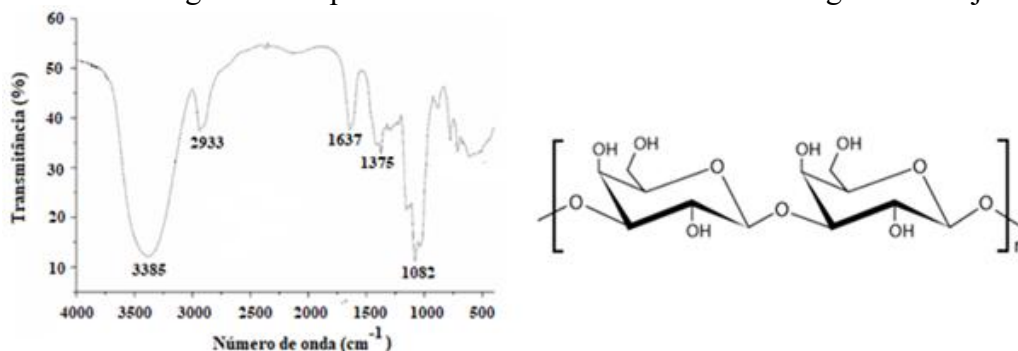
Após o isolamento, foi possível observar que seu rendimento foi de 65,3%. Nos trabalhos de Rodrigues, Paula e Costa (1993), o rendimento, durante a etapa do isolamento, chegou a 78%; porém, o experimento foi feito com um tempo de agitação de 24 horas com uma solução menos concentrada (4%), sendo necessário assim um tempo maior para o isolamento do que a metodologia adaptada que foi utilizada. No trabalho desenvolvido por Hasnain e colaboradores (2018), em que se utilizou outra metodologia para isolamento, foi obtido um rendimento de apenas 19,2%. Na metodologia de isolamento, o material foi seco a 50°C por 10 horas, dissolvido em água quente e resfriado durante a noite, e precipitado com Acetona P.A na proporção de 2:1 em volume (v:v).

Após o isolamento, ficou evidenciado que a metodologia utilizada se adequa para o propósito, pois apresentou elevado rendimento com menor consumo de reagentes e menor tempo para a realização do processo, favorecendo-o, em comparação com outras metodologias

Avaliação dos grupos funcionais da GC por FTIR

Após o processo de isolamento da GC, foi realizada a determinação dos grupos funcionais presentes na estrutura do biopolímero utilizando FTIR. A Figura 1 apresenta o espectro de infravermelho obtido após o isolamento da goma.

Figura 1 – Espectro de infravermelho e estrutura da goma do cajueiro.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

O espectro mostra uma banda de absorção em 3385 cm^{-1} , referente ao estiramento dos grupos hidroxila (O-H) presentes na estrutura. A pequena banda de absorção em 2933 cm^{-1} se refere aos estiramentos simétricos e assimétricos das ligações C-H. A absorção em 1637 cm^{-1} é atribuída à deformação assimétrica dos grupos hidroxila, e a banda em 1082 cm^{-1} é atribuída ao estiramento das ligações C-O-C. A banda em 1375 cm^{-1} se refere ao alongamento C-O dos grupos carboxila das unidades de ácido glucurônico. Os resultados obtidos no espectro estão em concordância com espectros da goma apresentados em outros trabalhos na literatura (Klein *et al.*, 2018; Hasnain *et al.*, 2018; Ribeiro *et al.*, 2016).

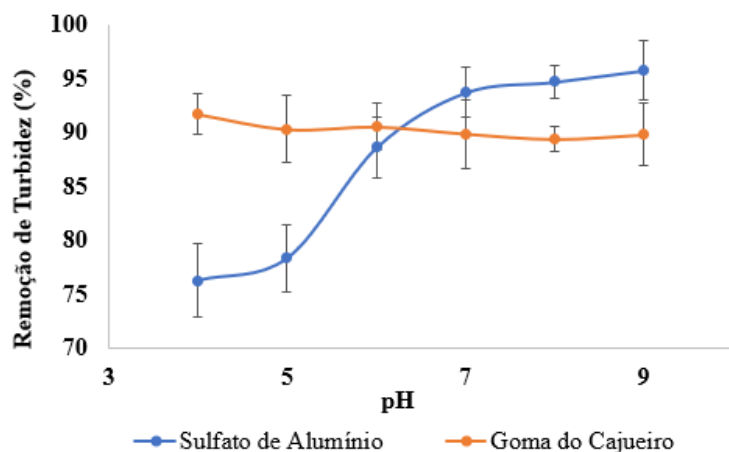
Após o isolamento e a caracterização, ficou evidenciado que a metodologia utilizada se adequa para o propósito, gerando um elevado rendimento, com menor consumo de reagentes e menor tempo para a realização do processo, favorecendo-o, em comparação com outras metodologias.

Ensaio de Coagulação/Floculação

Inicialmente foi determinado o pH ideal para a GC e o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. A eficiência de cada coagulante na faixa de pH variando de 4 a 9 foi analisada com base no gráfico representado na Figura 2.

Para o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, observa-se uma baixa eficiência, em torno de 75% na remoção de turbidez, em meio ácido; porém, a partir do pH 7, a eficiência se eleva para cerca de 95%. Esse comportamento se deve ao mecanismo que rege a atividade coagulante do $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Para que ocorra a reação de hidrólise que formará os aquacomplexos catiônicos, os quais desestabilizarão a carga negativa do caulim suspenso, é necessária a reação do $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ com os íons hidróxido ($-\text{OH}$). Com isso, ocorre a formação de espécies catiônicas e do hidróxido de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$), que se constitui de um precipitado gelatinoso capaz de agregar as partículas de caulim suspensas formando os flocos (Bratby, 2016). Em pH ácido, a quantidade de íons $-\text{OH}$ não é suficiente para produzir as espécies efetivas do coagulante, por isso a eficiência é baixa; porém, com a elevação do pH ocorre um aumento da quantidade de íons $-\text{OH}$ que favorecem a formação do $\text{Al}(\text{OH})_3$ em quantidade suficiente para desestabilizar o material suspenso e elevar a eficiência de remoção de turbidez (Chiavola *et al.*, 2023).

Figura 2 – Eficiência da remoção de turbidez em diferentes valores de pH.

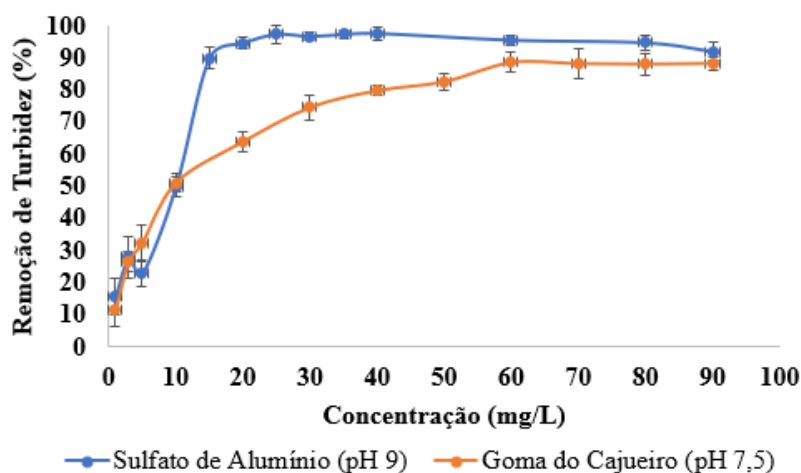


Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Para a GC, é possível perceber um comportamento diferente do observado para o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, pois sua eficiência permanece constante na faixa de pH estudado. Isso se deve ao mecanismo de formação dos flocos, pois a GC não atua consumindo a alcalinidade já que atua pelo mecanismo de formação de pontes poliméricas ou varredura (Yang *et al.*, 2016). Esses mecanismos sugerem que as partículas suspensas de Caulim são agregadas ao longo da cadeia da GC através do aprisionamento em uma estrutura polimérica, que captura os flocos devido à extensa cadeia do polissacarídeo, favorecendo a formação dos flocos para posterior sedimentação (Lapointe; Barbeau, 2020; Klein *et al.*, 2018).

Após a determinação da condição ideal de pH a ser utilizada para cada coagulante, foi determinada a dosagem ideal de cada coagulante a ser utilizada para uma máxima eficiência. A Figura 3 demonstra o gráfico obtido após a realização dos testes com diferentes dosagens. Para a GC, foi utilizado o pH 7,5 e, para o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, o pH foi 9.

Figura 3 – Remoção de turbidez em função da concentração dos coagulantes. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ em pH 9 e GC em pH 7,5.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Observa-se, para o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, uma faixa de concentrações onde há maior eficiência na remoção de turbidez, chegando a 97,4% com 25 mg/L e mantendo a eficiência até 90 mg/L. Para a GC, observa-se uma faixa ideal que vai de 60 mg/L a 90 mg/L com remoção de cerca de 90% de turbidez. A necessidade de uma maior dosagem para a GC se deve ao fato de o polissacarídeo não ter cargas positivas em sua estrutura, e atuar na agregação de flocos por outros mecanismos. Sendo assim, é necessária uma maior dosagem de GC para que seja

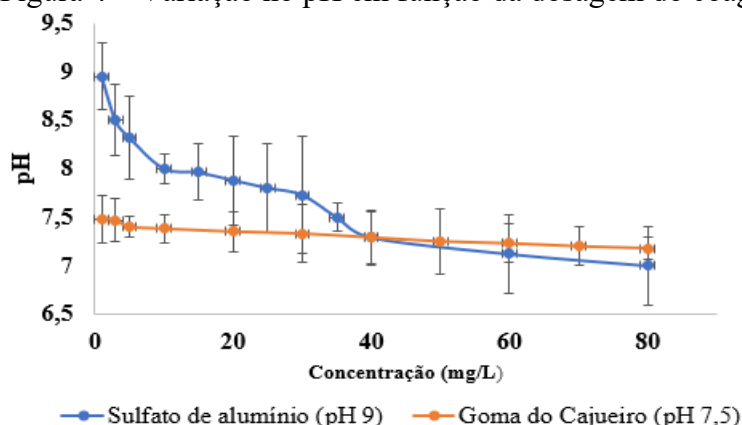
eficiente no processo de agregar as partículas em flocos maiores, utilizando a extensão de sua cadeia polimérica, “capturando-os” em vez de causar redução da carga superficial (Lugo *et al.*, 2020). Essa “captura” do material particulado para agregação em flocos maiores pode ocorrer através de interações do tipo ligação de hidrogênio ou interações de Van der Waals (Freitas *et al.*, 2018).

Apesar de necessitar de uma dosagem cerca de 2,4 vezes menor que a GC, o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ deixa íons alumínio residuais na água que podem estar associados ao desenvolvimento de algumas doenças como Alzheimer, além de gerar um lodo rico em espécies metálicas que necessita de disposição ambiental correta, gerando um certo custo a mais no tratamento (Polizzi *et al.*, 2002; Hu *et al.*, 2013). Já a GC não causa os problemas citados para o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e, além disso, possui boa eficiência em ampla faixa de pH não necessitando de gasto com mais reagentes para corrigi-lo.

No estudo de Igwegbe *et al.* (2020) foi utilizado o extrato de Orobô (*Garcinia kola*) cujos resultados demonstraram uma redução de 74,23% na turbidez, com concentração de 115 mg/L, porém com eficiência restrita à faixa ácida com pH ideal igual a 2, que minimiza os efeitos repulsivos do coagulante no efluente tratado. Comparando com esse estudo, a GC se torna mais eficiente, pois, além de ter uma eficiência maior com menor dosagem, é possível ser aplicada em ampla faixa de pH. Esse comportamento se deve à cadeia ramificada da GC, que intensifica o aprisionamento dos flocos, tornando-os mais densos para sedimentação, além da baixa densidade de carga, que minimiza a repulsão com o Caulim e favorece a remoção de turbidez (Lim *et al.*, 2022).

Na Figura 4 é possível observar o perfil da variação do pH após a adição das diferentes dosagens dos coagulantes no pH ideal de estudo para cada. É possível perceber que o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ provoca uma queda mais acentuada no pH do meio, causando uma redução de 13,3% no pH, utilizando a dosagem ideal de 25 mg/L. Essa variação ocorre devido ao mecanismo de formação dos aquocomplexos catiônicos, que acabam liberando íons H^+ devido às reações de hidrólise para formar novas espécies e, consequentemente, causam a redução no pH (Bratby, 2016).

Figura 4 – Variação no pH em função da dosagem do coagulante.



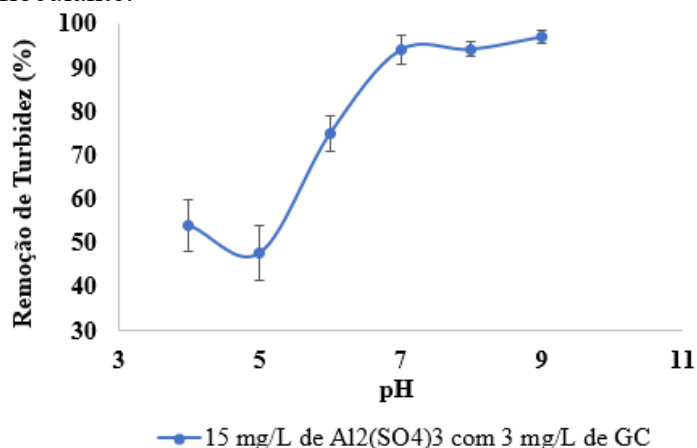
Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Para a GC, observa-se que o pH se mantém praticamente constante ao longo da faixa de concentrações analisadas, pois, diferentemente do sulfato de alumínio, a GC não atua por mecanismos que produzam íons H^+ devido a reações de hidrólise; com isso, não forma espécies consideravelmente ácidas no meio (Lima Júnior; Abreu, 2018). Na dosagem ideal de 60 mg/L para a GC, observa-se uma pequena redução de 3,5% no pH. Isso se deve à ionização de grupos ácidos devido à presença de ácido glucurônico na cadeia do polissacarídeo, mas que não causa uma variação significativa no pH (Kim *et al.*, 2018). Essa é outra vantagem da GC sobre o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ pois o pH é um parâmetro essencial para a distribuição da água; se for muito ácido

ou alcalino, pode causar deterioração das tubulações, além do fato de que não seria necessária sua correção quando a GC fosse utilizada como coagulante devido à baixa variação, algo que não ocorre com o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ que causa uma maior queda no pH, necessitando de correção e aumentando os gastos do tratamento.

No intuito de avaliar a eficiência da GC como um floculante em potencial para a substituição dos floculantes comumente utilizados, foram realizados testes em conjunto com o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ objetivando verificar a influência da GC no processo e analisar uma possível redução na dosagem ideal do coagulante a ser empregada no processo. A Figura 5 mostra a eficiência da remoção de turbidez em função do pH, utilizando uma dosagem de 15 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ como coagulante e 3 mg/L de GC como floculante. Como é possível observar na Figura 5, a tendência de um aumento da eficiência é a mesma observada quando se aplica o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sem auxílio da GC. Isso se deve ao fato de o mecanismo dominante ser a redução/neutralização de cargas por parte das espécies catiônicas do $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e a varredura por parte do $\text{Al}(\text{OH})_3$ formado em pH mais elevado devido à necessidade do consumo da alcalinidade para produzir as espécies responsáveis pela agregação das partículas (Lima Júnior *et al.*, 2020).

Figura 5 – Eficiência da remoção de turbidez em diferentes pHs utilizando a GC como floculante.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Após a determinação do pH ideal, a concentração de GC foi mantida constante (3 mg/L) e a do $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ foi variada para a determinação da dosagem ideal com o auxílio da GC como floculante. A Tabela 1 mostra a eficiência de remoção de turbidez, bem como a redução do pH para as diferentes concentrações de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ empregadas. Como pode ser visualizado na Tabela 1, a dosagem ideal para o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, em conjunto com a GC atuando como floculante, foi de 12 mg/L, uma redução de 52% quando comparada com a dosagem ideal quando se utiliza somente o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Tabela 1 – Eficiência da remoção de turbidez variando a dosagem do $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

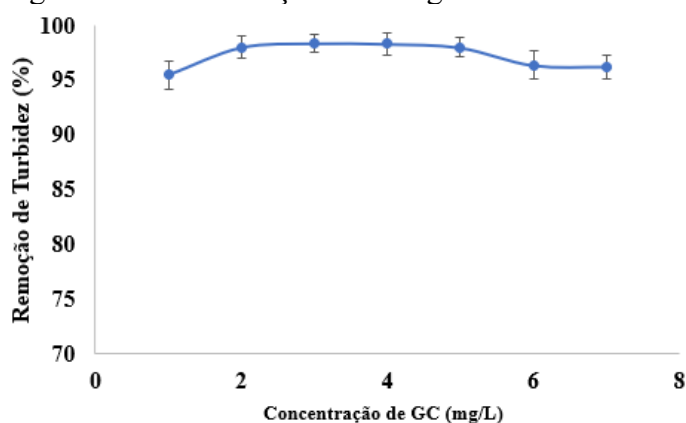
Concentração de GC (mg/L)	Concentração de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/L)	Remoção de Turbidez (%)	Redução do pH (%)
3	3	55,54±3,22	4,67±0,13
3	5	55,03±2,32	6,33±0,10
3	10	62,76±1,15	6,67±0,19
3	12	98,43±2,20	8,33±0,12
3	15	98,49±1,30	9,67±0,15
3	20	98,65±2,55	11,56±0,19
3	30	97,24±3,33	14,44±0,13

3	40	96,70±6,54	15,56±0,20
3	50	95,95±2,70	18,78±0,14

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Esse resultado evidencia a eficiência da GC como floculante, pois sua cadeia polimérica atua agregando os flocos formados pela desestabilização das cargas causadas pelo $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ em flocos maiores, reduzindo a dosagem de coagulante necessária. Após essa etapa foi feita a determinação da dosagem ideal da GC atuando como floculante, em concentrações variando de 1 mg/L a 7 mg/L. A Figura 6 mostra como foi a eficiência de remoção de turbidez utilizando 12 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ em conjunto com diferentes dosagens da GC.

Figura 6 – Determinação da dosagem ideal da GC.



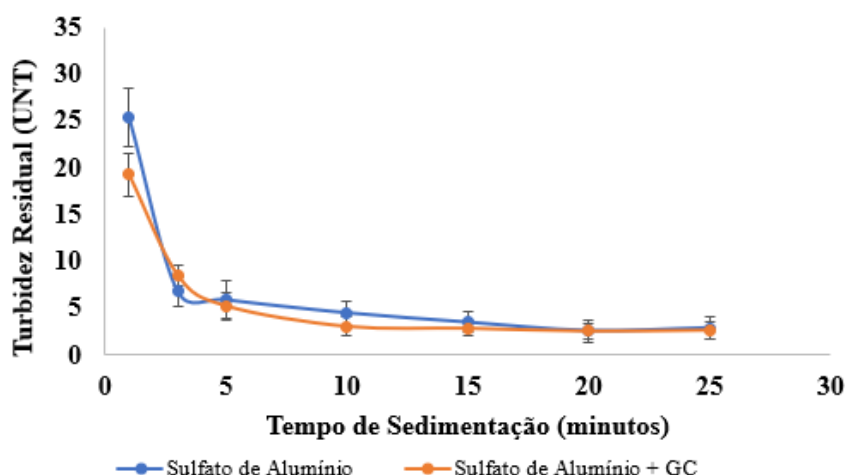
Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

É possível observar que a eficiência de remoção de turbidez se manteve praticamente constante, em torno de 98%, na faixa de concentrações da GC estudadas, evidenciando sua eficiência como floculante. Como não houve variação significativa na eficiência, fica evidenciado que a utilização de 2 mg/L de GC é suficiente para atuar em conjunto com o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e maximizar a eficiência do processo. Essa eficiência se deve à capacidade da GC em agregar os flocos formados na etapa de coagulação, para formar flocos maiores devido às interações ao longo da cadeia polimérica ramificada; isso favorece a captura de uma maior quantidade de flocos após a redução da carga superficial das partículas suspensas devido à ação do coagulante metálico (Lapointe; Barbeau, 2020).

No estudo realizado por Chua *et al.* (2020), foi avaliada a eficiência da goma da semente da Sesbania, com eficiência de 98,3% na remoção de turbidez, e concentração de 4,25 mg/L da goma com 10,2 mg/L do coagulante à base de cloreto de ferro (III). Apesar da elevada eficiência, é necessária uma maior dosagem que a GC, além de diversas etapas para isolamento da goma com utilização de reagentes ácidos e aquecimento a elevadas temperaturas.

Outro parâmetro avaliado foi o tempo de sedimentação somente do $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e dele com a GC. A eficiência do processo de coagulação/floculação depende do tempo de sedimentação dos flocos formados, sendo mais vantajoso um processo com menor tempo (Lima Junior *et al.*, 2020). A Figura 7 mostra o comparativo realizado em um intervalo de 25 minutos de sedimentação.

Figura 7 – Turbidez residual e função do tempo de sedimentação.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

É possível observar na Figura 7 que o tempo de sedimentação para a GC, em conjunto com o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, foi de 10 minutos para reduzir a turbidez para 3,1 UNT, abaixo do valor de 5 UNT indicado como valor máximo permitido pela portaria GM/MS/88 para águas antes da filtração (Brasil, 2021). Com a combinação dos materiais a eficiência foi de 97,5% enquanto o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ necessita de 20 minutos para deixar a turbidez residual a menor possível, 2,6 UNT após esse tempo, com uma eficiência de 97,9%.

Quando a GC atua em conjunto, o tempo de sedimentação é menor, indicando que a goma auxilia na formação de flocos mais densos, que sedimentam com maior velocidade, favorecendo o processo devido ao menor tempo necessário para a realização da operação (Ang; Mohammad, 2020). Essa eficiência evidencia a capacidade de a GC atuar como floculante em comparação com outros biomateriais presentes na literatura, necessitando de menos etapas para isolamento e menos concentração para aplicação no processo.

Considerações finais

No presente trabalho, a GC foi isolada com o intuito de avaliar sua eficiência como biocoagulante e floculante em água turva com caulim. Após a realização dos testes, ficou evidenciado que a GC possui potencial de aplicação em ampla faixa de pH (4 a 9) com eficiência em torno de 90%, enquanto o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ possui uma faixa de pH restrita para sua aplicação, sendo pouco eficiente em meio ácido. Quando aplicada em conjunto com o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, a GC reduz em 52% a dosagem do coagulante metálico, necessitando de 12 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e apenas 2 mg/L de GC para atingir uma eficiência de 97,5% de remoção de turbidez. Além disso, a GC reduz o tempo ideal de sedimentação em 50% do tempo necessário, ao comparar quando se utiliza somente o coagulante metálico. Sendo assim, é possível concluir que a GC é uma ótima alternativa para aplicação na etapa de coagulação/floculação devido à elevada eficiência, tanto como coagulante quanto como floculante, sendo um material de origem natural que gera menos resíduos durante o processo e o torna mais sustentável.

Referências

ANG, W. L.; MOHAMMAD, A. W. State of the Art and Sustainability of Natural Coagulants in Water and Wastewater Treatment. **Journal of Cleaner Production**, v. 262, p. 121267, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>.

BRASIL. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Brasília, DF. Ministério da Saúde, [2021]. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html

BRATBY, J. **Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment**. 1ed. IWA Publishing, Reino Unido, 2016. 538p.

CHIAVOLA, A. *et al.* Combined Experimental-Modeling Approach for Turbidity Removal Optimization in a Coagulation–Flocculation Unit of a Drinking Water Treatment Plant.” **Journal of Process Control**, v. 130, p.103068-103077, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2023.103068>.

CHUA, S. C. *et al.* Optimized Use of Ferric Chloride and Sesbania Seed Gum (SSG) as Sustainable Coagulant Aid for Turbidity Reduction in Drinking Water Treatment. **Sustainability**, v. 12, p. 2273-2285, 2020.

FREITAS, T. K. F. S. Review of Utilization Plant-Based Coagulants as Alternatives to Textile Wastewater Treatment. Textile and Clothing Technology. In: MUTHU, S. S. **Detox Fashion: Waste Water Treatment**. 1 ed. Singapore: Springer, 2018. P. 27-79.
https://doi.org/10.1007/978-981-10-4780-0_2.

HASNAIN, M. S. *et al.* Extraction and Characterization of Cashew Tree (*Anacardium Occidentale*) Gum; Use in Aceclofenac Dental Pastes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 116, p. 1074-1081, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.133>.

HU, C. Y. *et al.* Treatment of Highly Turbid Water Using Chitosan and Aluminum Salts. **Separation and Purification Technology**, v. 104, p. 322-326, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.11.016>.

IGWEBE, C. A *et al.* Prediction and optimisation of coagulation-flocculation process for turbidity removal from aquaculture effluent using *Garcinia kola* extract: Response surface and artificial neural network methods. **Cleaner Chemical Engineering**, v. 4, p. 100076-100091, 2022.

JIANG, J. Q. **The Role of Coagulation in Water Treatment**. Current Opinion in Chemical Engineering, v. 8, p. 36-44, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2015.01.008>.

KIM, S.; *et al.* Solubilization of Cashew Gum from *Anacardium Occidentale* in Aqueous Medium. **Carbohydrate Polymers**, v. 199, p. 205-209, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.022>.

KLEIN, J. M. *et al.* Preparation of Cashew Gum-Based Flocculants by Microwave- and Ultrasound-Assisted Methods. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 107, p. 1550-1558, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.118>.

LAPOINTE, M.; BARBEAU, B. Understanding the Roles and Characterizing the Intrinsic Properties of Synthetic vs. Natural Polymers to Improve Clarification through Interparticle Bridging: A Review. **Separation and Purification Technology**, v. 231, p. 115893, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115893>.

LIM, V. H. *et al.* Comparison of cationic flocculants with different branching structure for the flocculation of negatively charged particles coexisting with humic substances. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, p. 108478, 2022.

LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. S. Natural Products Used as Coagulants and Flocculants for Public Water Supply: A Review of Benefits and Potentialities. **Revista Virtual de Química**, v. 10 (3), p. 709-735, 2018. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180052>

LIMA JÚNIOR, R. N. *et al.* Chitosan and carboxymethylchitosan as a high turbidity water biocoagulantes. **Journal of Renewable Materials**, v. 8, p. 1489-1504, 2020. <https://doi.org/10.32604/jrm.2020.011629>

LUGO, L. *et al.* Implementation of Modified Acacia Tannin by Mannich Reaction for Removal of Heavy Metals (Cu, Cr and Hg). **Water (Switzerland)**, v. 12 (2), p.352-362, 2020. <https://doi.org/10.3390/w120203>

LYU, F. *et al.* Efficient and Fast Removal of Pb 2+ and Cd 2+ from an Aqueous Solution Using a Chitosan/Mg-Al-Layered Double Hydroxide Nanocomposite. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 539, p.184-193, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.12.049>.

MISHRA, S.; KUNDU, K. Synthesis, Characterization and Applications of Polyacrylamide Grafted Fenugreek Gum (FG-g-PAM) as Flocculant: Microwave vs Thermal Synthesis Approach. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 141, p. 792-808, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.033>.

PAIVA JÚNIOR, José Ribamar. **Nanopartículas por Complexação Polieletrólítica à Base de Goma do Cajueiro Modificada/Quitosana para Encapsulamento do Acetato de Timila**. 2020. Dissertação (Mestrado em Química) – Departamento de Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza -CE, 2020.

POLIZZI, S. *et al.* Neurotoxic Effects of Aluminium among Foundry Workers and Alzheimer's Disease. **NeuroToxicology**, v. 23, p. 761-764, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0161-813X\(02\)00097-9](https://doi.org/10.1016/S0161-813X(02)00097-9).

RIBEIRO, A. J. *et al.* Gums' Based Delivery Systems: Review on Cashew Gum and Its Derivatives. **Carbohydrate Polymers**, v.147, v. 188-200, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.02.042>.

RODRIGUES, J. F.; PAULA, R. C. M.; COSTA, S. M. O. Métodos de Isolamento de Gomas Naturais: Comparação Através da Goma do Cajueiro (*Anacardium occidentale* L). **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. 31-36, 1993.

SILVA, M. T. *et al.* Cashew gum as future multipurpose biomacromolecules. **Carbohydrate Polymers**, v. 347, p. 122749-122770, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122749>

THOMPSON, F. *et al.* Severe Impacts of the Brumadinho Dam Failure (Minas Gerais, Brazil) on the Water Quality of the Paraopeba River. **Science of the Total Environment**, v. 705, p. 1-6, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135914>.

YANG, R. *et al.* A Review on Chitosan-Based Flocculants and Their Applications in Water Treatment. **Water Research**, v. 95, p. 59-89, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.02.068>.

Agradecimentos

Aos Laboratórios de Química Analítica e Ambiental (LAQAM) e de Polímeros Naturais (LAPONAT), da Universidade Estadual do Ceará -UECE, pelo espaço cedido para a realização de experimentos. Ao Laboratório de Química de Produtos Naturais (LQPN) pela realização da análise de infravermelho. Ao Laboratório de Química do Campus Corrente, do Instituto Federal do Piauí, pelo espaço cedido para realização de testes.

Informações complementares

Descrição		Declaração
Financiamento		Não se aplica.
Aprovação ética		Não se aplica.
Conflito de interesses		Não há.
Disponibilidade dos dados de pesquisa subjacentes		O trabalho não é um <i>preprint</i> e os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos neste artigo.
CrediT	João Luca Isidio de Oliveira Almeida	Funções: conceitualização, investigação, metodologia, administração do projeto, visualização e escrita – rascunho original.
	Henety Nascimento Pinheiro	Funções: investigação, metodologia e escrita – rascunho original.
	Flávia Oliveira Monteiro da Silva Abreu	Funções: conceitualização, supervisão e escrita – rascunho original.

Avaliadores: Os avaliadores optaram pela avaliação fechada e por ficar em anonimato.

Revisora do texto em português: Marilene Barbosa Pinheiro.

Revisora do texto em inglês: Adriana de Oliveira Gomes Araújo.

Revisora do texto em espanhol: Graziani França Claudino de Anicézio.