



Investigação da eficiência do cacto com e sem epiderme no tratamento de água e suas implicações ambientais

Investigation of the efficiency of cactus with and without epidermis in water treatment and its environmental implications

Investigación de la eficacia del cactus con y sin epidermis en el tratamiento del agua y sus implicaciones ambientales

 **Ana Beatriz Matos Santos** E-mail: anabeatrizmatos@academico.ufs.br

 **Ana Lara Araújo Santos** E-mail: analarah.santos@gmail.com

 **Tamires Santos Rosa** E-mail: tamiresrosa13@hotmail.com

 **Luciana Coêlho Mendonça** E-mail: lumendon@academico.ufs.br

 **Débora de Gois Santos** E-mail: deboragois@academico.ufs.br

 **Denise Conceição de Gois Santos Michelin** E-mail: denise_gois@yahoo.com.br

 Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE, Brasil

 Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE, Brasil

 Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE, Brasil

 Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE, Brasil



Resumo: A busca por alternativas sustentáveis para o tratamento de água tem incentivado o uso de coagulantes naturais, como o cacto palma [*Opuntia* spp.], devido ao baixo custo e disponibilidade. Desse modo, o objetivo do estudo foi avaliar a eficiência do uso de *Opuntia* spp., com e sem pele, no tratamento da água doce superficial considerando parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e o potencial ambiental do lodo gerado. Como resposta, ambos os extratos promoveram melhorias significativas na qualidade da água. Nesse sentido, os extratos apresentaram comportamento semelhante na remoção dos parâmetros avaliados, não sendo observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. Além disso, os ensaios ecotoxicológicos indicaram ausência de toxicidade relevante e potencial estímulo ao crescimento vegetal, sugerindo viabilidade de reaproveitamento agrícola do lodo. Conclui-se que o uso do cacto palma é uma alternativa promissora para o tratamento de água em comunidades com infraestrutura limitada, recomendando-se a associação com etapas de filtração e desinfecção para garantia da potabilidade.

Palavras-chave: *Opuntia* spp.; coagulação; ecotoxicidade; *Lactuca Sativa*; potabilidade.

Abstract: The search for sustainable alternatives for water treatment has encouraged the use of natural coagulants, such as prickly pear cactus [*Opuntia* spp.], due to its low cost and availability. Therefore, the objective of this study was to evaluate the efficiency of using *Opuntia* spp., with and without peel, in the treatment of surface freshwater, considering physical, chemical, and microbiological parameters, as well as the environmental potential of the generated sludge. Both extracts showed significant improvements in water quality. In this regard, extracts exhibited similar behavior regarding the removal of the evaluated parameters, with no statistically significant differences observed between the treatments. Furthermore, ecotoxicological tests indicated an absence of relevant toxicity and potential stimulation of plant growth, suggesting recommendations for agricultural reuse of the soil. In conclusion, the use of prickly pear cactus is a promising alternative for water treatment in communities with limited infrastructure, and its association with filtration and destruction steps is recommended to guarantee potability.

Keywords: *Opuntia* spp.; coagulation; ecotoxicity; *Lactuca sativa*; potability.

Resumen: La búsqueda de alternativas sostenibles para el tratamiento del agua ha impulsado el uso de coagulantes naturales, como el nopal [*Opuntia* spp.], debido a su bajo costo y disponibilidad. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia del uso de *Opuntia* spp., con y sin cáscara, en el tratamiento de aguas superficiales dulces, considerando parámetros físicos, químicos y microbiológicos, así como el potencial ambiental del lodo generado. Ambos extractos mostraron mejoras significativas en la calidad del agua. A este respecto, extractos mostraron un comportamiento similar en cuanto a la eliminación de los parámetros evaluados, sin que se observaran diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Además, las pruebas ecotoxicológicas indicaron la ausencia de toxicidad relevante y una posible estimulación del crecimiento vegetal, lo que sugiere recomendaciones para la reutilización agrícola del suelo. Se concluye que el uso del nopal es una alternativa prometedora para el tratamiento del agua en comunidades con infraestructura limitada, y se recomienda su asociación con etapas de filtración y destrucción para garantizar la potabilidad.

Palabras clave: *Opuntia* spp.; coagulación; ecotoxicidad; *Lactuca sativa*; potabilidad.

Introdução

Os serviços de saneamento básico são essenciais para promover a saúde pública, pois a disponibilidade de água potável é crucial na prevenção de doenças [Heller; Pádua, 2010]. No entanto, a escassez hídrica e a degradação da qualidade da água são desafios globais críticos, especialmente em comunidades rurais, onde o acesso às tecnologias de tratamento convencionais é limitado [United Nations, 2015]. Nesse contexto, tais desafios tornam-se ainda mais expressivos em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, que representam cerca de 40,6% da superfície terrestre e estão distribuídas globalmente por áreas como o Sahel na África, o norte do México, o sudoeste dos Estados Unidos, partes da Índia e da China, o Oriente Médio, a Austrália e o Nordeste do Brasil [Vicente-Serrano *et al.*, 2024].

Nesse cenário global, destaca-se o Brasil, em que a condição de aridez assume especial relevância na região Nordeste, uma das áreas semiáridas mais habitadas do globo, onde o avanço dessas zonas associado à degradação do solo pode intensificar a vulnerabilidade à desertificação, reduzindo a disponibilidade hídrica e potencializando conflitos pelo uso da água [Moraes; Wanderley; Delgado, 2024]. Assim, diante desse contexto, o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável [ODS], especificamente a ODS 6, visa à universalização de água potável e saneamento para todos até 2030, buscando assegurar a promoção de soluções eficientes, acessíveis e sustentáveis para o acesso e o tratamento da água nessas regiões. Adicionalmente, a utilização de soluções alternativas, como coagulantes naturais no tratamento de água, alinha-se à ODS 12, especialmente às metas 12.2 e 12.a, ao promover o uso eficiente de recursos naturais e o desenvolvimento de soluções tecnológicas sustentáveis.

No Brasil, o sistema de tratamento mais utilizado nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) é o convencional, também denominado de ciclo completo. Contudo, embora o tratamento de água convencional proporcione água potável em conformidade com a legislação vigente, quando mal planejado ou gerenciado, pode causar impactos ambientais, como a geração de resíduos com expressiva concentração de produtos químicos [Batista *et al.*, 2021], sendo fundamental a realização da remoção do lodo de maneira regular e planejada, considerando a capacidade operacional e as características da água bruta [Oliveira *et al.*, 2023].

Diante desses desafios operacionais e ambientais, torna-se necessário buscar alternativas ao modelo convencional, especialmente em comunidades isoladas, nas quais tecnologias convencionais ou avançadas não conseguem se fixar devido às limitações relacionadas a investimento, operação e aderência comunitária. Observa-se que soluções sustentáveis pautadas em tecnologias verdes podem ser implantadas localmente, por serem simplificadas e dependerem de materiais disponíveis na própria região. Essa abordagem não apenas reduz a dependência de produtos químicos sintéticos, utilizados nas ETAs convencionais e associados à geração de lodos com potencial impacto ambiental [Nayeri; Mousavi, 2022], como também minimiza a exposição da população ao alumínio residual presente na água tratada.

Estudos epidemiológicos e revisões científicas indicam que a ingestão crônica e a exposição prolongada ao alumínio, especialmente por meio da água potável, podem estar associadas ao aumento do risco de declínio cognitivo e ao desenvolvimento de doenças neurodegenerativas, como a doença de Alzheimer, ainda que os mecanismos envolvidos não estejam completamente elucidados [McLachlan, 1995; Rondeau *et al.*, 2000; Exley, 2013]. Nesse contexto, o uso de coagulantes naturais surge como alternativa promissora baseada em recursos vegetais ao reduzir riscos ambientais e potenciais impactos à saúde humana, além de valorizar recursos biológicos subutilizados e promover princípios da economia circular [Ellen Macarthur Foundation, 2019].

Nesse cenário, os coagulantes naturais à base da aplicação de plantas, leguminosas e/ou frutas no tratamento de água é algo que vem sendo estudado. Como exemplo dessa abordagem, tem-se casca de batata [Cabana *et al.*, 2021; Camacho-Oviedo *et al.*, 2020], *moringa oleifera* Lam. [Mesquita *et al.*, 2024; Michelin *et al.*, 2021; Olivio; Esteves; Ferro, 2020], quiabo [Carneiro-Marra; Sad; Silva-Batista, 2019; Santos; Rosa; Michelin, 2022], e cacto [Mesquita *et al.*, 2024; Riss *et al.*, 2022].

As espécies vegetais resilientes, como as cactáceas, se consolidam nesse contexto, uma vez que o tratamento de água com cacto já demonstrou potencial em estudos anteriores [Goes *et al.*, 2017; Zara; Thomazini; Lenz, 2012], os quais evidenciaram a eficiência das mucilagens de cactáceas na remoção de turbidez e cor. Assim, dentre as cactáceas, o gênero *Opuntia* destaca-se por sua ampla utilização em regiões semiáridas, em razão da elevada resiliência à escassez hídrica e de sua importância como recurso forrageiro, adaptação associada a mecanismos fisiológicos como o metabolismo ácido das crassuláceas [Pessoa *et al.*, 2020]. Além disso, essas espécies apresentam na mucilagem um hidrocoloide com expressiva capacidade de retenção de água, amplamente utilizado em diferentes países por pequenos agricultores na purificação de água potável [Sáenz; Sepúlveda; Matsuhira, 2004].

Além de potencial tecnológico no tratamento de água, o cacto palma consolidou-se como cultura estratégica para o Semiárido brasileiro ao atuar como fonte de alimento e água para rebanhos devido ao significativo teor hídrico dos cladódios, à eficiência metabólica e à resiliência produtiva sob seca severa, o que conferiu ao Brasil a maior área cultivada do mundo, concentrada no Nordeste semiárido, onde diferentes cultivares demonstram alta produtividade e palatabilidade mesmo sob baixa pluviosidade [Costa *et al.*, 2025], evidenciando significativa capacidade de adaptação às condições climáticas extremas.

Outro aspecto relevante associado ao uso de coagulantes naturais refere-se ao comportamento e destino do lodo gerado no processo de tratamento. Estudos indicam que lodos oriundos de processos convencionais, especialmente aqueles que utilizam coagulantes químicos, tendem a apresentar maior complexidade quanto à sua gestão e menor viabilidade de reaproveitamento, enquanto os lodos gerados a partir de tratamentos naturais, como o uso de coagulantes vegetais, apresentam maior potencial de aplicação agrícola e menor risco ecotoxicológico, desde que devidamente avaliados [Batista *et al.*, 2021; Michelin *et al.*, 2021]. Nesse contexto, a avaliação desse resíduo (subproduto do tratamento) é fundamental, uma vez que o lodo proveniente de estações de tratamento de água pode apresentar características físico-químicas distintas e, quando descartado inadequadamente, contribuir para a degradação da qualidade da água e para impactos aos ecossistemas aquáticos, sendo, portanto, necessário seu manejo e destinação ambientalmente adequados [Batista *et al.*, 2021].

Contudo, apesar dos avanços relatados na literatura, ainda persistem lacunas quanto à eficácia comparativa entre cactos no tratamento de água com e sem epiderme [considerada como a camada mais externa do caule], bem como em relação aos impactos ambientais do lodo gerado, subproduto que, quando não adequadamente manejado, pode comprometer os ecossistemas [Batista *et al.*, 2021].

Mesmo com várias pesquisas sobre o uso de cactos no tratamento de água, ainda existe uma lacuna pouco estudada: a maioria dos trabalhos usa o cacto inteiro, sem registro na literatura de estudo sem a epiderme. Isso significa que não se sabe se a presença ou não da epiderme pode alterar ou não a qualidade da água e, conseqüentemente, influenciar na qualidade do lodo, que é o subproduto do tratamento da água. Essa descoberta representa um avanço importante, pois com a simples retirada da epiderme, pode-se obter uma qualidade da água ainda melhor, se comparada com a sua presença, ampliando o potencial de aplicação desse método no tratamento de água para comunidades isoladas.

Diante do exposto, o presente estudo analisou a eficiência do uso do cacto [*Opuntia* spp.], com e sem pele (epiderme), no tratamento de água quanto aos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, bem como o comportamento do subproduto gerado no processo, o lodo, sob a perspectiva de seu potencial impacto ambiental.

Metodologia

Planejamento Experimental

O delineamento experimental seguiu abordagem descritiva, com ênfase na aplicação de bio-coagulantes naturais à base de cactos no tratamento de água superficial. Ressalta-se que a pesquisa foi realizada no estado de Sergipe, localizado na região semiárida brasileiro, onde o gênero *Opuntia* spp. ocorre, em consonância com as condições climáticas locais.

A [Tabela 1](#) apresenta o planejamento experimental com as etapas executadas, os objetivos e os principais métodos empregados.

Tabela 1. Planejamento experimental

Etapas	Objetivo	Método/Referência	Frequência
Preparação do coagulante	Produzir extrato coagulante de cacto com e sem casca	Zara, Thomazini e Lenz (2012); Lima (2020)	5 preparações (setembro, novembro, janeiro, março, maio)
Ensaio de tratabilidade	Simular o processo de coagulação, floculação, decantação	Jar Test – Lima (2020)	10 ensaios (mensalmente de setembro/2024 a junho/2025)
Monitoramento ou campanhas mensais	Analisar parâmetros físico-químicos e biológicos	APHA (2012); Brasil (2021)	10 monitoramentos (mensalmente de setembro/2024 a junho/2025)
Ensaio de ecotoxicidade	Avaliar toxicidade do lodo gerado	Batista <i>et al.</i> , (2018); Batista <i>et al.</i> (2021); Santos, Araújo e Michelan (2025); Souza <i>et al.</i> (2016)	3 ensaios (novembro, fevereiro, maio)
Estudo estatístico	Avaliar os resultados	Estatística descritiva e inferencial	3 estudos (novembro, fevereiro, maio)

Fonte: Autores (2026)

Preparação do Coagulante Natural

Foi utilizado o cacto *Opuntia* spp. in natura para a produção dos coagulantes naturais. Dois tipos de extratos foram preparados, conforme ilustrado na [Figura 1](#): cacto com pele (WS) e cacto sem pele (NWS). Inicialmente, os espinhos foram removidos manualmente e os cladódios (“raquetes”) higienizados com água corrente. Em seguida, os materiais foram triturados, com adição de água destilada para auxiliar na homogeneização da polpa, não sendo realizada peneiração ou filtragem para separação de frações específicas, de modo a manter o extrato com características compatíveis ao uso como coagulante natural.

A retirada da pele foi realizada apenas para o coagulante NWS, com espessura aproximada de 1 mm, conforme descrito por [Cayupán, Ochoa e Nazareno \[2011\]](#), enquanto o coagulante WS foi preparado com o cladódio íntegro, seguindo as recomendações metodológicas de [Lima \[2020\]](#) para ambos os extratos. O intuito da retirada da pele em parte da amostragem foi verificar se os pigmentos [como clorofila] e compostos estruturais da epiderme interferem na eficiência de coagulação ou nos parâmetros residuais da água.

Para garantir a reprodutibilidade metodológica e a confiabilidade analítica, todos os ensaios realizados no *Jar Test* e as subsequentes análises laboratoriais de qualidade da água foram executados em duplicata experimental. Como forma de validar o experimento, utilizou-se um dos jarros do *Jar Test* contendo apenas a água do rio Poxim, denominado controle [branco/referência], sem receber qualquer dosagem de coagulante, e ensaiado ao mesmo tempo e também sob as mesmas condições dos demais jarros, que receberam dosagens de coagulante, estabelecendo, assim, a linha de base para o cálculo das eficiências.

A concentração base de referência adotada na preparação dos coagulantes foi de 10 mL de extrato para cada 75 g de massa fresca de cacto, sendo empregada a relação de 1 g de cacto liquidificado para 2,5 mL, conforme metodologia proposta por [Zara, Thomazini e Lenz \[2012\]](#).

Nos ensaios de tratabilidade, os volumes de extrato adicionados aos jarros foram expressos em termos de concentração [mL/L], em consonância com a abordagem adotada em estudos internacionais. Para isso, a concentração do coagulante foi determinada pela razão entre o volume de extrato adicionado [mL] e o volume de água em cada jarro do ensaio de *Jar Test*. Assim, as concentrações aplicadas foram calculadas pela [Equação 1](#) resultando em concentrações finais expressas em mL/L.

$$C = \frac{V_{\text{extrato}}}{V_{\text{água}}} \quad [1]$$

Sendo:

C: concentrações aplicadas [mL/L]

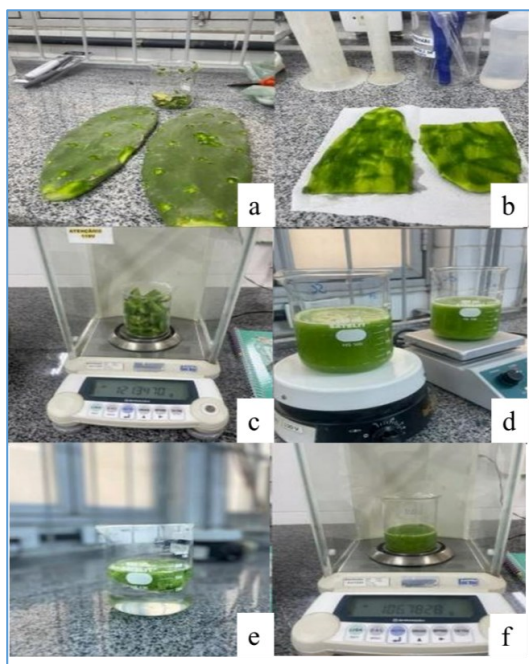
V_{extrato} : volume de extrato adicionado [mL]

$V_{\text{água}}$: volume de água em cada jarro do *Jar Test* [L].

As concentrações utilizadas nos ensaios foram ajustadas em função das características da água bruta, especialmente turbidez e cor verdadeira, previamente determinadas em cada campanha de amostragem mensal. Essa abordagem permitiu definir concentrações específicas para cada condição de qualidade da água, sendo avaliadas, neste estudo, as concentrações de 20, 18, 15, 14, 12, 10, 8, 5, 3 mL/L, definidas a partir da variabilidade observada nos parâmetros da água bruta [AB].

Ademais, os critérios de seleção para as dosagens decrescentes [de 20 a 3 mL/L], fundamentaram-se em testes preliminares de varredura executados, baseados na turbidez da água bruta, ou seja, dosagens inferiores a 3 mL/L, não alterou a turbidez da água bruta, ao passo que, acima de 20 mL/L, a turbidez da água em estudo apresentou aumento significativo.

Figura 1. a) Retirada dos espinhos do cacto com pele; b) Retirada da pele do cacto; c) Pesagem da quantidade necessária de cacto para triturá-lo; d) Soluções de extratos de cactos sendo agitadas no agitador mecânico; e) Soluções preparadas para serem armazenadas em recipientes de vidro; f) Pesagem de extrato de cacto para o preparo do coagulante



Fonte: Autores [2026]

Ensaio de Tratabilidade – Jar Test

Para simular o processo de coagulação, floculação e decantação típico de uma ETA, utilizou-se o equipamento *Jar Test*, com volume de 2 L de água bruta por jarro.

O procedimento seguiu as etapas descritas por Lima [2020]:

Mistura rápida a 112,2 rpm por 2 minutos;

Mistura lenta a 38 rpm por 15 minutos;

Decantação por 30 minutos;

Filtração em membrana com porosidade de 45 μm .

Água Bruta Estudada

Para realização dos ensaios, utilizou-se água do rio Poxim, localizado na região leste do estado de Sergipe (Brasil) que integra a sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, pertencente à bacia do rio Sergipe. Esta sub-bacia abrange áreas dos municípios de Aracaju, São Cristóvão e Nossa Senhora do Socorro, desempenhando papel essencial no abastecimento público por meio da ETA Poxim, responsável por atender parte significativa da população da capital sergipana [Jesus, 2021].

Considerando a importância do rio Poxim para o abastecimento urbano e a existência de registros de degradação da qualidade da água, destaca-se a relevância de monitorar continuamente seus parâmetros físico-químicos e biológicos. Estudos com a água desse rio apontam para a recorrente presença expressiva de turbidez, cor aparente e verdadeira, alumínio dissolvido e coliformes termotolerantes [Jesus, 2021] em concentrações acima dos limites estabelecidos pela Resolução do Conselho nacional de Meio Ambiente – CONAMA nº 357 [Brasil, 2005]. Tais evidências reforçam a necessidade da presente pesquisa e justificam a escolha do local de retirada da água para estudo.

Assim, a análise histórica da qualidade da água do rio Poxim, somada aos dados obtidos neste estudo, contribui para compreensão mais abrangente da dinâmica de degradação do corpo hídrico e embasa a proposição de alternativas técnicas e legais para a gestão ambientalmente adequada dos resíduos gerados na ETA.

Ensaio de Ecotoxicidade

O resíduo gerado no processo [lodo] foi avaliado quanto ao efeito ecológico ambiental. O ensaio foi conduzido com o bioindicador vegetal sementes de *Lactuca sativa* [alface], sendo esta uma das espécies recomendadas pela United States Environmental Protection Agency – USEPA [1996], utilizando diferentes concentrações ([]) do lodo diluído em água destilada: 100%, 50%, 25% e 12,5%, todas em duplicata, inclusive a amostra controle [branco/referência].

O procedimento seguiu a metodologia de Batista *et al.* [2018, 2021], Santos, Araújo e Michelin [2025] com adaptações propostas por Souza *et al.* [2016]. Foram utilizados dois índices ecológicos [Gryczak *et al.*, 2018] para avaliar os efeitos do lodo sobre as sementes: índice de crescimento radicular [Equação 2] e índice de germinação [Equação 3], sendo que o índice de crescimento radicular foi verificado em cada semente com o auxílio de um paquímetro digital.

Índice de crescimento radicular:

$$ICR = \frac{CRA}{CRC} \quad [2]$$

Sendo:

ICR: índice de crescimento radicular [adimensional];

CRA: comprimento radicular da amostra [mm];

CRC: comprimento radicular do controle negativo [mm].

Índice de Germinação:

$$IG = ICR \times \frac{SGA}{SGC} \times 100 \quad [3]$$

Sendo:

IG: índice de germinação [%];

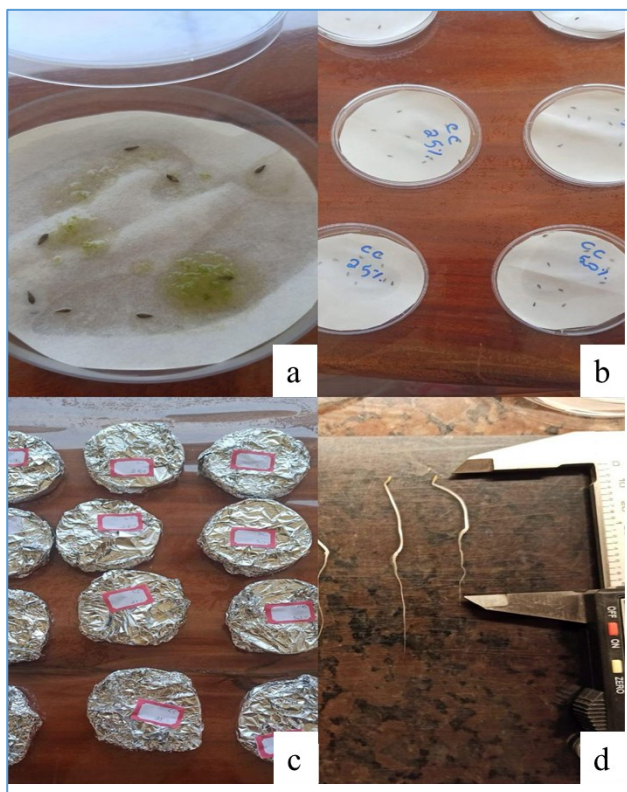
ICR: índice de crescimento radicular [adimensional];

SGA: número de sementes germinadas na amostra;

SGC: número de sementes germinadas no controle negativo.

Esses índices foram utilizados como parâmetros para estimar a toxicidade do lodo gerado no tratamento, seguindo abordagem similar à aplicada em estudos com extrato de *moringa oleifera* [Batista *et al.*, 2021]. Na Figura 2 ilustram-se as etapas da preparação do bioensaio: a) placa de petri com sementes e lodo oriundo do tratamento de água; b) identificação das placas quanto a concentração e tipo do lodo; c) acondicionamento em papel alumínio, para proteger o bioensaio de luz externa; d) mensuração do crescimento radicular.

Figura 2. a) Preparação do teste; b) Início da exposição; c) Período de incubação; d) Avaliação dos efeitos



Fonte: Autores [2026]

Parâmetros de Qualidade da Água e Legislação Vigente

As amostras de água tratada foram analisadas de acordo com os procedimentos metodológicos descritos pela American Public Health Association [APHA, 2012], contemplando os seguintes parâmetros: turbidez [Método 2130 B], cor aparente [Método 2120 C], cor verdadeira [Método 2120 C após filtração em membrana de 0,45 µm], pH [Método 4500-H⁺ B], ferro total [Métodos 3111 B ou 3125 B], coliformes totais [Método 9222 B] e coliformes termotolerantes [Método 9222 E]. Também se analisou a condutividade elétrica, porém esta não é citada na APHA [2012].

Totalizaram-se 10 campanhas, nas quais os parâmetros físico-químicos [turbidez, cor aparente, cor verdadeira, pH e condutividade elétrica], enquanto o ferro total, coliformes totais e termotolerantes foram analisados em campanhas específicas [novembro, fevereiro e maio], totalizando 3 campanhas, conforme o planejamento experimental.

Os resultados obtidos foram comparados com os limites estabelecidos pela legislação ambiental e sanitária brasileira, considerando a Resolução CONAMA nº 357 [Brasil, 2005] para a água bruta e a Portaria do Gabinete do Ministério da Saúde – GM/MS nº 888 [Brasil, 2021] para a água destinada ao consumo humano. A Tabela 2 apresenta os limites máximos permitidos para os parâmetros avaliados neste estudo, conforme as referidas normativas, referentes às legislações supracitadas.

Tabela 2. Limites legais dos parâmetros de qualidade da água segundo a legislação brasileira

Parâmetro	Unidade	Água bruta – CONAMA 357/2005*	Água tratada – Portaria GM/MS nº 888/2021
Turbidez	NTU	≤ 100	≤ 5,0
Cor aparente	uH	-	≤ 15
Cor verdadeira	uH	≤ 75	-
pH	-	6,0-9,0	6,0-9,0
Ferro total	mg/L	≤ 0,3	≤ 0,3
Coliformes totais	NMP/100mL	Presença indicativa de contaminação	Ausência após desinfecção
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	Ausência em mL	Ausência em 100mL

Fonte: Adaptado de Brasil [2005] e Brasil [2021]

Nota: *Valor de referência considerando corpos d'água Classe 2, destinados ao abastecimento após tratamento convencional [Brasil, 2005].

Sobre a condutividade elétrica (EC), tomou-se como referência a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB [2013], que considera níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em corpos d'água como indicativos de presença de poluentes no meio, tais como efluentes industriais ou domésticos.

Tratamento Estatístico

Foi realizada análise estatística descritiva dos dados experimentais, com cálculo da média aritmética, mediana e desvio padrão. A normalidade dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Para a comparação dos resultados referentes ao tempo de decantação (30 min), aplicou-se o Teste t para amostras pareadas quando os dados apresentaram distribuição normal, ou o teste não paramétrico de Wilcoxon quando a normalidade não foi atendida. Todas as análises estatísticas foram realizadas considerando nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Resultados e discussão

Cacto *Opuntia* spp.

O cacto do gênero *Opuntia* spp. apresenta morfologia composta principalmente por cladódios [raquetes], que correspondem ao caule modificado responsável pela fotossíntese e pelo armazenamento de água, além de epiderme externa rica em compostos estruturais e pigmentos, como a clorofila. Essas partes apresentam composição físico-química distinta, o que influencia diretamente suas propriedades funcionais e sua interação em processos como a coagulação e a floculação no tratamento de água [Cayupán; Ochoa; Nazareno, 2011].

O cacto palma, originário do México, expandiu-se por todos os continentes, adaptando-se a diferentes climas, especialmente em regiões áridas e semiáridas, por meio de mecanismos que reduzem a perda de água e ampliam sua capacidade de armazenamento hídrico [Costa *et al.*, 2025]. Assim, a aplicabilidade do cacto *Opuntia* no tratamento de água é reforçada pela ampla utilização do gênero em ambientes de condições climáticas extremas, associada à elevada resiliência à escassez hídrica e ao metabolismo ácido das crassuláceas [Pessoa *et al.*, 2020].

Do ponto de vista químico e bromatológico, os cladódios de *Opuntia* spp. apresentam elevado teor de umidade, geralmente superior a 85%, além de concentrações relevantes de carboidratos estruturais, fibras solúveis e insolúveis, minerais [como cálcio, magnésio e potássio] e baixos teores

de lipídios. A fração proteica, embora moderada, contribui para a presença de grupos funcionais capazes de interagir com partículas suspensas na água, favorecendo os mecanismos de coagulação por adsorção e ponteamento [Cayupán; Ochoa; Nazareno, 2011; Vieira; Cordeiro, 2023].

Nesse contexto, o cacto é utilizado como coagulante natural principalmente devido à presença da mucilagem de cacto, geralmente caracterizada pelo polissacarídeo do tipo arabinogalactana, rica em carboidratos e associada a proteínas, minerais, ácidos graxos, aminoácidos essenciais e compostos fenólicos. Essa composição confere à mucilagem propriedades funcionais relevantes, como capacidade de adsorção, formação de flocos e interação eletrostática com partículas coloidais. Além disso, estudos destacam efeitos antioxidantes, antimicrobianos, prebióticos, cicatrizantes, antiulcerogênicos, anti-inflamatórios e anti-hiperlipidêmicos associados aos compostos presentes no *Opuntia* spp., reforçando seu potencial biotecnológico e ambiental [Vieira; Cordeiro, 2023]. Vale destacar que, além do gênero *Opuntia*, outras espécies da família Cactaceae também têm demonstrado potencial para aplicação no tratamento de água, como *Cereus jamacaru* (mandacaru), que apresentou resultados promissores como coagulante natural, promovendo a redução da turbidez da água e ampliando as perspectivas de utilização de cactáceas no tratamento de água [Monteiro; Medeiros, 2018].

Água Bruta

Em regiões semiáridas, a combinação entre baixa disponibilidade hídrica, elevadas taxas de evaporação e características geoambientais favorece alterações na composição da água, uma vez que, conforme Monteiro *et al.* [2022], o efeito líquido da evaporação consiste na remoção de água pura da solução, aumentando a concentração de espécies dissolvidas.

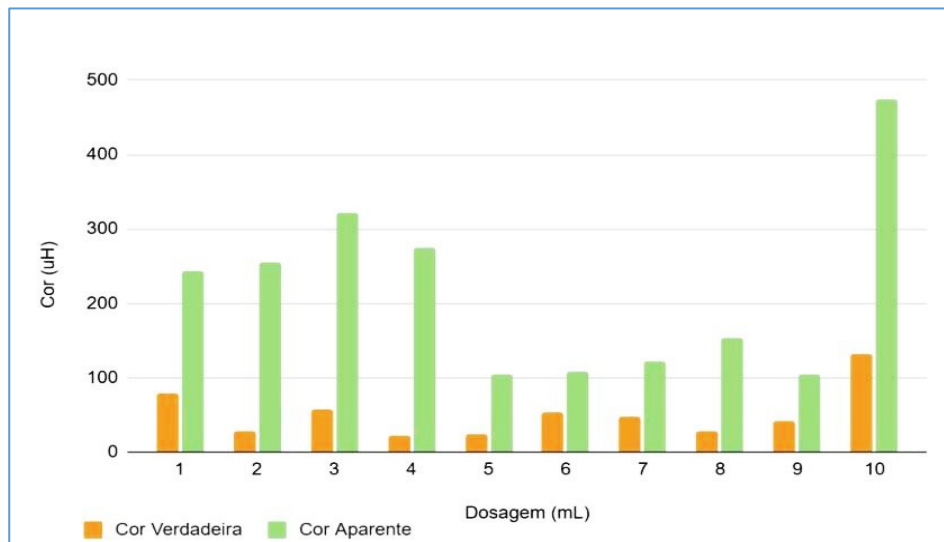
Com base nesse argumento, a análise da cor da água bruta mostrou valores significativos e instáveis ao longo das campanhas de monitoramento, com predominância da cor aparente em relação à cor verdadeira, evidenciando a presença expressiva de sólidos suspensos e partículas em suspensão. Nos primeiros monitoramentos, a cor aparente apresentou valores superiores a 200 uH, atingindo mais de 300 uH na campanha 3. Entre as campanhas 5 e 9 observou-se redução relativa, com valores entre 100 e 150 uH; entretanto, na campanha 10 foi registrado um pico crítico, com valores próximos a 500 uH para a cor aparente e superiores a 100 uH para a cor verdadeira. Destaca-se que Brasil [2005] não define limites para cor aparente.

Esse aumento expressivo pode estar associado ao período chuvoso característico da região Nordeste do Brasil, que ocorre, de modo geral, entre os meses de abril e agosto, provocando maior escoamento superficial, carreamento de sedimentos e aporte de matéria orgânica aos corpos hídricos [Lima; Amorim; Mendes, 2022]. A influência da sazonalidade pluviométrica sobre a qualidade da água é amplamente reconhecida e contribui para a elevação dos parâmetros de cor e turbidez em rios utilizados para abastecimento.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357, que estabelece os padrões de qualidade para águas superficiais, os valores de cor verdadeira observados superaram, em cerca de 20% das campanhas, os limites recomendados para corpos d'água de Classe 2 destinados ao abastecimento [Tabela 2], indicando a presença de compostos dissolvidos que não são removidos apenas por processos físicos simples, como a sedimentação [Brasil, 2005]. Esse comportamento, também relatado em estudos anteriores sobre o rio Poxim [Jesus, 2021], confirma a influência de atividades antrópicas e das variações sazonais na degradação da qualidade da água e reforça a necessidade da aplicação de etapas adicionais no tratamento, como coagulação e floculação, para garantir a adequação da água aos padrões de potabilidade.

Na [Figura 3](#) ilustra-se o comportamento da água bruta observado ao longo das campanhas experimentais, evidenciando a necessidade de tratamento adequado para a remoção de cor e melhoria da qualidade da água.

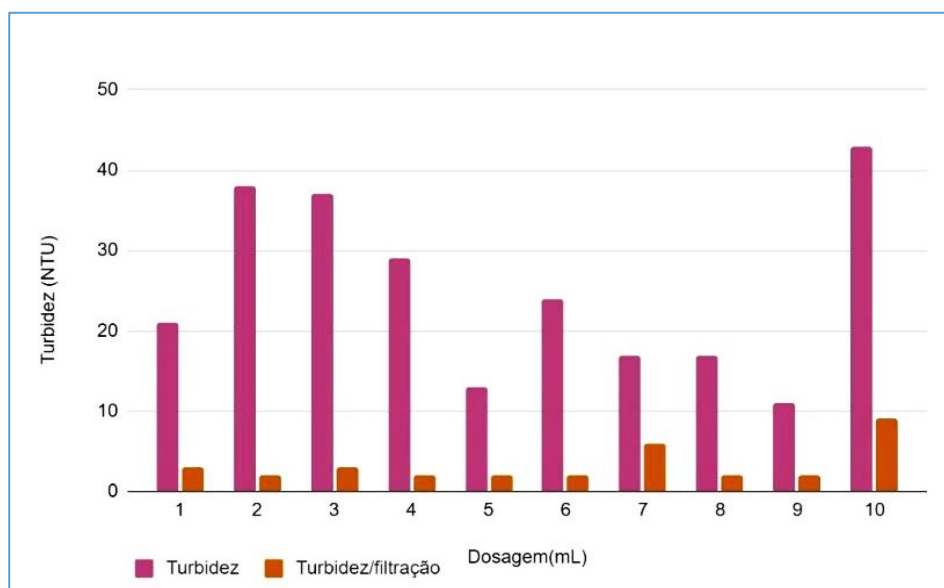
Figura 3. Cor aparente e cor verdadeira da água bruta



Fonte: Autores [2026]

Na [Figura 4](#) apresentam-se os valores de turbidez da água bruta do rio Poxim ao longo das dez campanhas, com variação entre 11 e 42 NTU e picos nas campanhas 2, 3 e 10, indicando maior presença de sólidos suspensos nesses períodos. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357, corpos d'água enquadrados na Classe 2, destinados ao abastecimento após tratamento convencional, devem apresentar turbidez inferior a 100 NTU [[Brasil, 2005](#)]. Ressalta-se que a turbidez em rios pode apresentar valores elevados, especialmente em função do carreamento de sedimentos e do escoamento superficial decorrente de eventos de precipitação [[Chidiac et al., 2025](#)].

Figura 4. Turbidez da água bruta

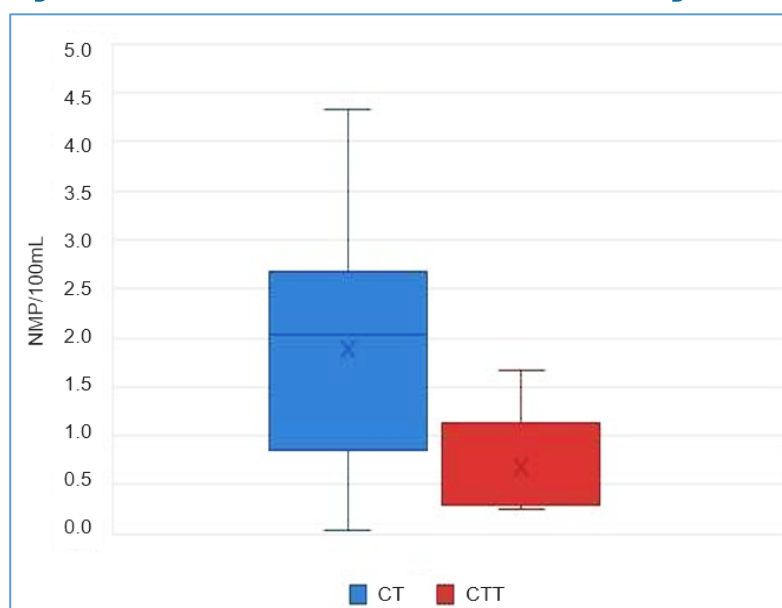


Fonte: Autores [2026]

Conforme [Brasil \[2024\]](#), o acesso à água potável e ao saneamento básico ainda é desigual no Brasil, sendo mais crítico em áreas rurais e regiões vulneráveis, como o Semiárido nordestino. Nessas condições, a baixa cobertura de saneamento contribui para a contaminação das fontes hídricas e para a degradação da qualidade da água consumida pela população.

Desse modo, na [Figura 5](#) apresentam-se os resultados microbiológicos da água bruta do rio Poxim. Os coliformes totais [CT] apresentaram valores elevados e variáveis, com mediana de 2,0 NMP/100 mL e oscilação entre 0 e 4,5 NMP/100 mL, indicando contaminação ambiental não necessariamente associada à origem fecal. Os coliformes termotolerantes [CTT], por sua vez, apresentaram mediana inferior (0,5 NMP/100 mL), sugerindo contribuição de contaminação fecal direta.

Figura 5. Coliformes totais e termotolerantes da água bruta



Fonte: Autores [2026]

De acordo com [Queiroz *et al.* \[2026\]](#), a elevada concentração de coliformes totais e termotolerantes pode estar relacionada à influência de atividades antrópicas, sobretudo em áreas situadas próximas às comunidades, rodovias e pastagens, onde são recorrentes o descarte inadequado de esgoto e práticas inadequadas de manejo do solo, evidenciando a necessidade de tratamento adequado da água, uma vez que a presença de microrganismos indicadores de contaminação fecal, como *Escherichia coli*, indica possível ocorrência de patógenos entéricos e, consequentemente, potencial risco à saúde humana [World Health Organization – [WHO, 2017](#)].

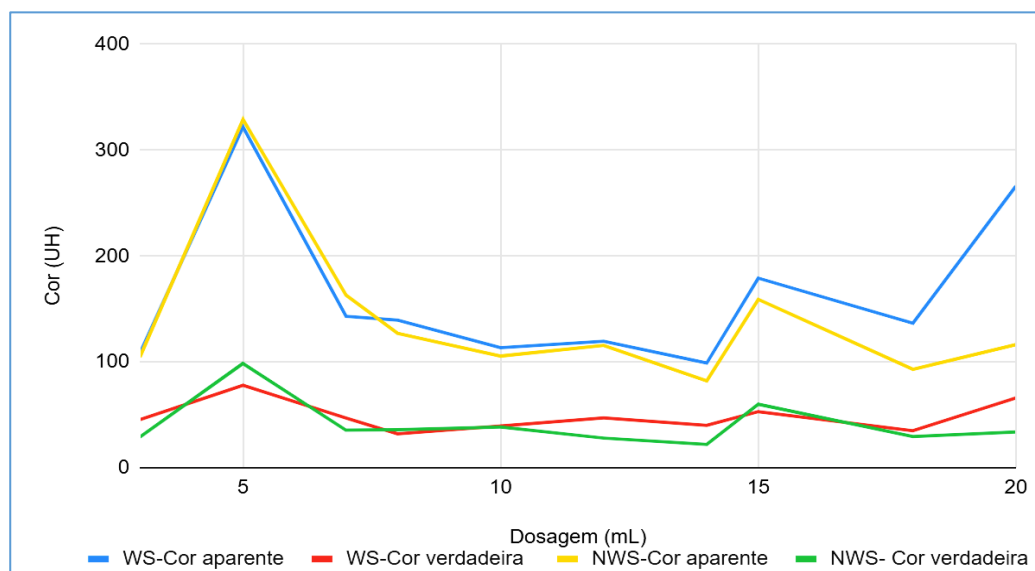
Assim, diante do exposto e com base em informações de [Jesus \[2021\]](#) e de [Santos e Passos \[2024\]](#), o rio Poxim tem sofrido a antropização das margens e a presença de despejo doméstico sem tratamento, o que corrobora os resultados apresentados no presente estudo acerca da qualidade da água do rio.

Água Tratada – Parâmetros de Cor e Turbidez

Após o tratamento com os extratos de cacto, observou-se redução expressiva da cor aparente e verdadeira ([Figura 6](#)). O processo de coagulação e sedimentação reduziu significativamente a coloração, confirmando o potencial dos coagulantes naturais, em consonância com os resultados de [Goes *et al.* \[2017\]](#) e [Lima \[2020\]](#).

Comparando os coagulantes, o extrato sem pele [NWS] apresentou desempenho superior na clarificação com base nas estatísticas posteriormente apresentadas, com valores médios entre 90 e 100 uH, enquanto o com pele [WS] variou entre 100 e 120 uH, ambos acima do limite estabelecido pela legislação vigente, indicando, no entanto, maior eficiência do NWS na remoção de partículas suspensas, resultado semelhante ao relatado por Santos, Rosa e Michelin [2022].

Figura 6. Cor verdadeira e cor aparente água tratada



Fonte: Autores [2026]

Observando numericamente os registros de cor aparente e verdadeira das amostras estudadas (Figura 6), visualiza-se que os dados de cor [aparente e verdadeira] para WS apresentam valor de grandeza maior, se comparados aos de NWS. Considerando que a principal diferença entre os tratamentos é a presença da epiderme do cacto, esse resultado pode estar relacionado à sua composição. De acordo com Cayupán, Ochoa e Nazareno [2011], a epiderme apresenta maior concentração de clorofila em comparação à polpa. Assim, a coloração observada nas amostras tratadas com o coagulante WS pode estar associada à presença dessa camada externa.

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados dos testes de normalidade e das comparações realizadas para os parâmetros de cor verdadeira e cor aparente após a etapa de decantação. Desse modo, observou-se que, embora tenham apresentado valores numéricos distintos, a cor aparente e a cor verdadeira não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$).

Tabela 3. Estatística inferencial da água tratada NWS e WS após decantação

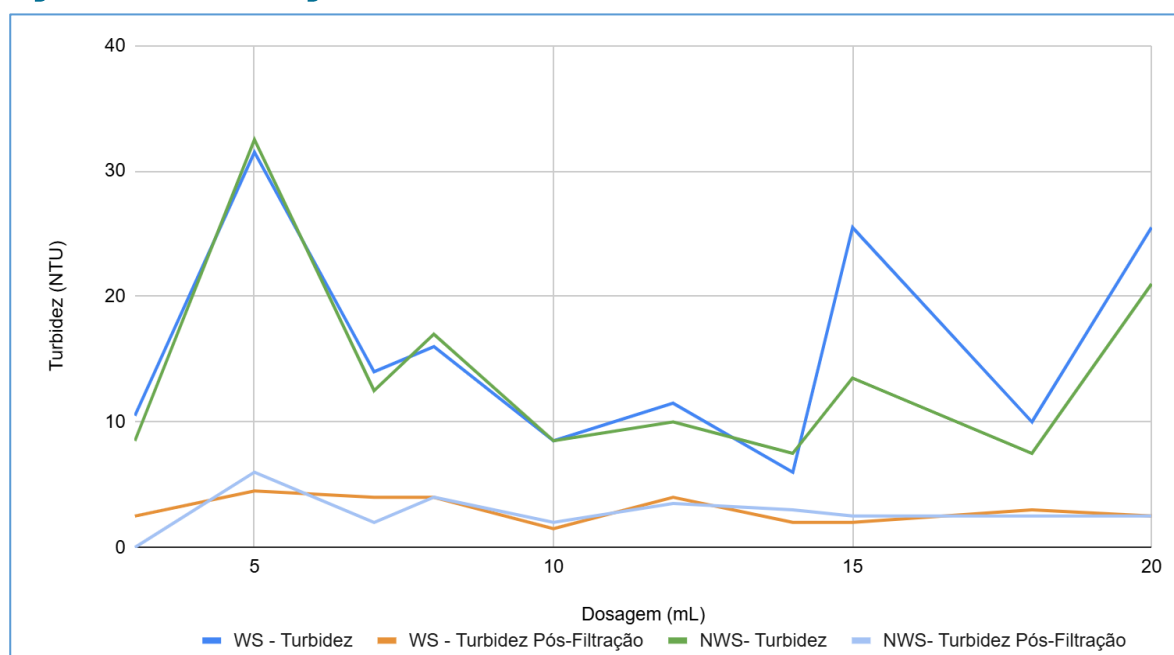
	NWS - Cor verdadeira	WS - Cor verdadeira	NWS - Cor aparente	WS - Cor aparente
Teste Shapiro-Wilk [valor-p]	0,04521	0,9687	0,0006367	0,01966
Teste adotado	Teste Wilcoxon		Teste Wilcoxon	
Valor-p do teste adotado	0,112		0,06943	

Fonte: Autores [2026]

Antes da etapa de decantação, o resultado de turbidez alcançou até 30 NTU. Após essa etapa, houve redução, da qual observou-se dados variando de 5,5 a 25,5 NTU. O limite preconizado na legislação vigente para a turbidez é de 5 NTU. Logo, pode-se observar, na [Figura 7](#), que se obtiveram valores enquadrados neste limite na maioria da amostragem de estudo.

Esses resultados confirmam que a filtração é uma etapa essencial para estabilizar o processo e assegurar a qualidade final da água tratada, conforme discutido por [Zara, Thomazini e Lenz \[2012\]](#) e [Goes *et al.* \[2017\]](#).

Figura 7. Turbidez da água tratada



Fonte: Autores [2026]

Vale destacar que, embora não tenham sido constatadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, foram verificadas diferenças numéricas nas eficiências de remoção dos parâmetros avaliados. Considerando esse comportamento, a dosagem de 14 mL/L foi definida como a condição de melhor desempenho de remoção para os parâmetros de cor [aparente e verdadeira] e turbidez, para ambos os extratos. Nessa condição, o extrato sem pele [NWS] apresentou remoções de 81,03% de turbidez pós-decantação e 68,98% de cor aparente, enquanto o extrato com pele [WS] promoveu remoções de 64,58% de turbidez pós-decantação e 69,90% de cor aparente.

Na [Tabela 4](#) apresentam-se os resultados da análise estatística inferencial da turbidez da água tratada com os coagulantes com pele [WS] e sem pele [NWS] avaliados antes da filtração e após a filtração [tempo em repouso de 30 minutos]. Em ambas as condições, os valores de *p* foram superiores a 0,05, indicando ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os coagulantes.

Tabela 4. Estatística inferencial da turbidez da água tratada com NWS e WS após 30 minutos de decantação [antes da filtração] e após a filtração

	NWS Pré-Filtração	WS Pré-Filtração	NWS Pós-filtração	WS Pós-filtração
Teste Shapiro-Wilk [valor-p]	0,01744	0,1537	0,01253	0,2624
Teste adotado	Teste Wilcoxon		Teste Wilcoxon	
Valor-p do teste adotado	0,5443		0,8472	

Fonte: Autores [2026]

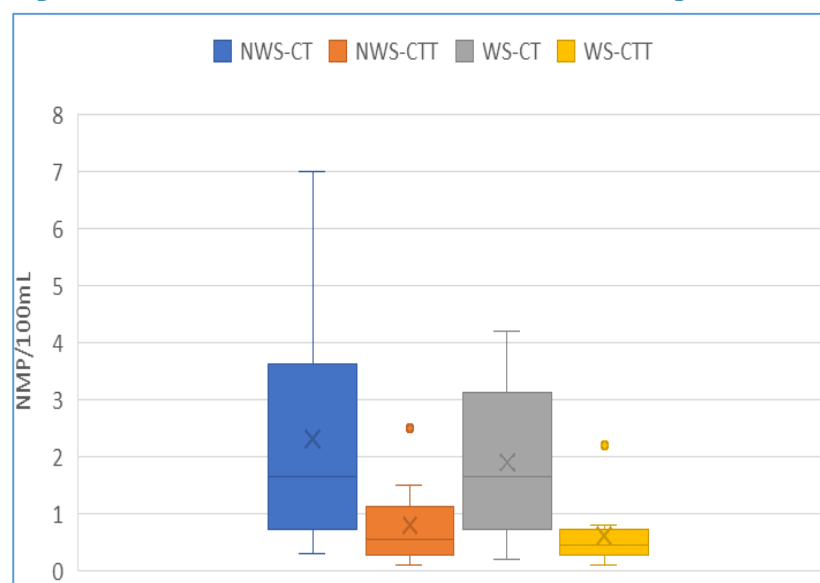
De modo geral, estatisticamente, o tempo de contato de 30 minutos [decantação] não promoveu variações expressivas de comportamento entre os tratamentos, evidenciando que ambos os tipos de coagulante apresentaram desempenho semelhante, o que direciona a afirmar que, se for utilizado o cacto com ou sem pele, com pele será mais prático em execução metodológica e mais simplificado, no tocante aos parâmetros cor [aparente e verdadeira] e turbidez.

Parâmetros Microbiológicos da Água Tratada

Na [Figura 8](#) ilustra-se a variação dos coliformes totais e termotolerantes após o tratamento com cacto. Observa-se redução expressiva dos coliformes termotolerantes em ambos os tratamentos, com valores médios próximos de 0,5 NMP/100 mL. Já os coliformes totais apresentaram variação média de até 7,0 NMP/100 mL no tratamento com cacto sem pele.

Embora o [Brasil \[2021\]](#) exija ausência total desses microrganismos [após desinfecção, etapa da qual não fez parte o estudo], os valores reduzidos indicam eficiência significativa na remoção microbiológica.

Figura 8. Coliformes totais e termotolerantes da água tratada com cacto



Fonte: Autores [2026]

Por fim, na [Tabela 5](#) apresentam-se os resultados da análise estatística inferencial dos parâmetros coliformes totais e termotolerantes. Verifica-se que, apesar de o tratamento com pele [WS] ter apresentado maior estabilidade e eficiência nesse parâmetro, conforme o teste de Wilcoxon, todos os valores de p foram superiores a 0,05, o que confirma a inexistência de diferenças estatisticamente significativas entre os coagulantes para esses indicadores.

Tabela 5. Resultados do valor- p na estatística inferencial

	NWS - CT	WS - CT	NWS - CTT	WS - CTT
Teste Shapiro-Wilk (valor- p)	$1,014 \times 10^{-6}$	$6,373 \times 10^{-6}$	$6,632 \times 10^{-7}$	$2,56 \times 10^{-7}$
Teste adotado	Teste Wilcoxon		Teste Wilcoxon	
Valor- p do teste adotado	0,9096		0,5944	

Fonte: Autores [2026]

Parâmetro pH da Água Bruta e Tratada

O pH da água apresentou, numericamente, redução após a aplicação dos coagulantes naturais à base de cacto em todas as campanhas analisadas. Na água bruta, os valores variaram entre 6,8 e 8,4, enquanto, após o tratamento, situaram-se entre 5,8 e 7,5 para o coagulante com pele [WS] e 5,8 e 7,7 para o coagulante sem pele [NWS].

Desse modo, apesar da leve acidificação observada, as variações de pH não comprometeram o processo de coagulação nem a eficiência do tratamento, permanecendo dentro de faixas adequadas para sistemas de tratamento de água, em concordância com os resultados reportados por [Michelan *et al.* \[2021\]](#), sendo observado, conforme a [Tabela 6](#), que o pH para WS e NWS também foi estatisticamente semelhante entre si.

Tabela 6. Estatística inferencial da água tratada NWS e WS

	NWS - pH	WS - pH
Teste Shapiro-Wilk (valor- p)	0,06573	0,06603
Teste adotado	Teste t	
Valor- p do teste adotado	0,06573	

Fonte: Autores [2026]

Ressalta-se que o pH da água tratada não diferiu significativamente do pH da água bruta. Desse modo, ambos os conjuntos de dados apresentaram distribuição normal [teste de Shapiro-Wilk, $p > 0,05$] e não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos pelo Teste t [$p > 0,05$].

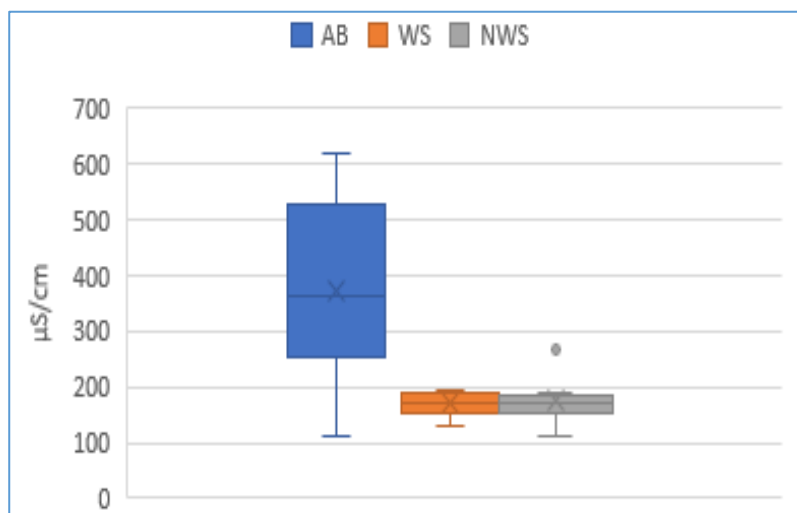
Resultados de Condutividade Elétrica: Água Bruta x Água Tratada

Em todas as campanhas, a água bruta apresentou valores de condutividade elétrica superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, limite que, segundo a CETESB [2013], é indicativo da presença de poluentes em corpos hídricos associados a efluentes industriais ou domésticos. Esse comportamento, aliado às variações observadas ao longo das campanhas, sugere a influência da sazonalidade e da qualidade da fonte hídrica, conforme discutido por Goes *et al.* [2017].

Após os tratamentos com coagulantes, as leituras se mantiveram estáveis, variando entre 110 e 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$, assim como apresentado na Figura 9, o que sugere ação de estabilização, ainda que com diferenças numéricas entre o coagulante com pele [WS] e sem pele [NWS].

Os picos mais expressivos foram observados nas campanhas 2, 5, 6 e 7, enquanto os menores ocorreram nas campanhas 1 e 10, destacando-se que a campanha 8 sofreu interferência por falha no equipamento. Em geral, o NWS apresentou valores ligeiramente inferiores ao WS [com diferença média de cerca de 10% a 15%], possivelmente devido à menor liberação de íons, como discutido por Zara, Thomazini e Lenz [2012]. Esses resultados evidenciam que a variação da condutividade depende não só do coagulante, mas também de fatores naturais e sazonais [Angulo Altamirano; Lévano; Yapu, 2020; Lima, 2020].

Figura 9. Condutividade elétrica



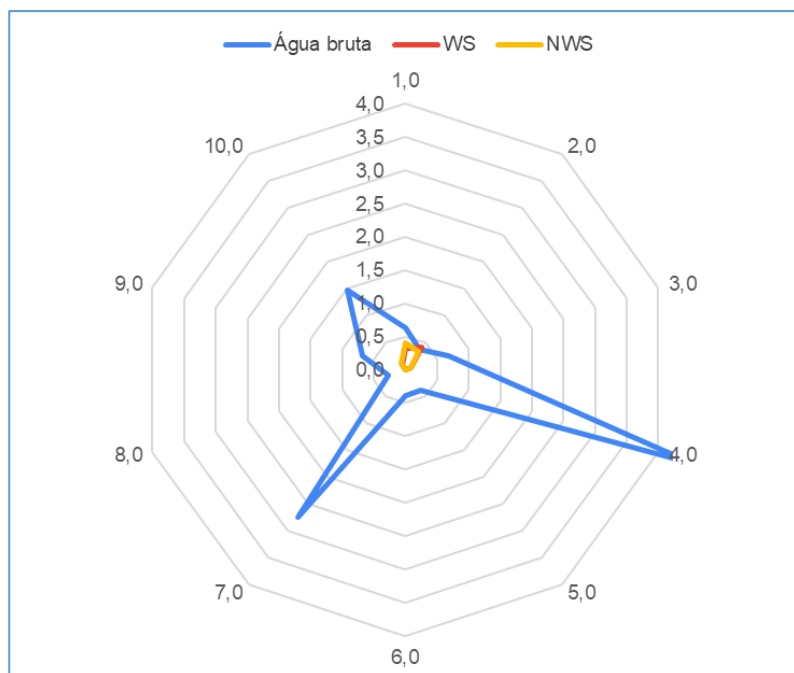
Fonte: Autores [2026]

Resultados Para o Parâmetro Ferro Total da Água Bruta e Tratada

A litologia da bacia e os sedimentos fluviais exercem influência sobre a qualidade geoquímica dos corpos hídricos superficiais, podendo a diversidade litológica causar variações nas concentrações de ferro [Oliveira; Lopes, 2022]. Além disso, o ferro ocorre na natureza em diferentes formas [coloides, partículas orgânicas e frações inorgânicas], e sua dinâmica é influenciada por fatores biogeoquímicos e hidrológicos nas bacias hidrográficas [Heikkinen *et al.*, 2022].

Nesse contexto, na água bruta, os valores de ferro total (FT), conforme Figura 10, oscilaram entre 0,276 mg/L e 4,55 mg/L, ultrapassando em diversas campanhas o limite de 0,3 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357 [Brasil, 2005] para águas doces de Classe 2. Assim, esses resultados podem estar associados à influência litológica da bacia e à participação de diferentes frações do ferro no sistema aquático, conforme discutido nos estudos mencionados, evidenciando a importância do monitoramento contínuo e da adequada etapa de tratamento.

Figura 10. Ferro total



Fonte: Autores [2026]

Após a aplicação dos coagulantes à base de cacto, observou-se redução significativa nas concentrações de ferro total (Figura 10), com destaque para a campanha de dezembro [concentração 10 mL], quando os valores diminuíram de 4,55 mg/L para 0,004 mg/L em ambos os tratamentos, evidenciando elevada eficiência na remoção do metal. Resultados semelhantes foram reportados por Goes *et al.* [2017], que observaram desempenho satisfatório de coagulantes naturais na remoção de ferro em águas superficiais, atribuídos à adsorção e à incorporação do metal aos flocos formados durante o processo de coagulação.

Entretanto, nas amostras referentes aos meses de setembro e outubro de 2024, os valores permaneceram acima do limite legal, mesmo após o tratamento, sugerindo influência de fatores operacionais e da variabilidade da qualidade da água [Zara; Thomazini; Lenz, 2012]. O coagulante sem pele [NWS] apresentou desempenho ligeiramente superior, mantendo concentrações mais próximas da conformidade legal. Esses achados reforçam o potencial dos coagulantes vegetais no tratamento de água, conforme também discutido por Angulo Altamirano, Lévano e Yapu [2020] e Lima [2020].

Os valores de ferro total (FT) na água tratada apresentaram redução significativa em relação à água bruta, com variação entre 0,004 e 0,399 mg/L para o coagulante sem pele [NWS] e entre 0,004 e 0,415 mg/L para o coagulante com pele [WS]. As médias observadas foram de 0,095 mg/L [NWS] e 0,092 mg/L [WS], com desvios padrão de 0,150 e 0,152, respectivamente, indicando comportamento semelhante entre os tratamentos, apesar da variabilidade associada às diferentes campanhas de monitoramento.

Os resultados detalhados da análise estatística inferencial para o parâmetro FT encontram-se apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Resultados do valor-p na estatística inferencial

	NWS - FT	WS - FT
Teste Shapiro-Wilk (valor-p)	0,0005805	0,0003979
Teste adotado	Teste Wilcoxon	
Valor-p do teste adotado	0,8982	

Fonte: Autores [2026]

Desse modo, conforme o teste de Wilcoxon, o valor p foi superior a 0,05, indicando ausência de diferença estatisticamente significativa entre os coagulantes para o parâmetro FT.

Análise dos Efeitos Ecotoxicológicos do Extrato de Cacto na Germinação de Sementes

Os resultados da avaliação ecotoxicológica [Tabela 8] indicaram que o ICR acompanhou a tendência do IG, demonstrando que o material não compromete o desenvolvimento inicial das plântulas. Segundo *Michelan et al. [2021]*, a manutenção ou o estímulo do crescimento radicular indica ausência de efeitos subletais relevantes, reforçando a segurança ambiental do resíduo.

Tabela 8. Comprimento Radicular da Amostra [CRA] médio, Índice de Crescimento Radicular [ICR] médio e Índice de Germinação [IG] médio para cada concentração [[]] de extrato de cacto [com e sem pele]

[]	NWS				WS			
	CRA [mm]	ICR	SGA/SGC	IG [%]	CRA [mm]	ICR	SGA/SGC	IG [%]
12,5	62,773	1,111	0,990	112,480	40,922	1,014	1,036	112,172
25,0	37,441	0,695	0,939	64,946	38,118	0,971	1,059	105,878
50,0	36,570	0,697	0,877	57,845	36,844	0,983	1,182	128,589
100,0	42,210	0,827	0,811	72,922	44,964	1,188	1,049	163,370

Fonte: Autores [2026]

Verificou-se que 37,5% das análises apresentaram estímulo ao crescimento (IG > 120%) e 25,0% indicaram ausência de toxicidade significativa (80–120%), conforme *Young et al. [2012]*. Além disso, todos os resultados de crescimento médio da raiz [médias do controle negativo de aproximadamente 61 mm para NWS e 53 mm para WS] superaram o valor de referência de 5 mm estabelecido pela *USEPA [1996]*, evidenciando efeito positivo no crescimento radicular. Ressalta-se que a germinação média do controle, nas situações sem e com pele, permaneceu acima do mínimo recomendado de 65%, alcançando 82,5% e 72,5%, respectivamente.

Desse modo, os bioensaios com *Lactuca sativa* indicaram que o lodo proveniente da coagulação com extrato de cacto apresenta baixa fitotoxicidade, comportamento também observado por [Michelan *et al.* \[2021\]](#), ao avaliarem lodo gerado com *Moringa oleifera*.

Adicionalmente, [Santos, Araújo e Michelan \[2025\]](#) verificaram que os lodos provenientes do uso de coagulantes naturais [*Moringa oleifera* Lam. e *Abelmoschus esculentus*] também apresentam baixo potencial ecotoxicológico, permitindo a germinação e o crescimento de bioindicadores vegetais, reforçando o potencial de reaproveitamento do resíduo e sua aplicação em estratégias mais sustentáveis no manejo de subprodutos do tratamento de água.

Assim, as composições avaliadas quanto à ausência de toxicidade no uso de materiais alternativos para o tratamento de água corroboram os achados de [Santos *et al.* \[2026\]](#), [Santos, Araújo e Michelan \[2025\]](#), [Mesquita *et al.* \[2024\]](#), [Michelan *et al.* \[2021\]](#) e [Oliveira *et al.* \[2019\]](#).

Dessa maneira, nota-se que as implicações ambientais são relevantes: materiais atóxicos ampliam as possibilidades de destinação, como aplicação agrícola controlada ou compostagem, reduzindo a necessidade de disposição em aterros. Diferentemente de lodos gerados por coagulantes químicos, os resíduos de origem vegetal tendem a apresentar maior biodegradabilidade e menor risco ambiental [[Michelan *et al.*, 2021](#)]. Ademais, além dos benefícios ambientais, o uso do cacto como coagulante favorece o aproveitamento de recursos regionais, podendo gerar impactos sociais positivos e redução de custos operacionais no tratamento de água.

Considerações finais

O estudo confirmou o potencial do cacto palma (*Opuntia* spp.) como coagulante natural eficiente, promovendo melhorias significativas na qualidade da água do rio Poxim, o que reforça sua relevância em contextos de escassez hídrica e vulnerabilidade ambiental, observados em regiões áridas e semiáridas. Ambos os extratos, com pele [WS] e sem pele [NWS], apresentaram desempenho positivo, evidenciando que o uso do cacto é uma alternativa viável e sustentável para o tratamento de água em comunidades com infraestrutura limitada.

Embora tenham sido observadas diferenças numéricas nas remoções, estatisticamente os extratos com e sem pele apresentaram desempenho semelhante para os parâmetros avaliados [físico-químicos e microbianos estudados], não sendo observadas diferenças significativas entre os tratamentos [$p > 0,05$]. Assim, aponta-se que, pelo fato de o extrato com pele não envolver tempo para a retirada desta, simplificando o processo metodológico, esse extrato comporta-se como mais prático, se comparado com o extrato sem pele.

Adicionalmente, os ensaios ecotoxicológicos com *Lactuca sativa* de ambos os extratos sugerem possibilidade de reaproveitamento agrícola, desde que haja manejo adequado e controle de dosagem.

Ademais, para ambos os extratos estudados, recomenda-se a etapa de filtração, seguida da etapa complementar de desinfecção, a fim de garantir a potabilidade da água e a segurança sanitária do processo. Para estudos futuros, recomenda-se avaliar a eficiência dos coagulantes em diferentes condições de qualidade da água, bem como investigar a otimização das dosagens e das condições operacionais do sistema de tratamento, fortalecendo o desenvolvimento de soluções ambientalmente sustentáveis capazes de promover o acesso seguro à água e contribuir para a segurança hídrica de populações em situação de vulnerabilidade.

Referências

- ANGULO ALTAMIRANO, E. D.; YAYA LÉVANO, J. E. R.; COAQUIRA YAPU, M. A. Uso de la “*Opuntia ficus indica*” como agente natural para el tratamiento de aguas, a nivel de laboratorio. *Ñawparisun – Revista de Investigación Científica de Ingenierías*, v. 2, n. 4, p. 57-64, 2020.
- APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington, D.C.: APHA, 2012.
- BATISTA, I. F.; MICHELAN, D. C. G. S.; JESUS, É. P. S.; NILIN, J. Potential contribution of water treatment plant [WTP] sludge to river pollution. *Scientia Plena*, v. 17, n. 10, 101701, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2021.101701>. Disponível em: <https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/6212>. Acesso em: 15 set. 2026.
- BATISTA, I. F.; NILIN, J.; BATISTA, D. F.; MICHELAN, D. C. G. S. Análise da germinação e crescimento radicular de sementes de alface expostas ao lodo de ETA [Rio Poxim, Sergipe]. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA*, 15., 2018, Aracaju. *Anais [...]*. Aracaju: Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia, 2018. v. 1. p. 776-777.
- 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, n. 85, p. 126-136, Brasília, DF, 7 maio 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 15 set. 2026.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico [PLANSAB]**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2024. 86 p. Caderno Temático 3 – Cisternas e Políticas Públicas.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 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, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, seção 1, n. 53, p. 58-63, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=18/03/2005&jornal=1&pagina=58&totalArquivos=192>. Acesso em: 15 set. 2026.
- CABANA, J. C.; CHIPANI, T. H.; VERA, G. C.; BEDOYA-JUSTO, E. Potato starch [*Solanum tuberosum*] and its effect on water turbidity for population consumption. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*, v. 12, n. 4, 300, 2021.
- CAMACHO OVIEDO, H.; CAMPOS NÚÑEZ, D.; MERCADO MARTINEZ, I.; CUBILLÁN ACOSTA, N.; CASTELLAR ORTEGA, G. Uso de las cáscaras de papa [*Solanum tuberosum* L.] en la clarificación del agua de la ciénaga de Malambo. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, v. 8, n. 1, p. 100-111, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>. Disponível em: <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/innovacioning/article/view/3572>. Acesso em: 15 set. 2026.

CARNEIRO-MARRA, L.; SAD, L.; SILVA-BATISTA, M. Evaluation of mucilage and powder of Okra as bio-flocculant in water treatment. **Revista Ion**, v. 32, n. 2, p. 53-58, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019005>. Disponível em: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/8544/10460>. Acesso em: 15 set. 2026.

CAYUPÁN, M. L.; OCHOA, M. J.; NAZARENO, M. A. Health-promoting substances and antioxidant properties of *Opuntia* sp. fruits. Changes in bioactive-compound contents during ripening process. **Food Chemistry**, v. 126, n. 1, p. 514-519, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.033>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814610014512>. Acesso em: 15 set. 2026.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Apêndice D: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade**. São Paulo: CETESB, 2013. 46 p.

CHIDIAC, S.; EL NAJJAR, P.; KASSOUF, A.; OUAINI, N.; EL RAYESS, Y.; EL AZZI, D. Assessment of the Surface Water Quality of Ibrahim River [Lebanon]: A Spatio-Temporal Analysis. **Water**, v. 17, n. 16, 2483, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/w17162483>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/17/16/2483>. Acesso em: 15 set. 2026.

COSTA, M. P. S. D.; COSTA, D. B.; LIMA, R. P.; FELIX, E. S.; SOUZA, J. T. A.; LIMA, W. B.; MOREIRA, I. S.; LIRA, E. C.; ARAÚJO, J. S. Palma como cultura estratégica do semiárido: origem, ecofisiologia, sistemas de produção, melhoramento genético e potencial alimentício. *In: Ciências Agrárias: Teoria e prática*. Curitiba/PR: Aurum Editora, 2025. Cap. 2, p. 11-29. *E-book*. DOI: <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-002>. Disponível em: <https://aurumpublicacoes.com/index.php/editora/article/view/882>. Acesso em: 15 set. 2026.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Completing the picture: how the circular economy tackles climate change**, 2019.

EXLEY, C. Human exposure to aluminium. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 15, n. 10, p. 1807-1816, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1039/c3em00374d>. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/em/article/15/10/1807/402304/Human-exposure-to-aluminium>. Acesso em: 15 set. 2026.

GOES, H. H. D.; SOUZA, R. C. P.; MELO, J. M.; THEODORO, J. D. P. Estudo da aplicação do cacto *Opuntia cochenillifera* no tratamento de água. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 554-563, 2017. DOI: https://doi.org/10.18677/EnciBio_2017A50. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2017a/agrar/Estudo%20da%20%20aplicacao.pdf>. Acesso em: 15 set. 2026.

GRYCZAK, M.; KILIPPER, J. T.; COSTA, P. D.; MACCARI, A. Sementes de *Lactuca sativa* como bioindicador de toxicidade em resíduos de construção civil. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 24, p. 233-242, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18616/ta.v24i0.4406>. Disponível em: <https://periodicos.unesc.net/ojs/index.php/tecnoambiente/article/view/4406>. Acesso em: 15 set. 2026.

HEIKKINEN, K.; SAARI, M.; HEINO, J.; RONKANEN, A.-K.; KORTELAINE, P.; JOENSUU, S.; VILMI, A.; KARJALAINEN, S.-M.; HELLSTEN, S.; VISURI, M.; H.; MARTTILA. Iron in boreal river catchments: biogeochemical, ecological and management implications. *Science of the Total Environment*, v. 805, 150256, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150256>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972105333X>. Acesso em: 15 set. 2026.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 872 p.

JESUS, T. M. **Qualidade da água da sub-bacia do rio Poxim a montante e a jusante da captação da Estação de Tratamento de Água**. 2021. 100 f. Dissertação [Mestrado em Engenharia Civil] – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2021. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/17863>. Acesso em: 15 set. 2026.

LIMA, D. G. **Tratamento de água com coagulantes alternativos**. 2020. Dissertação [Mestrado em Engenharia Química] – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

LIMA, R. G. S.; AMORIM, D. L. N. F.; MENDES, L. A. Modelo chuva-vazão baseado no método dos resíduos ponderados: resultados preliminares. *In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 16.; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 15., 2022, Caruaru. **Anais [...]**. Caruaru: ABRHidro, 2022. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=14280>. Acesso em: 15 set. 2026.

MCLACHLAN, D. R. Aluminium and the risk for Alzheimer's disease. *Environmetrics*, v. 6, n. 3, p. 233–275, 1995.

MESQUITA, G. S. L.; SOUZA, T. D.; CAMPOLINA, B. C. M.; BONGIOVANNI, J. A. C.; MENDES, M. A. S. A. Extração dos coagulantes naturais de *Moringa oleifera* e quiabo [*Abelmoschus esculentus*] para tratamento de águas turvas. *In*: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2024, Recife. **Anais [...]**. Recife: ABES, 2024. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/21silubesa_download/220_tema_i.pdf. Acesso em: 15 set. 2026.

MICHELAN, D. C. D. G. S.; SANTOS, W. N. D. A.; ROSA, T. S.; SANTOS, D. D. G.; JESUS, R. D. C. S. D. Uso do coagulante/floculante emergente à base de moringa no tratamento de água com verificação da composição e toxicidade do lodo produzido: tratamento de água com *Moringa* e toxicidade do lodo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 5, p. 955–963, 2021.

MONTEIRO, A. S. C.; SILVA, E. L.; ALENCAR, N. R. O.; CARDOSO, C. M.; SILVA, I. S.; NASCIMENTO, R. S.; ALVES, J. P. H. Geochemical modeling of the evaporation process in salinized reservoirs in the semi-arid region of Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 27, e21, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/KfdpHZQRzDpdKMXSQDYf64Q/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 15 set. 2026.

MONTEIRO, C. C. D.; MEDEIROS, A. C. G. Estudo do *Cereus jamacaru* [mandacaru] como agente coagulante no tratamento de água para o consumo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 22., 2018, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Blucher, 2018. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/e963/0fc7dfb38d745c89303a1cf4a7e5edb9daa2.pdf>. Acesso em: 15 set. 2026.

MORAES, J. B.; WANDERLEY, H. S.; DELGADO, R. C. Áreas suscetíveis a desertificação no Nordeste do Brasil e projeção para cenário de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 6, p. 4003-4014, 2024. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.6.p4003-4014>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/259141>. Acesso em: 15 set. 2026.

NAYERI, D.; MOUSAVI, S. A. A comprehensive review on the coagulant recovery and reuse from drinking water treatment sludge. **Journal of environmental management**, v. 319, 115649, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115649>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479722012221>. Acesso em: 15 set. 2026.

OLIVEIRA, L. N.; LOPES, F. A. Avaliação geoquímica em águas superficiais e sedimentos fluviais na bacia do córrego Paciência. **Caderno de Geografia**, v. 32, n. 70, p. 813-836, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2022v32n70p813>. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/28249>. Acesso em: 15 set. 2026.

OLIVEIRA, M. D.; VIANNA, G. P.; TONANI, I. A.; NUNES, V. R. Resíduos de estações de tratamento de água: uma revisão bibliográfica sobre qualidade e uso sustentável no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 32., 2023, Vitória. **Anais [...]**. Vitória: ABES, 2023. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anaiseletronicos/32cbesa/978_tema_i.pdf. Acesso em: 15 set. 2026.

OLIVEIRA, Z. L.; LYRA, M. R. C. C.; NASCIMENTO, J. F.; FERREIRA, S. R. M. Alternativa de compostagem do lodo residual e reuso para produção de mudas e paisagismo de aterro sanitário. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, v. 12, p. 383-398, 2019. Disponível em: <https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/62231>. Acesso em: 15 set. 2026.

OLIVIO, M. L. G.; ESTEVES, E. F. J.; FERRO, D. A. M. Sementes de *Moringa oleífera* Lam: eficiência no uso de coagulante biológico no tratamento de água com turbidez, comparado ao coagulante químico sulfato de alumínio. **Revista Funec Científica – Multidisciplinar**, v. 9, n. 11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24980/rfcm.v9i11.4032>. Disponível em: <https://seer.unifunec.edu.br/index.php/rfc/article/view/4032>. Acesso em: 15 set. 2026.

PESSOA, D. V.; ANDRADE, A. P.; MAGALHÃES, A. L. R.; TEODORO, A. L.; SANTOS, D. C.; ARAÚJO, G. G. L.; MEDEIROS, A. N.; NASCIMENTO, D. B.; VALENÇA, R. L.; CARDOSO, D. B. Forage nutritional differences within the genus *Opuntia*. **Journal of Arid Environments**, v. 181, 104243, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104243>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140196320301439>. Acesso em: 15 set. 2026.

QUEIROZ, L. D.; BATISTA, E. C. A.; CONCEIÇÃO, E. O. C.; MANTOVANO, T.; CAMPOS, A. C. L. P. Anthropogenic impacts on water quality in southern Brazil: a multidimensional analysis of tributaries and the Chavantes reservoir. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 61, p. e2586, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5327/z2176-94782586>. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/2586. Acesso em: 15 set. 2026.

- RISS, J. S. P.; FARIAS, L. R.; SOUZA, V. P.; ARAÚJO, G. Í.; VITAL, M. J. S. Efeito do cacto amazônico [*Cereus Jamacaru*] como coagulante natural para a remoção da turbidez de águas superficiais. **Periódico Tchê Química**, v. 19, n. 42, p. 29-36, 2022. DOI: https://doi.org/10.52571/PTQ.v19.n42.2022.03_RISS_pgs_29_36.pdf. Disponível em: https://www.tchequimica.com/arquivos_jornal/2022/42/03_RISS_pgs_29_36.pdf. Acesso em: 15 set. 2026.
- RONDEAU, V.; COMMENGES, D.; JACQMIN-GADDA, H.; DARTIGUES, J. F. Relation between aluminum concentrations in drinking water and Alzheimer's disease: an 8-year follow-up study. **American Journal of Epidemiology**, v. 152, n. 1, p. 59-66, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1093/aje/152.1.59>. Disponível em: <https://academic.oup.com/aje/article/152/1/59/139168>. Acesso em: 15 set. 2026.
- SÁENZ, C.; SEPÚLVEDA, E.; MATSUHIRO, B. *Opuntia* spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. **Journal of Arid Environments**, v. 57, n. 3, p. 275-290, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00106-X](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00106-X). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014019630300106X>. Acesso em: 15 set. 2026.
- SANTOS, A. L. A.; ARAÚJO, T. D.; MICHELAN, D. C. G. S. Toxicity of sludge from water treatment using natural coagulants/floculants. **Journal of Water Process Engineering**, v. 77, 108644, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.108644>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714425017179>. Acesso em: 15 set. 2026.
- SANTOS, A. L. A.; JESUS, M. B.; LUCAS, A. A. T.; MICHELAN, D. C. G. S. Efeitos de extratos de biocarvões na germinação e no desenvolvimento inicial de *Lactuca Sativa* L. **RECIMA21**, v. 7, n. 7, e778435, 2026. DOI: <https://doi.org/10.47820/recima21.v7i7.8435>. Disponível em: https://recima21.com.br/recima21/pt_BR/article/view/8435. Acesso em: 15 set. 2026.
- SANTOS, A. L. A.; ROSA, T. S.; MICHELAN, D. C. G. S. Eficiência do tratamento de água por meio dos coagulantes inorgânico sulfato de alumínio e orgânico *Abelmoschus esculentus* ou quiabo separadamente e associados. **Gaia Scientia**, v. 16, n. 3, p. 84-108, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2022v16n3.63769>. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/view/63769>.
- SANTOS, E. C.; PASSOS, K. F. S. Gestão de recursos hídricos: um estudo de caso sobre a gestão do Rio Poxim em Sergipe. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2024, Aracaju. **Anais [...]**. Aracaju: ABES, 2024. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anaisletronicos/21silubesa_download/202_tema_iv.pdf. Acesso em: 15 set. 2026.
- SOUZA, K. C. O.; LIMA, A. S.; SANTOS, A. C. C.; VALENTIM, A. C. S. Avaliação de possíveis impactos no ambiente devido à introdução da manipueira utilizando sementes de alface [*Lactuca sativa*] como bioindicador. In: CONGRESSO BAIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 4., 2016, Cruz das Almas. **Anais [...]**. Cruz das Almas: COBESA, 2016.
- UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 15 set. 2026.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Ecological effects test guidelines**: OPPTS 850.4200. Washington, DC, 1996.

VICENTE-SERRANO, S. M.; PRICOPE, N. G.; TORETI, A.; MORÁN-TEJEDA, E.; SPINONI, J.; OCAMPO-MELGAR, A.; ARCHER, E.; DIEDHIOU, A.; MESBAHZADEH, T.; RAVINDRANATH, N. H.; PULWARTY, R. S.; ALIBAKHSHI, S. **The global threat of drying lands**: regional and global aridity trends and future projections. A Report of the Science-Policy Interface. Bonn: UNCCD, 2024. 156 p.

VIEIRA, E. A.; CORDEIRO, A. M. T. M. Bioprospecting and potential of cactus mucilages: a bibliometric review. **Food Chemistry**, v. 401, 134121, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134121>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814622020830>. Acesso em: 15 set. 2026.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Drinking-water Quality**: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: WHO, 2017.

YOUNG, B. J.; RIERA, N. I.; BEILY, M. E.; BRES, P. A.; CRESPO, D. C.; RONCO, A. E. Toxicity of the effluent from an anaerobic bioreactor treating cereal residues on *Lactuca sativa*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 75, p. 182-186, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.09.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651311003125>. Acesso em: 15 set. 2026.

ZARA, R. F.; THOMAZINI, M. H.; LENZ, G. F. Estudo da eficiência de polímero natural extraído do cacto mandacaru como auxiliar nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2esp., p. 75-83, 2012. Disponível em: <https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/2935>. Acesso em: 15 set. 2026.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS

COMO CITAR ESTE ARTIGO SEGUNDO AS NORMAS DA REVISTA

ABNT: SANTOS, A. B. M.; SANTOS, A. L. A.; ROSA, T. S.; MENDONÇA, L. C.; SANTOS, D. G.; MICHELAN, D. C. G. S. Investigação da eficiência do cacto com e sem epiderme no tratamento de água e suas implicações ambientais. *Vértices [Campos dos Goitacazes]*, v. 28, n. 3, p. e28323684, 2026. DOI: <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v28n32026.23684>. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/23684>.

APA: Santos, A. B. M., Santos, A. L. A., Rosa, T. S., Mendonça, L. C., Santos, D. G., & Michelan, D. C. G. S. [2026]. Investigação da eficiência do cacto com e sem epiderme no tratamento de água e suas implicações ambientais. *Vértices [Campos dos Goitacazes]*, 28(3), e28323684. <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v28n32026.23684>

DADOS DO AUTOR E AFILIAÇÃO INSTITUCIONAL

Ana Beatriz Matos Santos – Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Sergipe [UFS] – São Cristóvão/SE – Brasil. E-mail: anabeatrizmatos@academico.ufs.br.

Ana Lara Araújo Santos – Mestra em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Sergipe [2025]. Doutoranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Sergipe [UFS] – São Cristóvão/SE – Brasil. E-mail: analarah.santos@gmail.com.

Tamires Santos Rosa – Graduada em Química Licenciatura pela Universidade Federal de Sergipe [2011-2016]. Técnica em Assuntos Educacionais e Pesquisadora em Química na Universidade Federal de Sergipe [UFS] – São Cristóvão/SE – Brasil. E-mail: tamiresrosa13@hotmail.com.

Luciana Coêlho Mendonça – Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo [USP]. Professora Titular na Universidade Federal de Sergipe [UFS] – São Cristóvão/SE – Brasil. E-mail: lumendon@academico.ufs.br.

Débora de Gois Santos – Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina [UFSC]. Professora Titular na Universidade Federal de Sergipe [UFS] – São Cristóvão/SE – Brasil. E-mail: deboragois@academico.ufs.br.

Denise Conceição de Gois Santos Michelan – Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina [UFSC]. Professora na Universidade Federal de Sergipe [UFS] – São Cristóvão/SE – Brasil. E-mail: denise_gois@yahoo.com.br.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

ABMS: Análise Formal, Investigação, Visualização, Validação, Escrita – Rascunho Original e Escrita – Revisão e Edição; **ALAS:** Análise Formal, Investigação, Metodologia, Escrita – Rascunho Original e Escrita – Revisão e Edição; **TSR:** Investigação e Metodologia; **DGS:** Conceitualização, Recursos, Escrita – Rascunho Original e Escrita – Revisão e Edição; **LCM:** Conceitualização e Recursos; **DCGSM:** Conceitualização, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Administração de Projetos, Supervisão, Escrita – Rascunho Original e Escrita – Revisão e Edição.

FINANCIAMENTO

Os autores declararam que esta pesquisa contou com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil [CAPES] – Código de Financiamento 001, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [CNPq] – Processo nº 148761/2024-0.

APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA NA PESQUISA

Não se aplica.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declararam não haver conflitos de interesses.

DISPONIBILIDADE DOS DADOS

Os autores declararam que os dados utilizados neste estudo não foram depositados em repositório pelos autores.

DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Os autores declaram que ferramentas de inteligência artificial não foram utilizadas na elaboração do manuscrito, na criação de figuras ou imagens, nem em qualquer outra etapa deste estudo.

DECLARAÇÃO DE DIREITO AUTURAL

Este documento é protegido por Copyright © 2026 pelos Autores.

LICENÇA DE USO

Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons](#). Os usuários têm permissão para copiar e redistribuir os trabalhos por qualquer meio ou formato, e também para, tendo como base o seu conteúdo, reutilizar, transformar ou criar, com propósitos legais, até comerciais, desde que citada a fonte.

RESPONSABILIDADE PELA PUBLICAÇÃO

Essentia Editora, coordenação subordinada à PROPPIE do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da Essentia Editora.