



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

GUSTAVO SANTOS VIDAL DE NEGREIROS

**PRODUÇÃO DE COAGULANTES A BASE DE TANINOS DE ESPÉCIES VEGETAIS
DA CAATINGA E SEU POTENCIAL NA RECUPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS
EUTROFIZADOS**

**CAMPINA GRANDE
2023**

GUSTAVO SANTOS VIDAL DE NEGREIROS

**PRODUÇÃO DE COAGULANTES A BASE DE TANINOS DE ESPÉCIES VEGETAIS
DA CAATINGA E SEU POTENCIAL NA RECUPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS
EUTROFIZADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado ao Departamento do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Tratamento de água.

Orientador: Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos

Coorientadora: Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira

**CAMPINA GRANDE
2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

N385p Negreiros, Gustavo Santos Vidal de.

Produção de coagulantes a base de taninos de espécies vegetais da caatinga e seu potencial na recuperação de reservatórios eutrofizados [manuscrito] / Gustavo Santos Vidal de Negreiros. - 2023.

24 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.

"Orientação : Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT. "

"Coorientação: Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira , Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Coagulante orgânico. 2. Cationização. 3. Eutrofização. I.
Título

21. ed. CDD 628

GUSTAVO SANTOS VIDAL DE NEGREIROS

PRODUÇÃO DE COAGULANTES A BASE DE TANINOS DE ESPÉCIES VEGETAIS DA
CAATINGA E SEU POTENCIAL NA RECUPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS
EUTROFIZADOS

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado ao Departamento do Curso de
Engenharia Sanitária e Ambiental da
Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Tratamento de água.

Aprovada em: 23/11/2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira (Coorientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Neyliane Costa de Souza
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	METODOLOGIA.....	7
2.1	Coleta e preparo do material.....	7
2.2	Extração e quantificação de taninos.....	7
2.2.1	<i>Determinação do teor de sólidos totais (TST)</i>	8
2.2.2	<i>Determinação do número de Stiasny (NS), teor de taninos condensados (TTC) e teor de não taninos (TNT).....</i>	8
2.3	Cationização	9
2.4	Ensaio de tratabilidade	9
2.5	Análise dos dados.....	9
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
3.1	Extração e quantificação de taninos.....	10
3.2	Ensaio de tratabilidade	11
4	CONCLUSÕES.....	19
	REFERÊNCIAS.....	19

PRODUÇÃO DE COAGULANTES A BASE DE TANINOS DE ESPÉCIES VEGETAIS DA CAATINGA E SEU POTENCIAL NA RECUPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS EUTROFIZADOS

DEVELOPING TANNIN-BASED COAGULANTS FROM VEGETAL SPECIES OF THE CAATINGA AND THEIR APTITUDE ON RECOVERING EUTROPHICATED RESERVOIRS

Gustavo Santos Vidal de Negreiros*

Whelton Brito dos Santos**

Weruska Brasileiro Ferreira***

RESUMO

Os agentes coagulantes/floculantes a base de taninos, que surgem como alternativa promissora na substituição dos coagulantes inorgânicos a base de sais metálicos que possuem potencial tóxico, além de apresentarem eficiência na remoção de turbidez, cor, sólidos em suspensão, demanda química de oxigênio, e metais pesados, como relatam diversas pesquisas, possuem efeito significativo na remoção de algas e potencial remoção de fósforo, podendo ser uma opção viável no emprego de técnicas de recuperação de ambientes aquáticos eutrofizados. Neste contexto, o presente trabalho buscou desenvolver coagulantes a base de taninos extraídos de plantas do bioma Caatinga: a *Mimosa tenuiflora* (jurema preta), a *Anadenanthera colubrina* var. *Cebil* (angico-vermelho) e *Anacardium occidentale* (cajueiro), a fim de verificar suas potencialidades na recuperação de reservatórios eutrofizados do semiárido brasileiro. Com base nos ensaios conduzidos para a quantificação de taninos, 60 min foi a variável que garantiu maior teor de taninos condensados e índice de pureza, sendo esse o tempo utilizado para extrair os taninos que foram posteriormente cationizados, via reação de Mannich, e aplicados em águas coletadas no reservatório eutrófico Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão, Paraíba, para realização de ensaios de tratabilidade. A fim de validar a eficiência da cationização, também foi realizado a aplicação do extrato puro. As dosagens utilizadas foram de 10, 50, 100, 300, 500 e 700 mg/L sendo possível verificar remoção/alteração de turbidez, cor aparente, cor verdadeira, pH, fósforo reativo solúvel, fósforo total e clorofila-a. Os valores obtidos demonstraram que o extrato puro não foi eficiente na remoção das variáveis avaliadas, além de conferir cor a água. Por seu turno, o extrato cationizado resultou em remoções significativas de turbidez, cor aparente, clorofila-a, com pequena alteração dos valores de pH, principalmente para altas dosagens, permanecendo próximo a neutralidade, além de potencial adsorção de partículas dissolvidas, nas três espécies vegetais. Não foi observado remoções significativas de fósforo, o que sugere a necessidade de investigação para verificar se a concentração de fósforo inicial influência no processo de remoção.

Palavras-Chave: coagulante orgânico; tanino; cationização; eutrofização.

* Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

gustavo.negreiros@aluno.uepb.edu.br

** Prof. do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

wheltonbrt@gmail.com

*** Profa. do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

weruska_brasileiro2020@servidor.uepb.edu.br

ABSTRACT

The tannin-based coagulants, which emerge as a promising alternative to replace inorganic coagulants based on metallic salts that have potential toxicity, in addition to showing efficiency in removing turbidity, color, suspended solids, chemical oxygen demand, and heavy metals, as reported in various studies, have a significant effect on the removal of algae and stands as a potential phosphorus removal. It can be a viable option when applying techniques for the recovery of eutrophied aquatic environments. In this scenario, this study aims to develop tannin-based coagulants extracted from plants in the Caatinga biome: *Mimosa tenuiflora* (black jurema), *Anadenanthera colubrina* var. *Cebil* (red angico), and *Anacardium occidentale* (cashew tree). The goal was to assess their potential in the recovery of eutrophied reservoirs in the Brazilian semiarid region. On the tests conducted to quantify tannins, the variable of 60 minutes ensured the highest amount of condensed tannins and purity index. This time was used to extract the tannins, which were later cationized through the Mannich reaction. They were then applied to water collected from the eutrophic reservoir Epitácio Pessoa in Boqueirão city, Paraíba, for treatability tests. To validate the efficiency of cationization tests using the pure extract were also carried out. Dosages of 10, 50, 100, 300, 500, and 700 mg/L were used, allowing the assessment of alteration in turbidity, apparent color, true color, pH, soluble reactive phosphorus, total phosphorus, and chlorophyll-a. The results pointed that the pure extract was not efficient in removing the any of the evaluated attributes and added color to the water. On the other hand, the cationized extract resulted in significant removals of turbidity, apparent color, chlorophyll-a, with slight changes in pH values, especially at high dosages, staying close to neutrality. It also showed potential adsorption of dissolved particles in all three plant species. Significant phosphorus removal was not observed, suggesting the need for further investigation to determine if the initial phosphorus concentration has an influence on the removal process.

Keywords: organic coagulant; tannin; cationization; eutrophic.

1 INTRODUÇÃO

A coagulação é um processo de tratamento conhecido por realizar a desestabilização de partículas suspensas e coloidais, além de outras substâncias que geralmente aparecem dispersas na água, sua efetividade depende de diversos fatores, dentre os de maior relevância estão os agentes coagulantes empregados. Os agentes coagulantes à base de sais de alumínio e de ferro são os mais utilizados por sua eficácia e baixo custo. Apesar do excelente desempenho desses agentes de base inorgânica, cada vez mais fomentam-se discussões acerca da problemática ambiental em relação aos resíduos ricos em hidróxidos metálicos não biodegradáveis que possuem potencial tóxico. Uma alternativa promissora que vêm sendo amplamente estudada, visando a redução desses impactos negativos, é a substituição por coagulantes orgânicos (Beltrán-Heredia; Sánchez-Martín; Dávila-Acedo, 2011; Giroletti *et al.*, 2021; Tomasi *et al.*, 2022).

Os coagulantes orgânicos têm apresentado excelente desempenho na desestabilização do material coloidal e apresentam vantagens como matéria-prima natural, fontes renováveis, biodegradabilidade do lodo residual, e não liberação de metais após aplicação (Anjos *et al.*, 2022). Dentre os compostos base e promissores para a produção de coagulantes orgânicos estão os taninos. Presentes em abundância no reino vegetal, os taninos vegetais são substâncias

provenientes do metabolismo secundário das plantas, sendo encontrados em quase todos os tecidos vegetais como cerne da madeira, casca, frutos, folhas, raízes e sementes (Giroletti *et al.*, 2021; Paes *et al.*, 2013).

Os taninos em seu estado original não possuem as características catiônicas que possibilitem sua utilização na clarificação de águas. Dessa forma, eles precisam passar por uma reação de cationização que consiste em uma reação química que irá conferir caráter catiônico à matriz orgânica dos taninos, mantendo suas características principais (como solubilidade, estabilidade em diferentes faixas de pH, atividade quelante de metais pesados) enquanto outras são adicionadas. As novas características estão relacionadas com a capacidade de ionizar ao se dissolver em água, adquirindo carga positiva para desestabilizar coloides aniônicos. Uma grande variedade de substâncias aniônicas pode ser desestabilizada e subsequentemente removida com estes tipos de coagulantes (Anjos *et al.*, 2022; Beltrán-Heredia; Sánchez-Martín; Dávila-Acedo, 2011).

Os coagulantes à base de tanino apresentam eficiência na remoção de turbidez, cor, sólidos em suspensão, demanda química de oxigênio, algas e metais pesados (Anjos *et al.*, 2022; Hameed *et al.*, 2016; Hameed *et al.*, 2018; Silveira *et al.*, 2021; Tomasi *et al.*, 2022). Estudo relata que esses coagulantes têm efeito significativo na remoção de algas (Barrado-Moreno; Beltrán-Heredia; Martín-Gallardo, 2016), além de apresentar potencial na remoção de fósforo (Hameed *et al.*, 2016; Hameed *et al.*, 2018; Leite; Hoffmann; Daniel, 2019; Turunen; Karppinen; Ihme, 2019), podendo assim ser uma alternativa viável para o emprego de técnicas de recuperação de reservatórios eutrofizados, a exemplo da técnica *Flock and Lock*, que consiste na aplicação de agentes coagulantes/floculantes (*Flock*) e argilas (*Lock*) para sedimentar e inativar, respectivamente, o fósforo da coluna d'água (De Lucena Silva *et al.*, 2019; Lürling; Oosterhout, 2013).

Neste contexto, o semiárido nordestino torna-se objeto de interesse por seus reservatórios possuírem alta suscetibilidade à eutrofização. Eventos climáticos extremos desempenham papel na regulação de nutrientes nos ecossistemas destes reservatórios: alta variação espacial e temporal da precipitação; baixa amplitude térmica com temperaturas acima de 25 °C ao longo do ano; alta evapotranspiração potencial, levando a um déficit no balanço hídrico durante pelo menos nove meses do ano; além de características naturais como solos rasos e mal estruturados; bacias hidrográficas de drenagem com fluxos intermitentes; cobertura vegetal decidual (Barbosa *et al.*, 2012; Rocha Junior *et al.*, 2018).

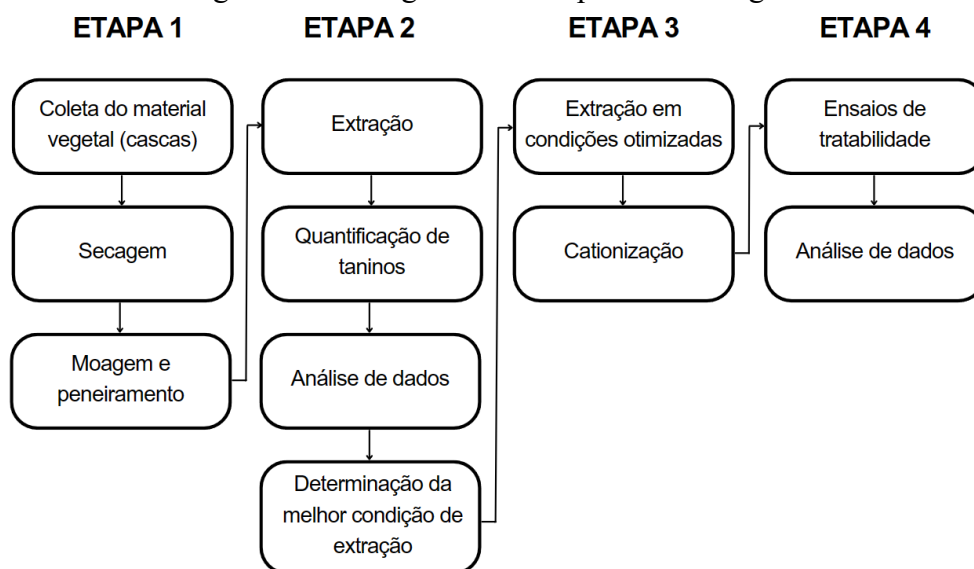
Por seu turno, poucos estudos avaliaram espécies da floresta seca do Nordeste do Brasil quanto ao seu potencial como fontes de taninos, principalmente por produzirem grandes quantidades de casca. A Caatinga é uma fonte de recursos naturais valiosos, a exploração racional de seus recursos naturais é um meio de proporcionar desenvolvimento e sustentabilidade às famílias dessa região semiárida do Brasil. Neste cenário, algumas espécies desse bioma vêm ganhando destaque, como é o caso da *Mimosa tenuiflora* (jurema preta), da *Anadenanthera colubrina* var. *Cebil* (angico-vermelho) e *Anacardium occidentale* (cajuero) (Anjos *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2023).

Diante da problemática dos estados tróficos dos reservatórios do semiárido brasileiro, aliado com o potencial das plantas da Caatinga como fontes de taninos, o presente trabalho buscou desenvolver agentes coagulantes a base de taninos de plantas do bioma Caatinga: jurema preta, angico-vermelho e cajueiro, a fim de verificar suas potencialidades na recuperação de reservatórios eutrofizados.

2 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho foi dividida em quatro etapas, sendo elas: Coleta e preparação do material (Etapa 1); Extração e quantificação de taninos (Etapa 2); cationização dos extratos (Etapa 3); Verificação da efetividade do processo de cationização por meio de ensaios de tratabilidade (Etapa 4). A Figura 1 esquematiza as etapas metodológicas.

Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

2.1 Coleta e preparo do material

Foram coletadas cascas de árvores vivas, das espécies *Mimosa tenuiflora* (jurema preta), *Anadenanthera colubrina var. Cebil* (angico) e *Anacardium occidentale* (cajueiro), provenientes do município de Coxixola, na Paraíba, com distância de 120,4 km da cidade de execução deste trabalho (Campina Grande, PB).

As cascas foram retiradas com cortes longitudinais rente ao caule, com distância de 1 metro do chão e espessura de 3 a 5 cm, em concordância com Paes *et al.* (2013) que realizou pesquisa com mesma finalidade. As amostras foram colocadas em sacos plásticos, sendo devidamente identificadas com data e natureza do material.

Antes do processo de extração de taninos foi realizado a preparação do material vegetal: secagem das cascas em estufa com circulação e renovação de ar, entre 60 e 120 °C entre 10 e 14 h; trituração em moinho rotor tipo Willye, da Tecncal; e peneiramento em peneira comum para retirada de sólidos grosseiros.

2.2 Extração e quantificação de taninos

A extração ocorreu com o uso da água destilada como agente extrator (solvente) em proporções entre 1:5 a 1:30, g de casca moída para mL de água destilada. A extração ocorreu em calor úmido, entre 60 e 120 °C, variando o tempo em quatro condições (60, 120, 180 e 240 min). Após a extração, e para cada condição de tempo, a solução foi filtrada em coador de pano de algodão para remover as partículas sólidas e obter um extrato contendo taninos solubilizados.

É importante ressaltar a utilização da água destilada como solvente neste trabalho, tendo em vista que várias pesquisas comprovam o aumento do teor de compostos não tânico quando é empregado uma solução diferente da água no processo da extração (Aires; Carvalho; Saavedra, 2016; Giroletti *et al.*, 2021; Silveira *et al.*, 2021). Gonçalves e Lelis (2001) ao trabalharem com sulfato de sódio como solvente, por exemplo, comprovaram a extração de outras substâncias não tânico nas cascas como açúcares, aminoácidos e pectinas.

Com o extrato (filtrado) foi aplicado o método de Stiasny, conforme descrito por Wissing (1955) e Lelis (1995), para determinação do teor de sólidos totais (TST), teor de taninos condensados (TTC), teor de não taninos (TNT), e o Número de Stiasny (NS). Este método de quantificação de teores extrativos foi aplicado em trabalhos recentes que também utilizaram cascas de espécies vegetais da caatinga (Anjos *et al.*, 2022; Santos, 2017; Silveira *et al.*, 2021). Todos os ensaios descritos aconteceram em triplicata. É desejável que o extrato apresente elevado valor de TTC, visto que os taninos condensados são mais reativos quimicamente e possibilitam a formação de pontes de hidrogênio, intra e intermoleculares; elevado valor de NS, garantindo um maior índice de pureza ao extrato; e um baixo valor de TNT (Azevêdo *et al.*, 2015; Giroletti *et al.*, 2021; Paes *et al.*, 2013).

2.2.1 Determinação do teor de sólidos totais (TST)

Uma alíquota de 25 mL do extrato, disposta em cápsula de porcelana de massa previamente aferida, foi levada a banho maria até obtenção de um resíduo de massa anidra e constante. Os valores obtidos foram utilizados para a determinação de TST, conforme a Equação 1.

$$TST = \left(\frac{M_i}{M_f} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde, TST é o teor de sólidos totais (%); M_i a massa inicial das cascas moídas em gramas por (100 mL/25 mL); e M_f a massa final do resíduo, após a secagem, em gramas.

2.2.2 Determinação do número de Stiasny (NS), teor de taninos condensados (TTC) e teor de não taninos (TNT)

Uma alíquota de 50 mL do extrato, disposta em balão de fundo redondo, em conjunto com 5 mL de ácido clorídrico e 10 mL de formaldeído a 37%, foi aquecida a 100 °C em um condensador por 30 min após início da ebulição. Este ensaio resultou na formação de complexos insolúveis que foram filtrados a vácuo utilizando um funil de Büchner, filtro de papel 103 (de massa conhecida) e kitassato. Desprezou-se o filtrado e o filtro com o resíduo retido foi disposto em um vidro relógio, também de massa previamente conhecida, a amostra foi levada a estufa para secagem a 75 °C por 24 h. As Equações 2, 3 e 4 são utilizadas para determinar, respectivamente, NS, TTC e TNT.

$$NS = \left(\frac{M_t}{ST} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$TTC = \frac{(TST \times NS)}{100} \quad (3)$$

$$TNT = TST - TTC \quad (4)$$

Onde, NS é o número de Stiasny; M_t a massa do resíduo de taninos, após secagem, em gramas; ST é a massa final (M_f) por (50 mL/25 mL); TTC é o teor de taninos condensados (%); e TNT é o teor de não taninos (%).

2.3 Cationização

Mediante a melhor condição de extração foi realizado a modificação na estrutura dos taninos de cada espécie por meio da reação de Mannich, utilizando método adaptado de Anjos *et al.* (2022). Após extração o extrato foi submetido a evaporação da água até atingir entre 40 e 60% peso/peso. De acordo com Giroletti *et al.* (2021), esta operação é necessária para obtenção de uma solução mais concentrada de sólidos, pois um extrato muito diluído interfere negativamente na reação de síntese de taninos modificados quimicamente pela reação de Mannich, podendo impedir o processo de polimerização do tanino.

Uma alíquota de 28 g do extrato foi agitada juntamente com uma mistura de 9,81 g de cloreto de alumínio e 22,34 g de formaldeído (aquecida previamente a 90 °C em banho maria, em Erlenmeyer, durante 2 h, até atingir uma cor amarelo pálido) durante 30 min a 60 °C. Ao produto desta reação foi acrescentado entre 0,1 e 0,5 g de dietanolamina, agitado e aquecido a 60 °C por 3 h, obtendo-se o extrato cationizado.

2.4 Ensaio de tratabilidade

A fim de verificar a eficiência do coagulante e de comparar a efetividade do processo de cationização, foi aplicado o extrato reduzido (puro) antes e após a reação de Mannich, além dos volumes de controle (que ocorreram sem aplicação dos extratos). O processo aconteceu em escala de bancada utilizando o jartest, com 2 L de água em cada jarro, nas seguintes dosagens: 10, 50, 100, 300, 500 e 700 mg/L. Os jarros com as amostras de água foram submetidos a: 300 rpm por 10 s; 60, 40 e 20 rpm por 5 min cada; repouso por 1 h.

Após 1 h em repouso foram retiradas alíquotas de 125 mL do topo e no fundo de cada jarro, de acordo com relato feito por De Lucena-Silva *et al.* (2019), e posterior determinação do pH, com um medidor portátil da KASVI®, modelo K39-0014PA; turbidez, cor aparente, cor verdadeira, em uso de medidores da PoliControl® (Aquacolor Cor e Turbidímetro AP2000); clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) pelo método espectrofotométrico (10200H), fósforo total e fósforo reativo solúvel (PSR) ($\mu\text{g/L}$) pelo método do ácido ascórbico (4500-PE), conforme descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WPCG, 2012).

A água utilizada na realização dos ensaios foi proveniente do reservatório Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão, Paraíba, no semiárido brasileiro, cujos usos envolve irrigação e abastecimento humano. O reservatório integra a Bacia do Rio Paraíba, beneficiado pelo Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PSIF), enquadrado como Classe 2 conforme a Diretriz nº 205/1988 da SUDEMA (SUDEMA, 1988), e caracterizado como eutrófico com florações persistentes de cianobactérias (Nery; Nery; Medeiros, 2020).

2.5 Análise dos dados

Para testar diferenças significativas nos teores de TST, TTC, TNT e no NS entre as diferentes temperaturas para cada espécie, bem como nas dosagens do extrato puro e cationizado na etapa de aplicação, foi utilizado ANOVA *one-way*, seguido pelo teste de

comparações múltiplas de Tukey. As análises estatísticas foram realizadas considerando um nível de significância de 5% utilizando o *software* Past 4.03.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Extração e quantificação de taninos

Mediante o processo de extração dos taninos, foram obtidos os resultados de TST, TTC, TNT e NS para cada uma das espécies vegetais estudadas (Tabela 1). Para definir uma melhor condição de extração e conseqüentemente a obtenção de um agente floculante eficiente foi priorizado um alto teor de taninos condensados (TTC) com elevado grau de pureza desses compostos no extrato analisado (NS).

Tabela 1 – Valores médios e seus respectivos desvios padrões do TST, TTC, TNT e NS, nos diferentes tempos de extração, para as diferentes espécies avaliadas

Tempo (min)	TST (%) – Jurema	TST (%) - Angico	TST (%) – Cajueiro
60	39,25 ± 0,93 a	34,80 ± 1,57 a	42,47 ± 0,90 a
120	40,88 ± 2,79 a	30,84 ± 1,42 a	37,57 ± 1,13 a
180	41,78 ± 2,26 a	31,21 ± 0,32 a	39,18 ± 1,23 a
240	44,53 ± 0,49 a	35,48 ± 0,79 a	44,48 ± 4,55 a
Tempo (min)	TTC (%) – Jurema	TTC (%) - Angico	TTC (%) - Cajueiro
60	37,34 ± 0,03 a	26,05 ± 0,22 ab	27,00 ± 0,72 a
120	37,07 ± 1,28 a	24,24 ± 0,11 a	23,41 ± 0,60 ab
180	38,08 ± 1,33 a	25,08 ± 0,42 ab	22,15 ± 1,58 b
240	38,52 ± 4,65 a	26,28 ± 0,8 b	23,84 ± 0,89 ab
Tempo (min)	TNT (%) – Jurema	TNT (%) - Angico	TNT (%) - Cajueiro
60	1,92 ± 0,90 a	8,75 ± 1,80 a	15,46 ± 1,62 a
120	3,82 ± 1,51 a	6,59 ± 1,54 a	14,15 ± 0,53 a
180	3,70 ± 0,94 a	6,13 ± 0,75 a	17,03 ± 0,35 a
240	6,02 ± 4,16 a	9,19 ± 0,01 a	20,64 ± 5,44 a
Tempo (min)	NS (%) – Jurema	NS (%) - Angico	NS (%) - Cajueiro
60	95,14 ± 2,17 a	74,94 ± 4,03 a	63,62 ± 3,04 a
120	90,77 ± 3,06 a	78,71 ± 3,99 a	62,33 ± 0,28 a
180	91,19 ± 1,77 a	80,38 ± 2,19 a	56,49 ± 2,25 a
240	86,43 ± 9,48 a	74,09 ± 0,60 a	53,99 ± 7,53 a

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$).

Observando-se os valores de TTC para o cajueiro e o angico-vermelho temos o melhor resultado de extração no tempo de 60 min, diminuindo sua concentração com o aumento do tempo. Este aumento pode estar gerando a quebra das cadeias de taninos condensados, diminuindo sua concentração no extrato aquoso, e elevando o TNT em tempos superiores.

Para a jurema-preta existiu um aumento sutil de TTC com um maior tempo de extração. Entretanto, não foi observado diferença significativa entre os diferentes tempos. Essa

observação torna-se relevante na definição de 60 min como melhor condição visto que um menor tempo resulta em uma maior economia de energia, conseqüentemente, menor custo de operação e barateamento da produção em larga escala.

Os valores de taninos condensados obtidos no cajueiro e no angico-vermelho, apesar de inferiores ao da jurema-preta, foram elevados quando comparando com outras pesquisas semelhantes. Anjos *et al.* (2022) alcançaram teor de taninos de 19,2% com a casca do cajueiro e obtiveram excelentes resultados no uso destes taninos para o tratamento de água. No presente estudo, os teores de taninos condensados, tanto para o angico como para o cajueiro, foram superiores a 25% (Tabela 1), evidenciando o potencial destas espécies como agentes coagulantes/floculantes.

Em relação ao NS, o cajueiro e a jurema-preta obtiveram melhores índices de pureza em 60 min, enquanto o angico-vermelho obteve um melhor índice de pureza no tempo de 180 min. Não foi observado diferença significativa entre os valores de NS do angico. Dessa forma, torna-se inerente a escolha de 60 min como a melhor tempo de extração para as três espécies vegetais apresentadas. Ao extrair taninos da *Psidium guajava* (goiabeira) em condições similares (proporção 1:20 a 80 °C), utilizando o método sólido-líquido, Niawanti *et al.* (2022) obtiveram 60 min como melhor tempo de extração, corroborando com os resultados obtidos neste trabalho.

Com base nos ensaios conduzidos para a quantificação de taninos, 60 min foi o tempo que garantiu maior teor de taninos condensados e índice de pureza, e esse foi, portanto, o tempo utilizado para extrair os taninos que foram cationizados, e posteriormente aplicados, nos experimentos seguintes.

3.2 Ensaios de tratabilidade

As águas do reservatório Epitácio Pessoa apresentaram baixa turbidez e cor, características naturais já relatadas em outra pesquisa, mesmo se tratando de um reservatório eutrofizado (Silveira *et al.*, 2019); a cor verdadeira representou 62,84% da cor aparente, sendo a maior parte da cor relacionada a substâncias dissolvidas. Além de apresentarem pH básico. A Tabela 2 apresenta os resultados das variáveis analisadas na água de estudo.

Tabela 2 – Variáveis físico-químicas e clorofila-a da água do reservatório Epitácio Pessoa

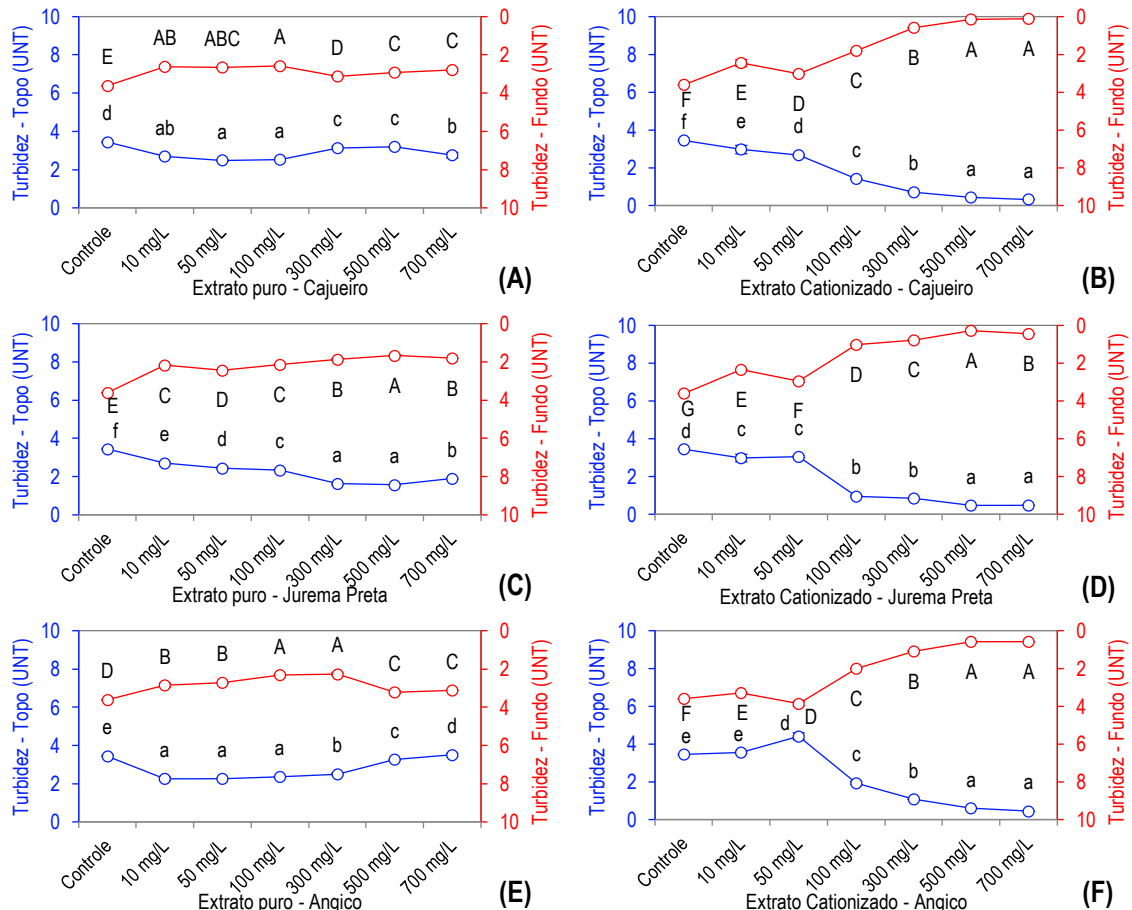
Variáveis	Média ± Desvio Padrão
Turbidez (UNT)	3,60 ± 0,10
Cor aparente (uH)	67,90 ± 0,70
Cor verdadeira (uH)	42,67 ± 1,15
pH	8,6 ± 0,0
Fósforo total (µg/L)	64,06 ± 8,69
Fósforo reativo solúvel (µg/L)	27,65 ± 2,38
Clorofila-a (µg/L)	39,57 ± 7,19

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

De acordo com os estados de trofia proposto por Lamparelli (2004) em relação a clorofila-a, indicador da biomassa de fitoplâncton e da produtividade primária, a concentração de 39,57 ± 2,38 µg/L caracteriza um reservatório supereutrótico (30,55 a 69,05 µg/L). Em relação a fósforo total, a concentração de 64,06 ± 8,69 µg/L caracteriza um reservatório eutrótico (52 a 120 µg/L).

A Figura 2 ilustra o desempenho do extrato puro e do extrato cationizado, das três espécies vegetais, na remoção de turbidez da água, para o volume de controle e as dosagens de 10, 50, 100, 300, 500 e 700 mg/L.

Figura 2 – Turbidez no topo e fundo para as diferentes dosagens do Extrato puro e cationizado do Cajueiro (A e B), Extrato puro e cationizado da Jurema preta (C e D) e Extrato puro e cationizado do Angico (E e F)



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

Linhas com a mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$).

Com o extrato puro apenas a jurema-preta atingiu valores de turbidez abaixo de 2,0 UNT, sendo eles nas dosagens de 300, 500 e 700 mg/L. Com o extrato cationizado todas as espécies vegetais apresentaram valores de turbidez abaixo de 2,0 UNT a partir da dosagem de 100 mg/L, sendo os melhores resultados de remoção identificados nas maiores dosagens, 500 e 700 mg/L (sem diferença significativa entre elas), com valores abaixo de 0,60 UNT para todas as espécies vegetais. Destaque para a jurema-preta que obteve média de $0,28 \pm 0,03$ UNT ao utilizar a dosagem de 500 mg/L na amostra retirada do fundo do jarro.

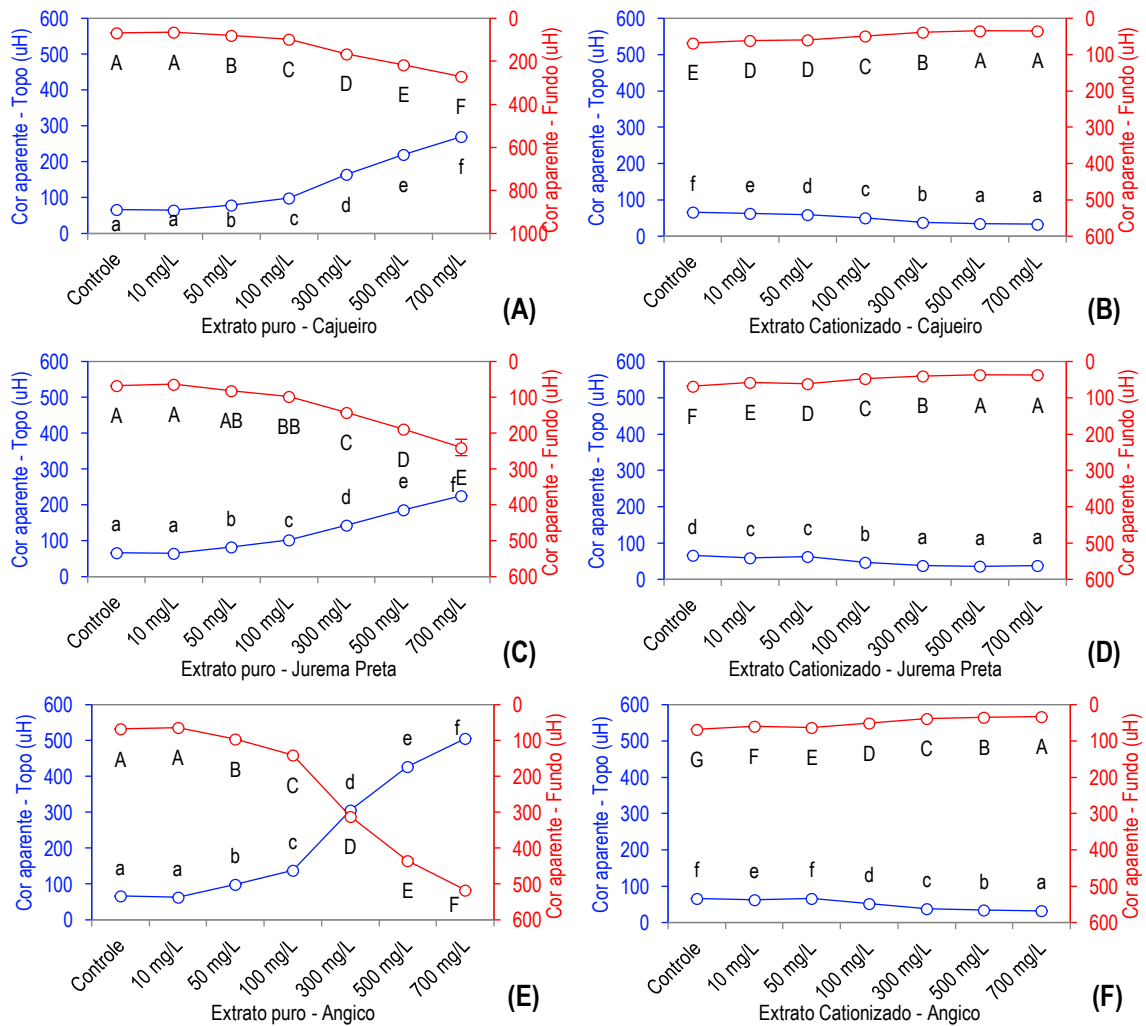
Esses resultados indicam o êxito dos taninos cationizados na remoção da turbidez da água, com uma elevada eficiência se comparados com os extratos que não foram submetidos a reação de Mannich. Os extratos de taninos não modificados não apresentam potencial coagulante/floculante, uma vez que a superfície dos taninos é majoritariamente composta por grupos hidroxila, que quando em solução normalmente têm carga negativa, não permitindo a desestabilização de colóides aniônicos (Machado *et al.*, 2020).

Giroletti *et al.* (2021), em uso de coagulante a base de taninos cationizados do engaço de uva, relatam o uso de dosagens acima de 80 mg/L para índices de remoção de uma turbidez

inicial de 50 UNT, de cunho sintético induzido com caulim, superiores a 70% chegando até 90%. Neste contexto destacam a relevância de ensaios preliminares relacionadas à qualidade da água bruta, tais como a natureza e tamanho das partículas coloidais, alcalinidade e dispersão do coagulante, que poderiam induzir maiores dosagens de coagulante.

Em relação a cor aparente e verdadeira, Figuras 3 e 4, respectivamente, os valores obtidos para os ensaios com o extrato puro não foram eficientes visto que o extrato antes da cationização confere cor a água. Os menores valores são os do volume de controle e que todas as dosagens diferem estatisticamente entre si, para as três espécies vegetais. Observa-se que quanto maior a dosagem, mais cor é conferida a água. O angico-vermelho, ao aplicar 700 mg/L do extrato puro, chegou a médias de $505,40 \pm 0,5$ uH para o topo do jarro e $516,60 \pm 0,5$ uH para o fundo, na cor aparente; $561,11 \pm 1,02$ uH no topo e $582,00 \pm 1,0$ uH no fundo, na cor verdadeira. A jurema-preta e o cajueiro não excederam 280 uH para ambas as cores, embora também sejam resultados elevados quando comparado com o volume de controle.

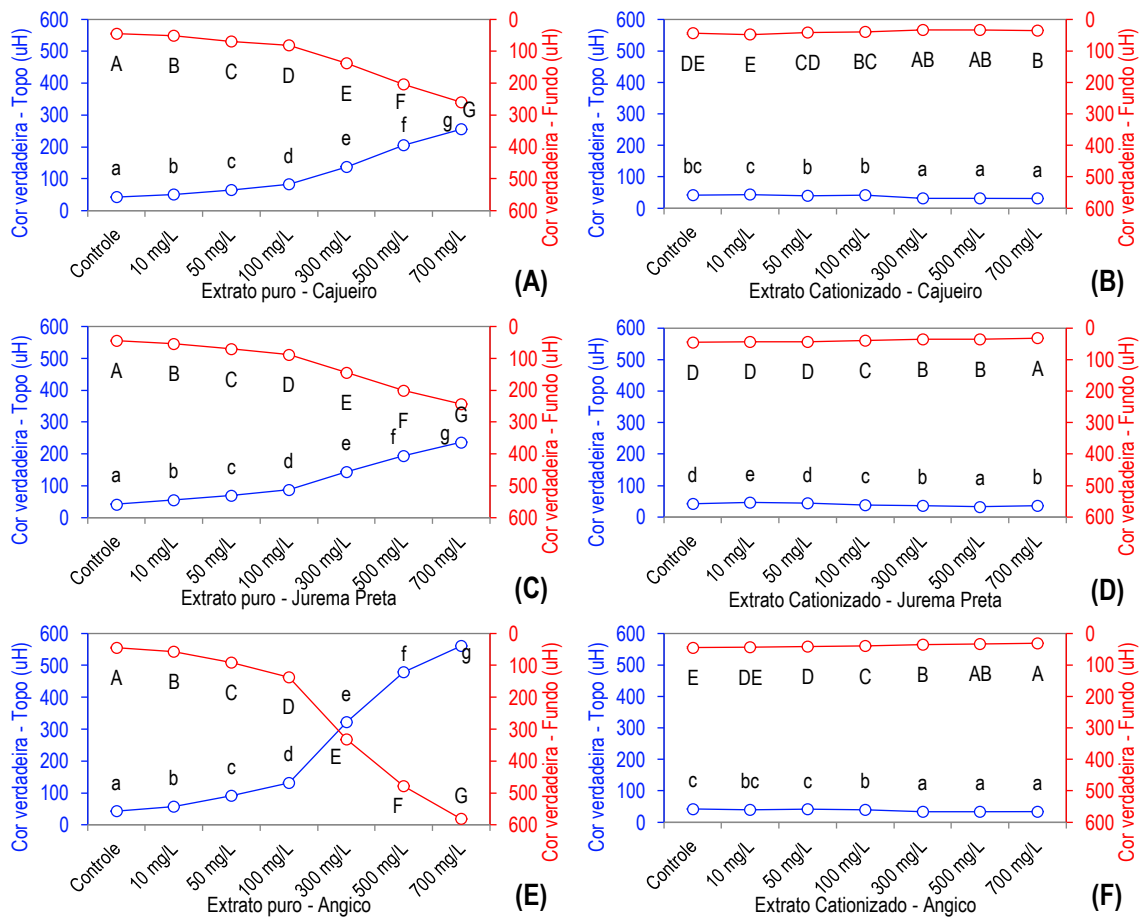
Figura 3 – Cor aparente no topo e fundo para as diferentes dosagens do Extrato puro e cationizado do Cajueiro (A e B), Extrato puro e cationizado da Jurema preta (C e D) e Extrato puro e cationizado do Angico (E e F)



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

Linhas com a mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$).

Figura 4 – Cor verdadeira no topo e fundo para as diferentes dosagens do Extrato puro e cationizado do Cajueiro (A e B), Extrato puro e cationizado da Jurema preta (C e D) e Extrato puro e cationizado do Angico (E e F)

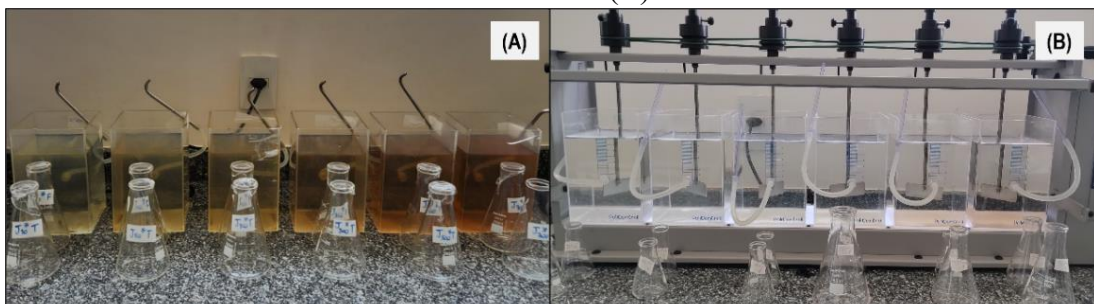


Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

Linhas com a mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$).

A elevação da cor pode ser explicada devido a própria cor natural dos taninos, e que fatores como velocidade de sedimentação e tempo de floculação devem ser observados devido a uma possível quebra ou não formação dos flocos, solubilizando o coagulante em maiores dosagens na água, e consequentemente elevando os valores de cor (Oliveira *et al.*, 2013; Silveira *et al.*, 2019). Na Figura 5 pode-se perceber a diferença na coloração das amostras de água nos jarros com a aplicação do extrato puro e com a aplicação do extrato cationizado.

Figura 5 – Característica das amostras com aplicação do extrato puro (A) e com o extrato cationizado (B)



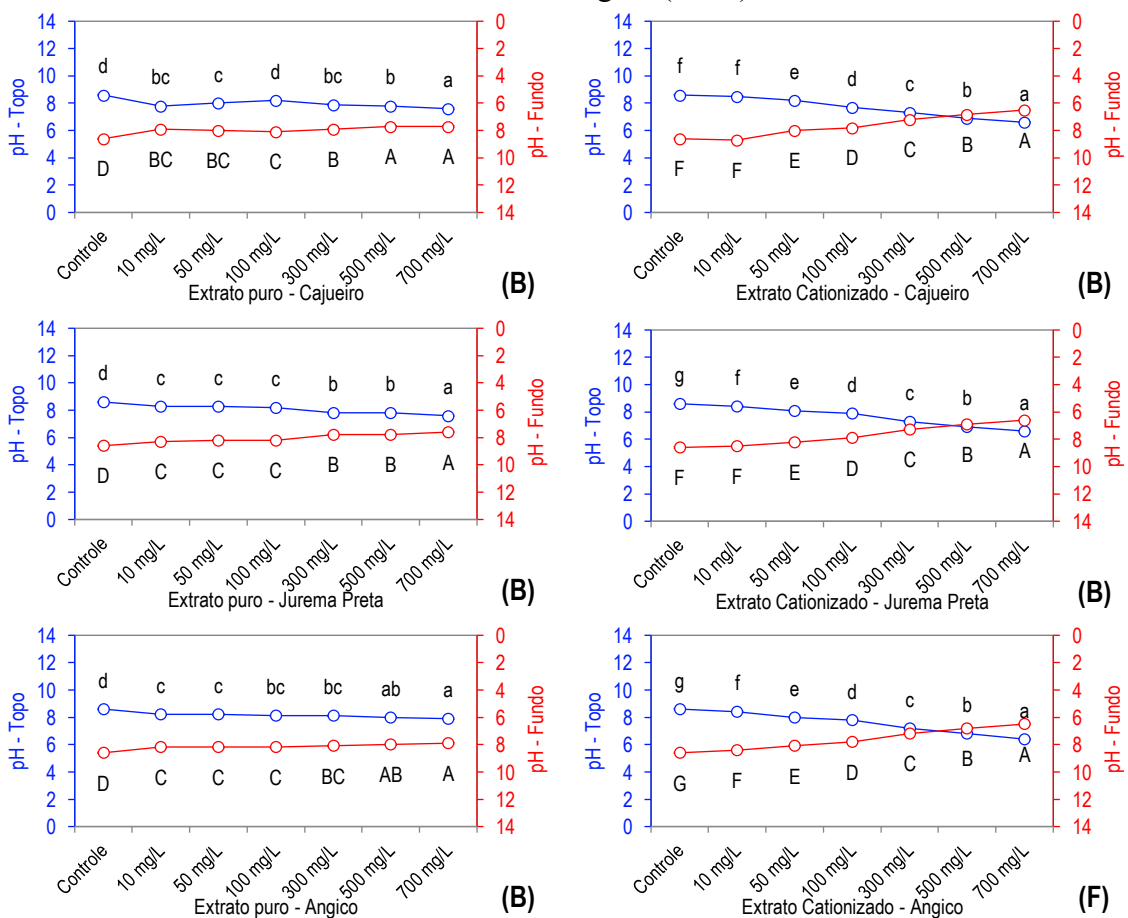
Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

No uso do extrato cationizado os resultados apresentaram remoção de cor nas três espécies vegetais. Ao analisar os resultados de cor aparente (Figura 3), temos maior remoção ao aplicar maiores dosagens, sendo os melhores resultados obtidos nas dosagens de 500 mg/L e 700 mg/L, com o cajueiro e jurema-preta (entre 33,30 e 38,10 uH), e 700 mg/L com o angico-vermelho ($32,00 \pm 0,7$ uH). Os melhores resultados com o uso das maiores dosagens se relacionam com os apresentados na remoção de turbidez, dado que tanto cor aparente quanto turbidez são parâmetros relacionados a partículas em suspensão, confirmando a eficiência na desestabilização das mesmas ao aplicar o coagulante modificado via reação de Mannich.

Tratando da cor verdadeira (Figura 4), com o extrato cationizado, as maiores remoções aconteceram entre as dosagens de 300, 500 e 700 mg/L, e de 100 mg/L no caso do cajueiro. Dessa forma, os taninos cationizados conseguiram remover parte do que estava dissolvido. Leiviskä e Santos (2023), Oliveira, Trevisan e Skoronski (2022), ao avaliarem a remoção de íons metálicos, como ferro e manganês que conferem cor a água, utilizando coagulantes a base de tanino, relatam que a remoção de cor verdadeira pode estar atrelada a remoção desses metais por precipitação e/ou adsorção, ficando retidos no sedimento.

A Figura 6, ilustra os resultados de pH dos ensaios com extrato puro e cationizado das três espécies vegetais para o volume de controle e com as dosagens de 10, 50, 100, 300, 500 e 700 mg/L.

Figura 6 – pH no topo e fundo para as diferentes dosagens do Extrato puro e cationizado do Cajueiro (A e B), Extrato puro e cationizado da Jurema preta (C e D) e Extrato puro e cationizado do Angico (E e F)



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

Linhas com a mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$).

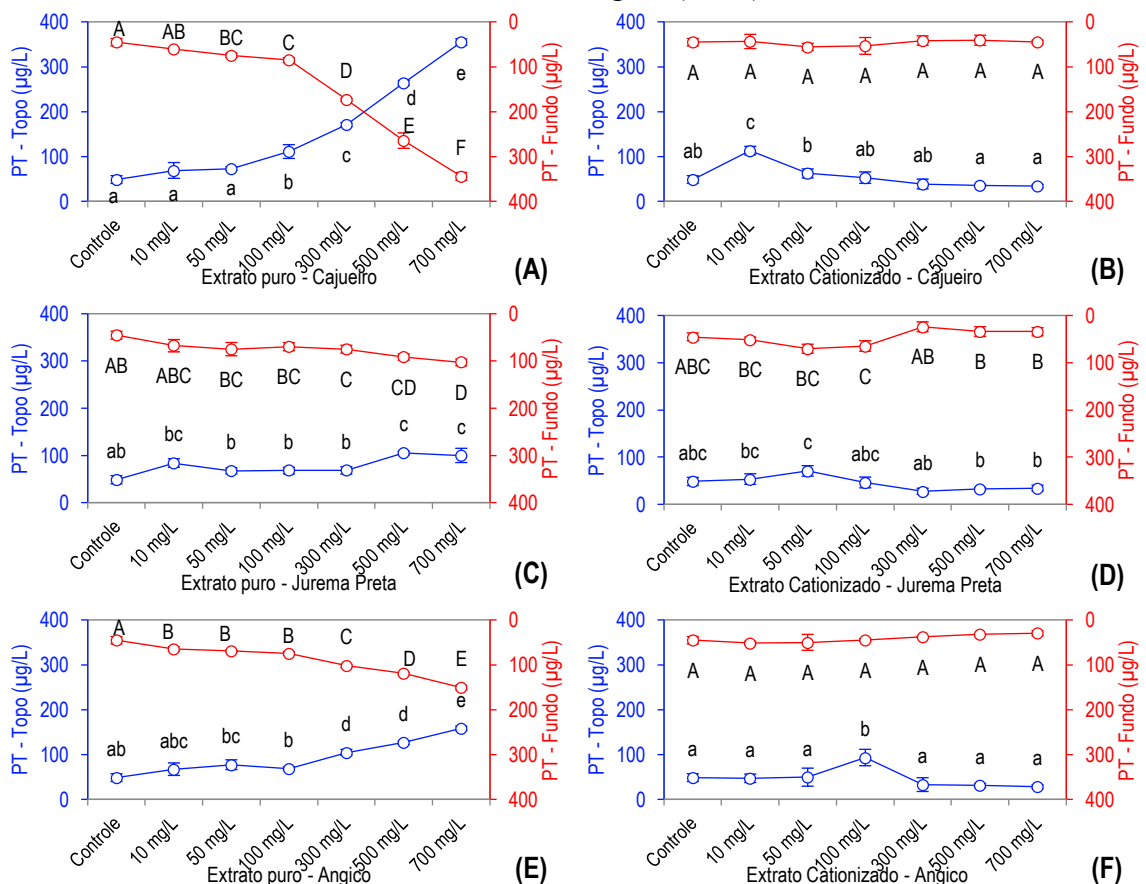
Fator importante observado nos ensaios foi a estabilidade do pH das amostras, a adição de ambos os extratos não provocou alterações bruscas de pH. Com o extrato puro, o pH do volume de controle, que possuía caráter básico (8,6), decaiu até 7,6 para o cajueiro e jurema-preta, e até 7,8 com o angico-vermelho, na dosagem final de 700 mg/L, permanecendo próximos a neutralidade. A aplicação do extrato cationizado, quando comparado com o puro, resultou em maior decaimento do pH, tornando-se mais ácido com o aumento das dosagens, atingindo valor final de 6,6 com o cajueiro e a jurema, e 6,4 com o angico.

No presente estudo, os melhores resultados de remoção de cor e de turbidez foram obtidos nas dosagens de 500 e 700 mg/L que também acarretaram maiores alterações de pH. Mesmo com esta redução o desempenho é vantajoso, pois o parâmetro ainda se encontra próximo a neutralidade, dispensado o uso de agentes alcalinizantes ou acidificantes de correção.

Baseado em observações feitas por Giroletti *et al.* (2021) a respeito do pH ácido ser uma particularidade dos coagulantes orgânicos produzidos via reação de Mannich sob catálise ácida, pode-se inferir que o emprego do cloreto de alumínio, utilizado como catalizador na reação de Mannich executada neste trabalho, conferiu acidez a água tratada.

Em relação a remoção de fósforo (Figuras 7 e 8), no que se referem a aplicação do extrato puro, temos que conforme a dosagem aumenta, maior é a concentração de PT e PSR. Em condições de baixas dosagens, 10, 50 e 100 mg/L, os resultados não diferem estatisticamente com os valores do volume de controle.

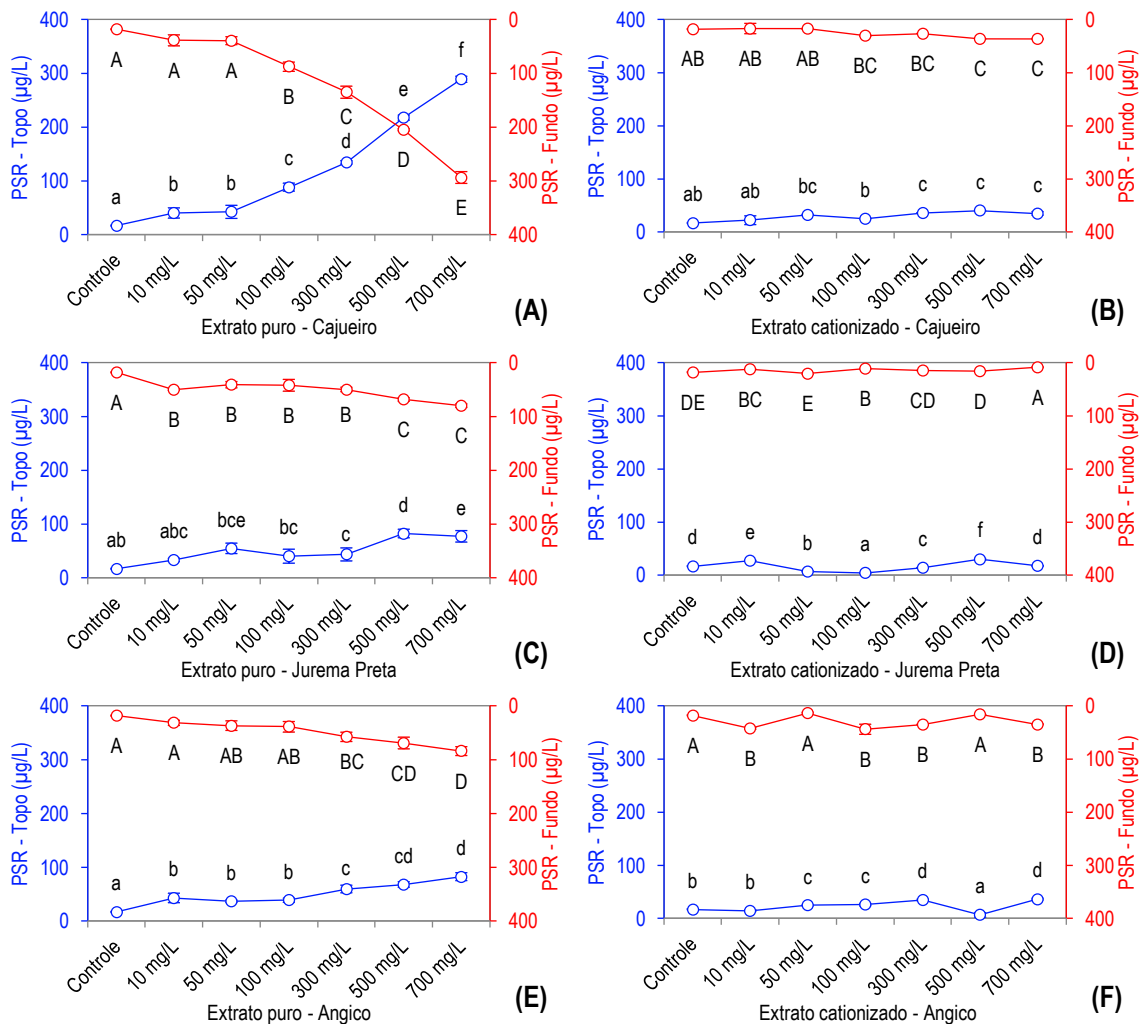
Figura 7 – PT no topo e fundo para as diferentes dosagens do Extrato puro e cationizado do Cajueiro (A e B), Extrato puro e cationizado da Jurema preta (C e D) e Extrato puro e cationizado do Angico (E e F)



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

Linhas com a mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$).

Figura 8 – PSR no topo e fundo para as diferentes dosagens do Extrato puro e cationizado do Cajueiro (A e B), Extrato puro e cationizado da Jurema preta (C e D) e Extrato puro e cationizado do Angico (E e F)



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

Linhas com a mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$).

Para a aplicação do extrato cationizado, o coagulante a base de jurema-preta conseguiu melhor remoção de PRS, obtendo $3,904 \pm 0,794 \mu\text{g/L}$ com dosagem de 100 mg/L no topo do jarro. Situação potencialmente aleatória, visto a desconformidade com valor do fundo ($11,879 \pm 0,794 \mu\text{g/L}$) e com as demais dosagens. O cajueiro e o angico-vermelho também obtiveram resultados variados e na maioria dos casos acima dos valores do volume de controle.

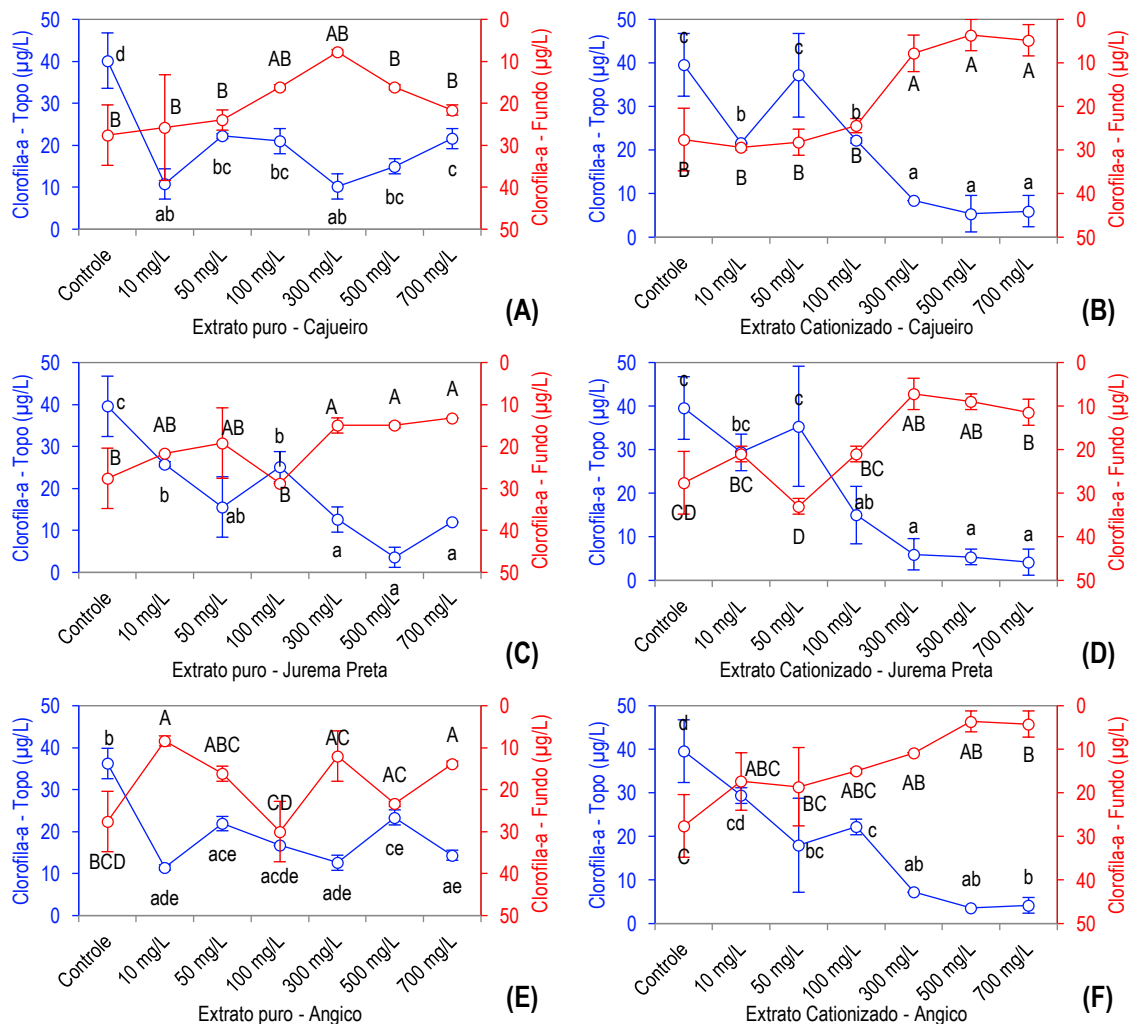
Martins Júnior *et al.* (2023) abordam que o uso de taninos como agente coagulante/floculante para remoção de fósforo, além de resultar em uma maior variação de valores, também é responsável pelas menores remoções comparados ao sulfato de alumínio, cloreto de polialumínio (PAC) e cloreto férrico. A concentração inicial de fósforo bem como a dosagem de coagulante aplicada, são medidas que influenciam na sua remoção.

O uso do coagulante a base de taninos cationizados pode apresentar resultados mais eficientes na remoção de fósforo se utilizado em conjunto com argilas que promovam adsorção e/ou inativação. Lürling e Oosterhout (2013), em aplicação da técnica *Flock and Lock*, utilizando PAC como coagulante em conjunto com a argila bentonita modificada com lantânio, no lago Rauwbraken, conseguiram reduzir efetivamente a quantidade de fósforo total na coluna

de água, de $169 \pm 126 \mu\text{g/L}$ para $14 \pm 15 \mu\text{g/L}$, resultando na mudança do estado eutrófico/hipertrófico do lago para um estado oligo/mesotrófico.

Analisando a aplicação com o extrato puro para a clorofila-a (Figura 9), nota-se que existe uma variabilidade de resultados, não existindo uma relação de dependência com as dosagens. Não foi verificada diferenças estatísticas significativas entre as concentrações desta variável, nas diferentes dosagens, com o volume de controle. Em casos pontuais, a exemplo do cajueiro com dosagem de 300 mg/L no fundo do jarro, foi obtido valor de $7,8 \pm 0,6 \mu\text{g/L}$ (71,74% de remoção); a jurema-preta na dosagem de 500 mg/L para o topo, obteve valor de $3,6 \pm 2,4 \mu\text{g/L}$ (90,9% de remoção). Porém, a grande maioria dos dados permaneceram próximos do volume de controle.

Figura 9 – Clorofila-a no topo e fundo para as diferentes dosagens do Extrato puro e cationizado do Cajueiro (A e B), Extrato puro e cationizado da Jurema preta (C e D) e Extrato puro e cationizado do Angico (E e F)



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

Linhas com a mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$).

Em relação a aplicação do extrato cationizado, confirma-se uma relação direta entre a remoção de clorofila-a com as dosagens. Para as três espécies vegetais, o uso das dosagens de 300, 500 e 700 mg/L obtiveram remoções significativas comparadas com as demais. Podendo incluir o angico-vermelho, com 100 mg/L no fundo, que se assemelha estatisticamente as

dosagens mencionadas. Dessa forma, ao comparar com o extrato puro, os resultados do extrato cationizado apresentaram melhor desempenho por atingir remoções acima de 90% em mais de uma dosagem.

Além disso, é possível observar uma maior variabilidade entre os resultados de clorofila-a no topo e no fundo dos jarros, tanto para o extrato puro quanto para o cationizado. De Lucena-Silva *et al.* (2019), discorre que a eficiência dos agentes coagulantes/floculantes pode variar de acordo com as diferentes espécies de cianobactérias, pois estas podem apresentar adaptações morfológicas e fisiológicas que as permitem regular a flutuabilidade na coluna d'água, como a presença de aerótopos (vesículas de gás). Essa característica pode evitar que a célula sedimente, gerando variações nos resultados de aplicação do agente coagulante/floculante ao longo da coluna d'água.

4 CONCLUSÕES

- O uso de água destilada como solvente em tempo de 60 min de extração de taninos favoreceu menores teores de compostos não tânicos e, conseqüentemente, maiores índices de pureza.
- O processo de cationização dos extratos atribuiu carácter catiônico à matriz dos taninos, aspecto confirmado a partir dos ensaios de tratabilidade das águas do reservatório eutrofizado Epitácio Pessoa, resultando em remoções significativas de turbidez, cor aparente, clorofila-a, com pequena alteração dos valores de pH, principalmente para altas dosagens, permanecendo próximo a neutralidade, e potencial adsorção de partículas dissolvidas, para as três espécies vegetais.
- Não foi observado remoções significativas de fósforo, o que sugere a aplicação dos extratos cationizados em conjunto com argilas (bentonita ou bentonita modificada com lantânio), a fim de potencializar a remoção e/ou inativação do fósforo da coluna de água, conforme estabelecido pela técnica de recuperação de reservatórios eutrofizados, *Flock and Lock*. Além disso, recomenda-se, em estudos futuros, a investigação no uso dos coagulantes produzidos (extratos cationizados) em águas de outros reservatórios, com diferentes graus de trofia, a fim de verificar se a concentração de fósforo do meio influencia no processo de remoção.
- Diante do exposto, os taninos cationizados podem ser utilizados como agentes coagulantes/floculantes e sua extração a partir das cascas de cajueiros, juremas e angicos podem ser uma opção interessante para agregar valor à cadeia produtiva e recuperar reservatórios eutrofizados.

REFERÊNCIAS

AIRES, A.; CARVALHO, R.; SAAVEDRA, M. J. Valorization of solid wastes from chestnut industry processing: Extraction and optimization of polyphenols, tannins and ellagitannins and its potential for adhesives, cosmetic and pharmaceutical industry. **Waste Management**, v. 48, p. 457–464, 2016.

APHA; AWWA; WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2012.

ANJOS, B. F. dos; AZEVÊDO, K. B. de; SILVA, B. R. F. da; BRAGA, R. M.; PIMENTA, A. S.; DE ANDRADE, F. A. F. Tannins from cashew tree (*Anacardium occidentale*) bark as a flocculant for water clarification. **Revista Ambiente & Água**, v. 17, n. 3, 2022.

AZEVÊDO, T. K. B. de; PAES, J. B.; CALEGARI, L.; NASCIMENTO, J. W. B. do. Qualidade dos taninos de Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) para a produção de adesivo tanino formaldeído. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 507-514, 2015.

BARBOSA, J. E. de L.; MEDEIROS, E. S. F.; BRASIL, J.; CORDEIRO, R. da S.; CRISPIM, M. C. B.; DA SILVA, G. H. G. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, p. 103-118, 2012.

BARRADO-MORENO, M. M.; BELTRÁN-HEREDIA, J.; MARTÍN-GALLARDO, J. Removal of *Oocystis* algae from freshwater by means of tannin-based coagulant. **Journal of Applied Phycology**, v. 28, p. 1589-1595, 2016.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; DÁVILA-ACEDO, M. A. Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract. **Journal of Hazardous Materials**, v. 186, n. 2–3, p. 1704-1712, 2011.

DE LUCENA-SILVA, D.; MOLOZZI, J.; SEVERIANO, J. dos S.; BECKER, V.; BARBOSA, J. E. de L. Removal efficiency of phosphorus, cyanobacteria and cyanotoxins by the “flock & sink” mitigation technique in semi-arid eutrophic waters. **Water research**, v. 159, p. 262-273, 2019.

GIROLETTI, C. L.; MENEZES, J. C. S. dos S.; DALRI-CECATO, L.; DALARI, B. L. S. K.; HASSEMER, M. E. N. Tannin extraction from grape stems through a solid-liquid process: optimizing efficiency by applying the response surface methodology. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, 2021.

GONÇALVES, C. A.; LELIS, R. C. C. Teores de taninos da casca e da madeira de cinco leguminosas arbóreas. **Floresta e Ambiente, Seropédica**, v. 8, n. 1, p. 167-173, 2001.

HAMEED, Y. T.; IDRIS, A.; HUSSAIN, S. A.; ABDULLAH, N. A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater: Chemical composition, performance assessment compared to Polyaluminum chloride, and application in a pilot plant. **Journal of Environmental Management**, v. 184, p. 494-503, 2016.

HAMEED, Y. T.; IDRIS, A.; HUSSAIN, S. A.; ABDULLAH, N.; MAN, H. C.; SUJA, F. A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater as a pretreatment for biofilm process. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 198-205, 2018.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d’água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese de doutorado. São Paulo, SP. Departamento de Ecologia. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2004.

LEIVINSKÄ, T.; SANTOS, S. C. R. Purifying water with plant-based sustainable solutions: Tannin coagulants and sorbents. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 23, 2023.

LEITE, L. S.; HOFFMANN, M. T; DANIEL, L. A. Coagulation and dissolved air flotation as a harvesting method for microalgae cultivated in wastewater. **Journal of Water Process Engineering**, v. 32, 2019.

LELIS, R. C. C. **Zur Bedeutung der Kerninhaltsstoffe obligatorisch verkernter Nadelbaumarten bei der Herstellung von feuchtbeständigen und biologisch resistenten Holzspanplatten, am Beispiel der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* Mirb).** Tese (Forest Sciences). Universität Göttingen, Alemanha, p. 249, 1995.

LÜRLING, M.; OOSTERHOUT, F. van. Controlling eutrophication by combined bloom precipitation and sediment phosphorus inactivation. **Water Research**, v. 47, n. 17, p. 6527-6537, 2013.

MACHADO, G.; DOS SANTOS, C. A. B.; GOMES, J.; FARIA, D.; SANTOS, F.; LOUREGA, R. Chemical modification of tannins from *Acacia mearnsii* to produce formaldehyde free flocculant. **Science of the Total Environment**, v. 745, 2020.

MARTINS JÚNIOR, A. C. de O.; BARROSO JÚNIOR, J. C. A.; SOROKA, V. D., MUÑOZ HOYOZ, N. L.; SILVA, M. C. de A. Avaliação da eficiência do uso de coagulantes para a remoção de fósforo em efluentes. **Revista AIDIS De Ingeniería Y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo Y práctica, Ciudad de México**. v. 16, n. 1, p. 65-81, 2023.

NERY, J. F.; NERY, G. K. M.; MEDEIROS, S. de S. Microcystin bioaccumulation in cultures irrigated with eutrophized waters in Brazilian semiarid. **WJPLS**, v. 6, n. 2, p. 05-09, 2020.

NIAWANTI, H.; YANI, F.; HERMAN, M.; RAFLIANSYAH, H. Effect of extraction time and solid-liquid ratio on tannin extraction from guava (*Psidium guajava*) leaves. **EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA**, v. 23, n. 04, p. 329 - 342, 2022.

OLIVEIRA, I. M. de; CRUZ, V.; VISCONTE, L. L. Y.; PACHECO, E. B. A. V.; DEZOTTI, M. Tannin Treated Water for use in the Emulsion Polymerization of SBR. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 23, n. 3, p. 326-330, 2013.

OLIVEIRA, C. de; TREVISAN, V. SKORONSKI, E. Application of tannin-based coagulant for high-range turbidity surface water clarification. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 12, n. 11, 2022.

PAES, J. B.; DINIZ, C. E. F.; LIMA, P. de M. B.; NETO, P. N. de M. Taninos condensados da casca de Angico-Vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. *Cebil*) extraídos com soluções de hidróxido e sulfito de sódio. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 26, n. 3, p. 22–27, 2013.

ROCHA JUNIOR, C. A. N. da; DA COSTA, M. R. A.; MENEZES, R. F.; ATTAYDE, J. L.; BECKER, V. Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 30, p. 106, 2018.

SANTOS, A. N. dos. **Desenvolvimento de um coagulante orgânico catiônico preparado com extrato de Mimosa tenuiflora para tratamento de água.** Dissertação. Campina Grande, PB. Centro de Ciência e Tecnologia. Programa de pós-graduação em Química. Universidade Estadual da Paraíba, 2017.

SILVA, R. M.; BAKKE, I. A.; ARAÚJO, M. F.; BAKKE, O. A.; LUCENA, J. D. S.; SANTOS SOBRINHO, G. F.; PEREIRA, C. T. Composição florística de um fragmento de Caatinga na comunidade rural Mocambo de Baixo, município de Patos – PB, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 3, e65811, p. 1-19, 2023.

SILVEIRA, T. N.; SANTOS, W. B. dos; PEQUENO, L. A. B.; BARBOSA, M. G. N.; FERREIRA, W. B. Performance de coagulantes orgânicos e inorgânicos por meio de diagrama de coagulação em águas naturais. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 16-25, 2019. ISSN: 2317-563X.

SILVEIRA, T. N.; RODRIGUES, A. C. L.; SANTOS, W. B. dos; FERREIRA, W. B.; BARBOSA, M. G. N.; ANDRADE, T. C. da S.; SOARES, E. J. S. Tratamento de água com coagulante tânico à base de angico-vermelho (*Anandenanthera macrocarpa*). **Ibero-American Journal of Environmental Sciences**, v. 12, n. 9, 2021. ISSN: 2179-6858.

SUDEMA - SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Diretriz nº 205, de 03 de março de 1988.** Enquadramento dos corpos d'águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Paraíba, 1988.

TOMASI, I. T.; MACHADO, C. A.; BOAVENTURA, R. A. R.; BOTELHO, C. M. S.; SANTOS, S. C. R. Tannin-based coagulants current development and prospects on synthesis and uses. **Science of The Total Environment**, v. 822, 2022.

TURUNEN, J.; KARPPINEN, A.; IHME, R. Effectiveness of biopolymer coagulants in agricultural wastewater treatment at two contrasting levels of pollution. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 210, 2019.

WISSING, A. The utilization of bark II: Investigation of the Stiasny-reaction for the precipitation of polyphenols in pine bark extractives. **Svensk Papperstidning**, v. 58, n. 20, p. 745–750, 1955.

