



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

RAYZA CARVALHO GUEDES

**EXTRAÇÃO DO TANINO DA CASCA DE *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan E
SUA UTILIZAÇÃO COMO COAGULANTE NATURAL EM TRATAMENTO DE
ÁGUAS RESIDUÁRIAS**

Prof. Dr. NATÁLIA DIAS DE SOUZA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO - 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

RAYZA CARVALHO GUEDES

**EXTRAÇÃO DO TANINO DA CASCA DE *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan E
SUA UTILIZAÇÃO COMO COAGULANTE NATURAL EM TRATAMENTO DE
ÁGUAS RESIDUÁRIAS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. NATÁLIA DIAS DE SOUZA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO - 2024

**EXTRAÇÃO DO TANINO DA CASCA DE *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan E
SUA UTILIZAÇÃO COMO COAGULANTE NATURAL EM TRATAMENTO DE
ÁGUAS RESIDUÁRIAS**

RAYZA CARVALHO GUEDES

APROVADA EM: 11/12/2024

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. NATÁLIA DIAS DE SOUZA – UFRRJ
Orientador

Dr. DANIELLE AFFONSO SAMPAIO
Membro

Ma. CARINA SOARES PIRES – ÁGUAS DA IMPERATRIZ
Membro

Dedico este trabalho à minha família, que com amor, apoio e sacrifício tornou possível a realização deste sonho, que é de todos nós. Aos meus bons amigos, que trouxeram leveza e alegria a cada passo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida, por essa grandiosa conquista, pela oportunidade de viver essa experiência e por me abençoar com saúde e forças para alcançar meus objetivos.

À minha mãe, Ana Paula, que dedicou tanto esforço e, muitas vezes, renunciou a si mesma para me proporcionar a chance de estar aqui hoje. Obrigada por ser exemplo de amor, amizade e por nunca soltar minha mão.

Ao meu padrasto, Josely, por estar presente em cada etapa, sempre com apoio, cuidado, carinho e alegria, tornando tudo mais leve e especial.

Agradeço também ao meu pai, Sérgio, que, mesmo pouco participativo, tenho certeza de que torce por mim e se orgulha das minhas conquistas.

Aos meus irmãos, Bruna e Gabriel, que são meu equilíbrio e que, incansavelmente, me impulsionaram a cada passo dessa jornada, estando presentes em cada etapa, mesmo de longe.

Aos meus tios, Cida e Três, que foram minha base ao longo desse processo, que nunca mediram esforços para me apoiar e me ajudar em absolutamente tudo. Obrigada por me darem proteção e muito amor enquanto estive longe de casa.

À minha prima Carol e sua filha Júlia, que foram essenciais para tornar meus dias mais leves e felizes aqui.

Ao meu namorado, Vinícius, pelo apoio e incentivo constante em todas as etapas desta jornada. Sua presença foi essencial para que eu superasse os desafios e incertezas, especialmente nesta fase de conclusão do curso.

Aos grandes amigos que fiz nesse longo caminho e que foram especialmente importantes nessa trajetória. Amigos da turma de Engenharia Florestal 2018.1, do CAEF, do PET, do alojamento feminino F1-33, da CEDAE e tantos outros que fiz em minhas vivências. Um agradecimento especial à Jéssika, Amanda, Miryelle, Aninha, Pedro, Isabela, Ingrid, Letícia e Thainá. Obrigada por tornarem meus dias menos cansativos e turbulentos, por estarem ao meu lado em todos os momentos, por dividirem suas alegrias e dores comigo e por me acolherem tão bem. Vocês se tornaram parte da minha família, e sou grata a cada um de vocês todos os dias. Contem comigo para tudo.

Estendo meus agradecimentos aos meus familiares e a tantas pessoas que foram suporte nessa jornada, seja nas idas e vindas para a Rural, seja nos lugares que a Universidade me proporcionou estar.

Às minhas companheiras e amigas no laboratório, Beatriz e Ana Helise, que foram essenciais nesse percurso e não mediram esforços para me ajudar em cada etapa da pesquisa. Nada disso seria possível sem vocês, e sou muito grata pela parceria e comprometimento.

À minha orientadora, Natália, por abraçar minha ideia desde o início, me apoiar em cada etapa do processo e não me deixar desanimar.

E à professora Natane, pela generosidade em disponibilizar seu laboratório, pela ajuda na busca de materiais para as fases do experimento e pelas caronas para Juiz de Fora, sempre acompanhadas de boas conversas e valiosos ensinamentos."

A cada professor e colega que passou pela minha jornada e que, de alguma forma, contribuiu para meu crescimento e evolução como profissional e ser humano.

A toda equipe do Laboratório de Análise e Pesquisa da Água (LIBRA) da CEDAE, que me apoiou na etapa das análises e não mediram esforços para me ajudar.

Por fim, agradeço à Universidade por me acolher de formas que jamais imaginei, proporcionando moradia e alimentação gratuitas, além de inúmeras oportunidades de expansão intelectual e social ao longo desses anos de graduação. Hoje, sou uma pessoa muito melhor do que quando cheguei aqui.

RESUMO

A crescente preocupação com a sustentabilidade no tratamento de efluentes tem incentivado a busca por alternativas naturais aos coagulantes químicos convencionais. Entre essas alternativas, destacam-se os taninos vegetais, moléculas fenólicas com propriedades coagulantes, amplamente encontradas em espécies como *Anadenanthera colubrina* (angico-branco). Este estudo avaliou a eficácia do tanino extraído da casca dessa espécie no tratamento de águas residuárias da bovinocultura de leite, investigando sua capacidade de reduzir turbidez, demanda química de oxigênio (DQO) e outros parâmetros de qualidade da água. Foram realizados ensaios laboratoriais com métodos de extração por refluxo e autoclave, utilizando diferentes concentrações de sulfito de sódio (Na_2SO_3) e hidróxido de sódio (NaOH). Os parâmetros avaliados incluíram pH, condutividade elétrica, turbidez, DQO e fósforo dissolvido. A extração a 2% de Na_2SO_3 apresentou bons resultados quanto ao rendimento de taninos e propriedades químicas consistentes para aplicação como coagulante. No entanto, os ensaios de coagulação-floculação demonstraram que, embora o tanino tenha potencial, sua aplicação em condições testadas não foi eficaz. Os resultados indicaram aumento da DQO e manutenção de alta condutividade elétrica em alguns tratamentos, especialmente no tratamento que utilizou 2 mL de solução tânica extraída com 5% de NaOH . A turbidez inicial da água residuária bruta (92,9 NTU) permaneceu elevada, e a ausência de coagulação indicou limitações no desempenho do tanino como coagulante sob essas condições. Sugere-se realizar novos experimentos com variações de dosagem, combinações com outros agentes coagulantes e ajustes nos parâmetros físico-químicos do processo. Ensaios em maior escala também são recomendados para validar a viabilidade técnica e econômica do uso do tanino em sistemas de tratamento de efluentes.

Palavras-chave: *Anadenanthera colubrina*, taninos, tratamento de efluentes, coagulantes orgânicos, sustentabilidade.

ABSTRACT

The growing concern for sustainability in wastewater treatment has encouraged the search for natural alternatives to conventional chemical coagulants. Among these alternatives, plant tannins, phenolic molecules with coagulant properties, widely found in species such as *Anadenanthera colubrina* (white angico), stand out. This study evaluated the effectiveness of tannin extracted from the bark of this species in the treatment of wastewater from dairy farming, investigating its ability to reduce turbidity, chemical oxygen demand (COD) and other water quality parameters. Laboratory tests were carried out with reflux and autoclave extraction methods, using different concentrations of sodium sulfite (Na_2SO_3) and sodium hydroxide (NaOH). The parameters evaluated included pH, electrical conductivity, turbidity, COD and dissolved phosphorus. Extraction at 2% Na_2SO_3 showed good results regarding tannin yield and consistent chemical properties for application as a coagulant. However, coagulation-flocculation tests demonstrated that, although tannin has potential, its application under the conditions tested was not effective. The results indicated an increase in COD and maintenance of high electrical conductivity in some treatments, especially in the treatment that used 2 mL of tannic solution extracted with 5% NaOH. The initial turbidity of the raw wastewater (92.9 NTU) remained high, and the absence of coagulation indicated limitations in the performance of tannin as a coagulant under these conditions. It is suggested that new experiments be carried out with dosage variations, combinations with other coagulant agents and adjustments in the physicochemical parameters of the process. Larger-scale tests are also recommended to validate the technical and economic feasibility of using tannin in effluent treatment systems.

Keywords: *Anadenanthera colubrina*, tannins, wastewater treatment, organic coagulants, sustainability.

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. <i>Anadenanthera columbria</i> (Vell.) Brenan	2
2.2. Coagulantes químicos.....	3
2.3. O tanino	4
O tratamento de efluentes.....	6
2.4.	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	6
Coleta de dados	6
3.1.	6
3.2. Determinação do teor de umidade	6
3.3. Extração do tanino por refluxo	7
3.3.1. Determinação do Teor de Extrativos Totais (TE)	9
3.3.2. Determinação do Teor de Polifenóis – STIASNY (NS)	9
3.3.3. Determinação da porcentagem de taninos e não taninos	9
3.3.4. Análise de dados	10
3.3.5. Propriedades dos extratos tânicos	10
3.3.5.1. Teor de umidade.....	10
3.3.5.2. Densidade	10
3.3.5.3. Determinação de pH.....	11
3.3.6. Diluições do tanino em diferentes solventes	11
3.4. Extração do tanino por autoclave.....	11
3.4.1. Propriedades dos extratos tânicos	12
3.4.1.1. Densidade.....	12

3.4.1.2. Determinação de pH	13
3.5. Ensaio de coagulação	13
3.6 Análises laboratoriais	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1. Extração e propriedades dos extratos tânicos por refluxo	14
4.2. Extração e propriedades dos extratos tânicos por autoclave	15
4.3. Ensaio de floculação	15
6. RECOMENDAÇÕES	18
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1. INTRODUÇÃO

Anadenanthera columbria (Vell.) Brenan, comumente conhecida como Angico-Branco, é uma espécie pioneira da família Fabaceae e subfamília Mimosoideae, amplamente distribuída no Brasil (Morim, 2024). Pode ser encontrada em Florestas Estacionais Semidecíduais e, com menor frequência, em Florestas Ombrófilas Mistas, além de áreas de transição para o Cerrado, abrangendo os biomas da Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, o que permite seu desenvolvimento nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país (PAREYN et al., 2018).

O Angico-Branco é uma árvore semicaducifólia, perenifólia, que atinge em média de 10 a 20 m de altura e um diâmetro à altura do peito (DAP) de 30 a 60 cm. Em condições ideais, exemplares adultos podem alcançar até 30 m de altura e 100 cm de DAP. Sua casca externa apresenta uma textura lisa, com coloração branca a cinza-escura e fendas finas longitudinais, com uma espessura de aproximadamente 20 mm, sua casca interna possui uma coloração levemente avermelhada (CARVALHO, 2002).

Essa espécie se destaca na indústria de curtimento de couro e tintas devido à alta concentração de taninos e corantes presentes em sua casca. Sendo considerada uma das melhores fontes de tanino, visto que o angico branco é a espécie que possui a maior quantidade de tanino, quando comparado aos demais angicos, podendo chegar a aproximadamente 32% deste composto em sua casca (CARVALHO, 2002).

Taninos vegetais são moléculas fenólicas biodegradáveis com capacidade de formar complexos com proteínas, minerais e macromoléculas, favorecendo seu uso em diversas aplicações industriais (SKORONSKI et al., 2014).

Devido às suas propriedades de coagulação e capacidade de complexar e adsorver substâncias orgânicas e inorgânicas, os taninos facilitam a formação de flocos, permitindo a remoção dessas substâncias por sedimentação ou filtração, tais características tornam os taninos aplicáveis no tratamento de águas residuais (SKORONSKI et al., 2014). Além disso, o uso de coagulantes à base de tanino permite a geração de um lodo biodegradável, eliminando a necessidade de ajustes no pH após o tratamento (BELTRÁN-HEREDIA et al., 2010).

O uso de tecnologias de tratamento de efluentes mais sustentáveis tem ganhado atenção no Brasil e globalmente. A magnitude dos problemas causados, no meio urbano, pela destinação inadequada aos cursos d'água dos esgotos domésticos e das águas residuárias industriais, vem sendo intensamente estudada e é amplamente conhecida (OLIVEIRA, 1997). Tecnologias de tratamento de efluentes buscam reduzir a concentração de patógenos e a carga orgânica, concentrando nutrientes na fração sólida para aplicação agrícola como fertilizantes e permitindo o reuso de efluentes tratados na cadeia produtiva (PIRES, 2020).

O uso de tanino como coagulante possibilita a redução do uso de produtos químicos sintéticos no tratamento de efluentes, promovendo práticas sustentáveis e contribuindo para a preservação dos recursos ambientais, além de minimizar os impactos ambientais negativos das práticas atuais de tratamento de água (PIRES, 2020).

Assim, este trabalho teve como objetivo testar a eficiência do tanino extraído da casca do Angico-Branco no tratamento primário da água residuária proveniente da bovinocultura de leite.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan

Anadenanthera colubrina, conhecida popularmente como Angico-Branco, é uma espécie pioneira a secundária inicial pertencente à família Fabaceae (Figura 1). De acordo com Nogueira (1997), não é considerada uma árvore longeva, possuindo um ciclo de vida relativamente curto em comparação a outras espécies arbóreas, com duração de aproximadamente 50 a 70 anos. É encontrado naturalmente em Florestas Estacionais Semidecíduais e Florestas Ombrófilas Mistas, preferindo solos férteis, profundos, de boa disponibilidade hídrica, textura areno-argilosa e bem drenados (CARVALHO, 2002).

Essa espécie é amplamente utilizada em projetos de restauração florestal, sendo recomendada para recuperação de áreas degradadas e reposição de mata ciliar em terrenos sujeitos a inundações (CARVALHO, 2002). Segundo Pareyn et al. (2018), sua madeira pode ser empregada em marcenaria, carpintaria, construções rurais e civis, estacas, mourões, móveis, postes, cercas, assoalhos, carroças, lenha e carvão.

Embora a madeira do Angico-Branco seja resistente, é pouco aproveitada porque demora muito para secar, chegando a brotar durante o processo (FERRETTI et al., 1995). Além disso o angico-branco apresenta crescimento moderado a rápido, atingindo produtividade anual de até 31,35 m³/ha/ano (CARVALHO, 2002).

O Angico-Branco é uma espécie heliófila, necessitando de grande quantidade de luz solar, e apresenta tolerância moderada a geadas na fase jovem e apresenta bom potencial silvicultural, desenvolvendo-se adequadamente tanto em plantios puros quanto mistos; ainda, em condições do sudoeste do Paraná, observou-se que a espécie tem um desempenho superior em plantios mistos, em comparação aos puros (CARVALHO, 2002). Entretanto, Carvalho (2002) também relata que houve mortalidade por gamose em ambos os tipos de plantio, com a doença afetando árvores que atingiram cerca de 40 cm de DAP em plantios heterogêneos e aos 15 anos em plantios homogêneos.

Um dos principais problemas do cultivo do angico é a gamose, causada por infestação de insetos nas sementes e outras partes da planta, liberando uma goma que provoca lesões necróticas no tronco e abundante exsudação gamosa também na casca, raízes ou galhos, cuja incidência tende a aumentar conforme avança a idade do povoamento (CARVALHO, 2003).

Além das aplicações em restauração florestal, a casca e outras partes do Angico-Branco têm propriedades medicinais conhecidas. Suas folhas, cascas e raízes contêm compostos bioativos, incluindo taninos, alcaloides e saponinas, que exibem atividades antimicrobianas, antioxidantes e anti-inflamatórias (MOURA et al., 2012). Esses compostos têm sido utilizados pela medicina tradicional no tratamento de problemas respiratórios e inflamações (SOUZA et al., 2016).

Dentre as espécies de angicos, o angico-branco se destaca por possuir o maior teor de tanino na casca, podendo chegar a até 32% (CARVALHO, 2003) (Figura 2). Sua ampla distribuição no Brasil torna viável a extração do tanino dessa espécie, que é amplamente utilizado no processo de curtimento do couro.



Figura 1: Exemplar de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. Fonte: Árvores do Brasil.



Figura 2: Casca de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. Fonte: Autor (2024).

2.2. Coagulantes químicos

São sais inorgânicos convencionalmente usados para tratamento primário de efluentes como o sulfato de alumínio e cloreto férrico (JORDÃO; PESSOA, 2009). Apesar de serem eficazes, o uso desses sais gera como resíduo um lodo não biodegradável que deve ser disposto em aterro específico. Além disso, o volume abundante de lodo produzido, de difícil tratamento e desidratação, a formação de flocos pouco resistentes as distorções mecânicas externas e eficiência fortemente relacionada ao pH, dificultam a utilização desses sais contendo alumínio (KATRIVESIS et al., 2019). Além dos fatores técnicos, o alumínio dependendo da dosagem pode oferecer riscos à saúde humana, como doenças de distúrbios neurológicos, coordenação motora, e mal de Parkinson (KATRIVESIS et al., 2019; SKORONSKI et al., 2014; THAKUR, CHOUBEY, 2014).

O sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3 \cdot H_2O]$ é um dos coagulantes mais utilizados no tratamento de água devido à sua alta eficiência, facilidade de transporte e manuseio, baixo custo e ampla disponibilidade no Brasil (TREVISAN, 2014). Sua aplicação é eficiente na redução de cor, turbidez e Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), podendo diminuir esses parâmetros em até 43% (PIANTÁ, 2008). Contudo, sua eficiência é limitada a uma faixa de pH entre 5 e 8 (SILVA, 1999). Fora dessa faixa, os íons de alumínio se tornam solúveis, dificultando a formação de precipitados e comprometendo o processo de coagulação (ROSALINO, 2011).

Embora amplamente utilizado, o sulfato de alumínio apresenta características acumulativas, o que pode levar ao acúmulo de resíduos nos lençóis freáticos e em águas superficiais (SKORONSKI et al., 2014). Além disso, doses inadequadas podem ser tóxicas à saúde humana, associando-se a doenças como Alzheimer, Parkinson e Síndrome de Down, em função da incapacidade renal de filtrar metais que acabam alcançando o cérebro (TREVISAN, 2014; PIAANTÁ 2008; FIORENTI, 2005).

O cloreto férrico $[\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$, também é amplamente utilizado no tratamento de efluentes industriais (TREVISAN, 2014). Apesar de ser altamente eficiente na remoção de turbidez, fosfatos e na redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DQO), seu manuseio exige cuidados especiais devido às suas propriedades corrosivas, requerendo o uso de equipamentos de segurança e recipientes anticorrosivos (LIBÂNIO, 2010). Sua eficiência é observada em uma faixa de pH mais ampla, entre 5 e 11 (PAVANELLI, 2001; DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Durante a aplicação, ocorre a hidrólise do cloreto férrico, formando complexos de ferro com cargas positivas que resultam em flocos mais densos e de fácil sedimentação, tornando-o vantajoso em relação ao sulfato de alumínio (TREVISAN, 2014; LIBÂNIO, 2010).

2.3. O tanino

Os taninos são definidos como moléculas fenólicas biodegradáveis com capacidade de formar complexos com proteínas e outras macromoléculas e minerais (SKORONSKI et al., 2014). A maioria dos vegetais é portador de tanino, que pode ser encontrado nas raízes, no lenho, na casca, nas folhas, nos frutos e nas sementes (BATTESTIN et al. 2008). São classificados de acordo com sua estrutura química e propriedades em condensados e hidrolisáveis. Os hidrolisáveis são ésteres do ácido gálico e seus dímeros (elágicos) com monossacarídeos, principalmente a glicose (Figura 3). Os taninos condensados são constituídos por monômeros do tipo catequina, conhecidos por flavonóides (PIZZI, 1993; WASTOWSKI, 2018) (Figura 3).

Taninos obtidos de várias fontes renováveis são substâncias amplamente distribuídas entre as plantas, sendo que na casca de algumas espécies a concentração pode chegar até 40%, permitindo assim sua exploração comercial, devido aos altos teores encontrados. Os elevados níveis encontrados estão relacionados à proteção térmica e às suas propriedades antimicrobianas, atuando como forma de defesa das mesmas (JUSTINA, 2017).

A qualidade dos taninos depende do tipo de extração empregada no processo de produção. A extração industrial dos taninos é feita normalmente com água quente em presença de baixas concentrações de sais capazes de melhorar a eficiência do processo em termos de quantidade e qualidade dos taninos extraídos. O teor e a espécie de tanino variam, não só de um vegetal para outro como também de uma parte para outra do mesmo vegetal (WASTOWSKI, 2018).

Os taninos vegetais são utilizados na curtição de peles, na indústria de petróleo, como agentes dispersantes, controlando a viscosidade das argilas na perfuração de poços (PAES et al., 2006), sendo, também empregado na fabricação de floculantes e ou coagulantes para tratamento de águas e efluentes industriais (SILVA, 1999; PAES et al., 2010; PELEGRINO, 2011; KLUMB; FARIA, 2013), na fabricação de tintas e adesivos para madeira e derivados (TRUGILHO et al., 1997), em virtude de suas propriedades antissépticas vêm sendo testados contra organismos xilófagos (VITAL et al., 2001; TRUGILHO et al., 2003; COLLI et al., 2007; MELLO et al., 2010; BOSSARDI; BARREIROS, 2011), também são utilizados como mordentes no tingimento de tecidos e na indústria alimentar para clarificar o vinho, a cerveja e os sucos de fruta e também na de coagulantes na produção de borrachas (WASTOWSKI, 2018).

A cada dia é descoberta mais uma utilidade, o uso de taninos, como coagulante natural, tem proporcionado resultados aceitáveis em etapas de coagulação e floculação (BARRADAS, 2004; COUTO JUNIOR et al., 2012). Diversos autores obtiveram resultados de pesquisas que comprovaram a eficiência de coagulantes naturais à base de taninos, na remoção de poluentes em diferentes tipos de água (BARRADAS, 2004; CRUZ, 2004; KUNZ et al., 2010; PELEGRINO, 2011; COUTO JUNIOR et al., 2012; THAKUR et al., 2014; SOUSA, 2015; LUCYK et al., 2015; JUSTINA, 2017).

Coagulantes naturais, à base de tanino têm sido utilizados em processos de clarificação de águas (BARRADAS, 2004; COUTO JUNIOR et al., 2012). Esses coagulantes naturais utilizados em tratamento de águas contribuem para a diminuição de riscos ambientais e, apresentam-se mais vantajosos quando comparados aos coagulantes inorgânicos, por não gerarem resíduos com concentrações elevadas de íons Al e Cl (KUNZ et al., 2010). Couto Júnior et al. (2012) ressaltaram que o uso de biopolímeros em relação aos reagentes químicos é vantajoso por não consumir a alcalinidade da água durante o processo de tratamento e pela possibilidade de ser obtido de plantas locais, com fácil processamento e potencial redução de custos operacionais.

Vários estudos já comprovaram a eficácia de diferentes materiais vegetais no uso como coagulantes naturais para tratamento de águas, como a *Moringa oleífera* (LO MONACO et al., 2013; HUSSAIN et al., 2012; OKUDA et al., 1999) e o *Strychnos potatorum* (GAIKWAD; MUNAVALLI, 2019). O uso de coagulantes naturais, em substituição aos sais inorgânicos (sulfato de alumínio e cloreto férrico), comumente utilizados nas etapas de separação sólido-líquido, apresenta-se como uma opção mais segura e sustentável (PIRES, 2020).

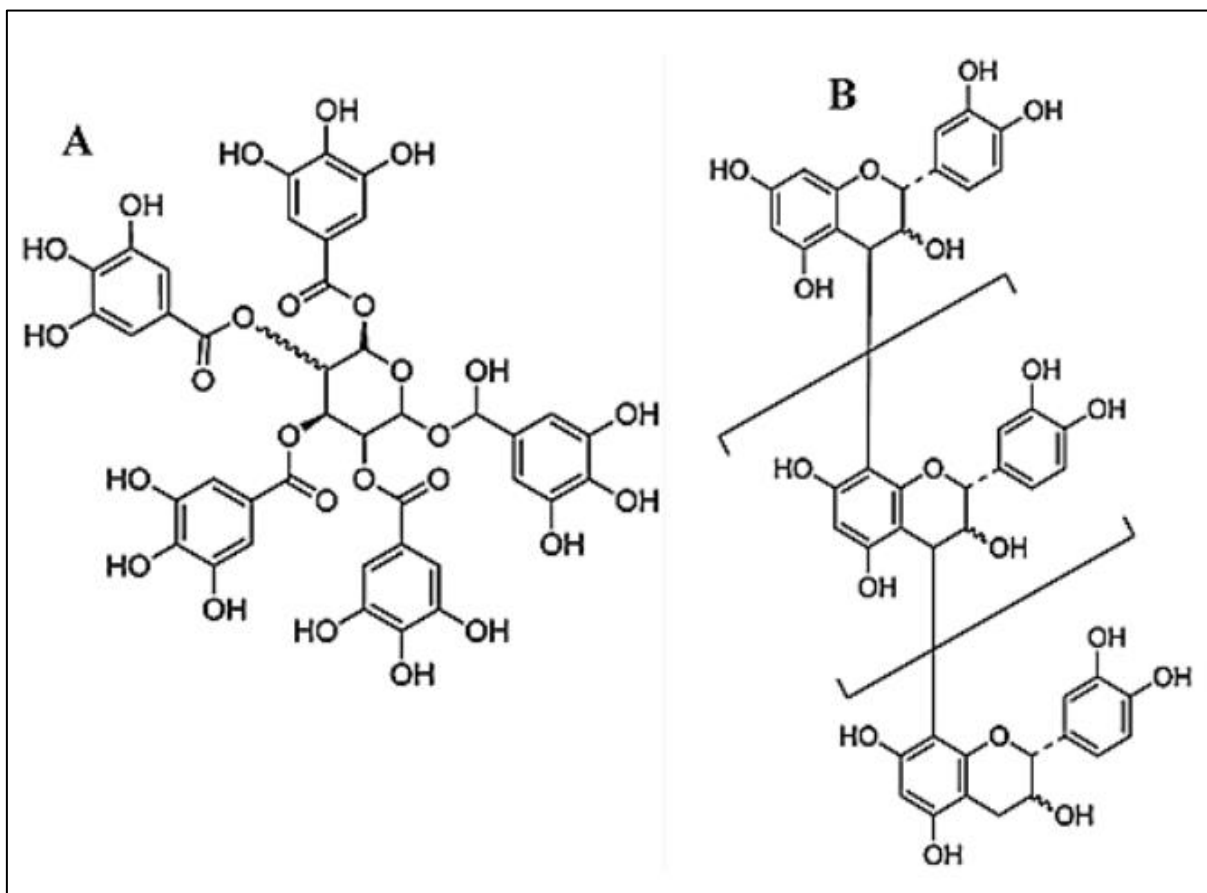


Figura 3: Estrutura hipotética dos taninos. Tanino hidrolisável (A) e Tanino condensado (B).
Fonte: (Dias, 2014; Pires, 2020).

2.4.O tratamento de efluentes

Os tratamentos de efluentes são regulamentados, em sua essência, pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece as condições, os padrões de qualidade e as diretrizes específicas para a gestão e o lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores (BRASIL, 2011).

Existem diversas tecnologias disponíveis para tratamento de efluentes, os processos, por sua vez, são formados por uma série de operações unitárias como a sedimentação, a flotação, coagulação química, oxidação biológica, entre outros, adotadas para a eliminação de substâncias não desejáveis ou transformação em outras formas aceitáveis (JORDÃO; PESSOA, 2009; VON SPERLING, 2014).

O tratamento de efluentes pode ser considerado em níveis, a primeira etapa normalmente empregada consiste na separação de sólidos por processos físicos. O nível primário de tratamento objetiva a remoção de sólidos sedimentáveis e flutuantes. Uma parte significativa destes sólidos em suspensão é compreendida pela matéria orgânica em suspensão (KUNZ et al., 2010). Com a implementação de uma etapa de tratamento primário, reduz-se a carga de demanda bioquímica de oxigênio direcionada ao tratamento secundário, cuja remoção implica em custos mais elevados no processo (VON SPERLING, 2014).

As tecnologias de tratamento a nível primário têm por objetivo principal a eliminação de sólidos suspensos. A remoção de sólidos em suspensão nos processos de separação sólido-líquido pode ser otimizada com o uso de agentes coagulantes (VON SPERLING, 2014). O processo de separação de fases, quando se utiliza agentes clarificantes, pode ser dividido em três etapas: coagulação, floculação e sedimentação. Em linhas gerais, a coagulação é um fenômeno químico, que envolve a redução da carga elétrica entre as partículas suspensas, com a adição de agentes coagulantes, promovendo a desestabilização química e a colisão entre as partículas coloidais e o coagulante. A etapa denominada floculação é um fenômeno físico, no qual ocorrem colisões entre as partículas geradas na coagulação, formando partículas maiores ou flocos, favorecendo a sedimentação. A sedimentação é a etapa onde ocorre a separação das partículas, sólidas em suspensão, de densidade específica maior do que a da água (1 g cm⁻³), por ação da gravidade (PIRES, 2020).

A melhoria na qualidade da água, está se tornando cada vez mais importante, além disso, o desenvolvimento de práticas de tratamento e aproveitamento de águas residuárias que possuam baixo custo de implementação e que seja eficiente, exequível de ser implementada. Na última década houve um aumento de investigação científica sobre a eficácia dos sistemas de tratamento de águas residuárias na remoção de contaminantes (KIEDRZYŃSKA et al., 2017).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Coleta de dados

A espécie Angico Branco (*Anadenanthera columbria* (Vell.) Brenan) utilizada nesta pesquisa foi coletada em Mangaratiba, no estado do Rio de Janeiro (RJ), Brasil, localizada nas coordenadas 43° 59' 55.73" W e 22° 23' 56.74" S, a 1119 metros acima do nível do mar. As amostras foram obtidas de um agrupamento de aproximadamente 10 indivíduos adultos, identificados por meio do mapeamento de coleta de sementes realizado pela equipe do Programa Replantando Vida da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE).

3.2.Determinação do teor de umidade

Após a coleta, as cascas foram secas ao ar livre à temperatura ambiente. Com auxílio de um facão, foram reduzidas a fragmentos menores para que assim, fossem processadas no

moinho do tipo Willey, posteriormente foram peneiradas para que suas partículas fossem homogeneizadas. As partículas que ficaram retidas na malha de 40 mesh foram utilizadas para a obtenção do extrato tânico.

Para determinação o teor de umidade do material, foi utilizado a seguinte equação:

$$TU = ((PU - PS) / PS) \times 100$$

Onde:

TU = teor de Umidade (%);

PU = peso úmido da amostra (g);

PS = peso seco da amostra (g).

3.3. Extração do tanino por refluxo

Para determinar o melhor nível do rendimento de extração de tanino e o teor de polifenóis da casca de Angico Branco, foi utilizado diferentes porcentagem de sulfito de sódio (Na_2SO_3) (Tabela 1). Foi feito uma relação de 15:1, onde, foi utilizado 150 ml de licor (água destilada) para 10g de tegumento (casca absolutamente seca) e levado para balão sob refluxo por 2 horas (Figura 4). Após a extração, o material foi filtrado a vácuo, em cadinho de vidro sinterizado de peso conhecido previamente tarado (Figura 5). O material foi levado à estufa a 103°C durante 24h e posteriormente pesado. Foram realizadas cinco repetições de cada tratamento (SAMPAIO, 2022) (Figura 6).

Tabela 1. Concentração de sulfito de sódio (Na_2SO_3).

Tratamentos	Especificações
1	Extração com água
2	Extração com água + 2% Na_2SO_3
3	Extração com água + 4% Na_2SO_3
4	Extração com água + 5% Na_2SO_3
5	Extração com água + 6% Na_2SO_3
6	Extração com água + 8% Na_2SO_3
7	Extração com água + 10% Na_2SO_3

Obs.: % de produto químico foi calculado em relação ao peso seco dos resíduos.



Figura 4: Extração por refluxo. Fonte: Autor (2024).



Figura 5: Filtragem do extrato tânico em cadinho de vidro sinterizado. Fonte: Autor (2024).



Figura 6: Tratamentos com diferentes porcentagens de sulfito de sódio (Na_2SO_3).

Fonte: Autor (2024).

3.3.1. Determinação do Teor de Extrativos Totais (TE)

Conforme Lelis (1995), foi feita a extração e passado a solução pelo filtro a vácuo, separou-se uma alíquota de 25ml do material filtrado em uma placa de petri previamente tarada com peso inicial conhecido, para realizar a determinação da massa (seca em estufa). Esse processo foi realizado para as cinco repetições de cada um dos testes realizados.

3.3.2. Determinação do Teor de Polifenóis – STIASNY (NS)

Por meio da solução filtrada obtida após a extração foi separado uma alíquota de 50ml e transferida para um balão de 250ml, onde foi adicionado 5ml de ácido clorídrico concentrado e 10 ml de formaldeído (37%) (Lelis, 1995). Em seguida a mistura foi aquecida sob refluxo em manta térmica por um período de 30 minutos. Esperado o tempo determinado, o material obtido foi filtrado em cadinho de vidro com peso inicial previamente conhecido sob vácuo, e lavado com água destilada quente, após o procedimento o mesmo foi levado à estufa até obtenção de massa constante.

$$\%NS = (M_{tan} / M_{Et}) \times 100$$

Onde:

NS = Número de Stiasny

M_{tan} = Massa de tanino (contida no cadinho)

M_E = Massa de extrativos totais (extrapolada para 50ml)

3.3.3. Determinação da porcentagem de taninos e não taninos

Para determinar a porcentagem de tanino foi realizado o cálculo considerando o teor de polifenóis (NS) em cada extrato. Então foi multiplicado o número de Stiasny (NS) pela porcentagem de extrativos e por fim dividido por cem, para que a obtenção da porcentagem de tanino no extrato. Já para determinação de não taninos (NT) foi feita a diferença entre teores de extrativos e taninos.

$$\%Tan = (NS \times TE) / 100$$

Onde:

%Tan = Porcentagem de taninos

NS = Número de Stiasny

TE = Teor de extrativos

3.3.4. Análise de dados

Foi utilizado o programa estatístico IBM SPSS Advanced Statistic 29.0.2.0 para analisar os dados obtidos na extração, que determinou dentre os testes realizados qual foi responsável por extrair uma maior quantidade de extrato tânico. Sendo assim, para análise estatística foram utilizadas variáveis como (Teor de extrativos totais; Número de Stiasny (%); Taninos (%); Não Taninos (%)), tendo como pré-requisito estatístico a normalidade e homogeneidade das variâncias e adotou-se como parâmetro a Análise da Variância (ANOVA), dispondo de um delineamento completamente casualizado, utilizado os níveis de concentração do sulfito de sódio (Na₂SO₃), e, por fim, foi realizado o teste de Tukey que comparou as médias ao nível de confiança de 95%.

3.3.5. Propriedades dos extratos tânicos

Para realizar a avaliação do extrato tânico foi escolhido o tratamento de maior rendimento de tanino, para obtenção de grande quantidade de extrato. Os extratos foram secos em estufa de 103°C por 24h e após este período macerados com auxílio de um pistilo de porcelana. Com o extrato tânico em pó foi preparada uma solução de tanino à 45% e avaliadas as seguintes propriedades: teor de umidade, densidade e pH. Todas as análises foram realizadas em 5 repetições (SAMPAIO, 2022). Desta forma, foi seguido os seguintes procedimentos:

3.3.5.1. Teor de umidade

Para determinar o teor de umidade, foi colocado 3g do extrato tânico em um cadinho de peso previamente conhecido e levados à estufa aquecida a 103°C por 24h. Ao final do tempo determinado, a amostra foi pesada novamente, para que assim fosse encontrado o teor de umidade do extrato tânico, por meio da seguinte equação:

$$TU = ((PU - PS) / PS) \times 100$$

Onde:

TU = teor de Umidade (%);

PU = peso úmido da amostra (g);

PS = peso seco da amostra (g).

3.3.5.2. Densidade

Para determinar a densidade do extrato tânico, foi adicionado 10 ml da solução tânica em uma placa de petri previamente tarada sob uma balança de precisão. Sendo assim, possível obter a sua densidade por meio da seguinte equação:

$$D = (m / v)$$

Onde:

D = densidade (g/cm³);

m = peso de 10 ml da solução (g);

v = volume da solução (ml).

3.3.5.3. Determinação de pH

A determinação do pH foi realizada por meio de 10 amostras do extrato tânico, extraídas com auxílio de um pHmetro digital calibrado em solução tampão 4 e 7 com leitura registrada após 4 minutos de contato do eletrodo com a solução (SILVA, 2015).

3.3.6. Diluições do tanino em diferentes solventes

Para a diluição do tanino foi utilizado a metodologia descrita por Silva (2022). Foram utilizados solventes inorgânicos (água quente, água fria e NaOH a 1 %) (Figura 7).

No experimento com água quente, 1 g de tanino seco foi homogeneizado em 100 mL de água destilada em um béquer, que foi vedado com papel alumínio e colocado em banho-maria a 100 °C por 3 horas, sendo agitado a cada 20 minutos. Após esse período, a solução foi filtrada com uma bomba de vácuo utilizando um cadinho filtrante, e o béquer foi lavado com 100 mL de água destilada quente para garantir a filtração completa.

Já para a solubilidade em água fria foi homogeneizado 2 g de tanino seco em um béquer com 300 mL de água destilada, o qual foi vedado com papel alumínio e armazenado em temperatura ambiente por 48 horas, sendo agitado frequentemente. Após esse período, o material foi filtrado com bomba de vácuo e cadinho filtrante.

Para a solubilidade em NaOH a 1%, 2 g de tanino seco foram homogeneizados em 100 mL de NaOH, e o béquer foi vedado com papel alumínio e colocado em banho-maria a 100 °C por 1 hora, com agitação nos tempos de 10, 15 e 25 minutos. Após 1 hora, a solução foi filtrada com bomba de vácuo em cadinho filtrante, e o béquer foi lavado com 50 mL de água destilada quente, seguido de 50 mL de ácido acético a 10% para neutralizar o NaOH, e mais 50 mL de água destilada quente para assegurar a filtração completa.

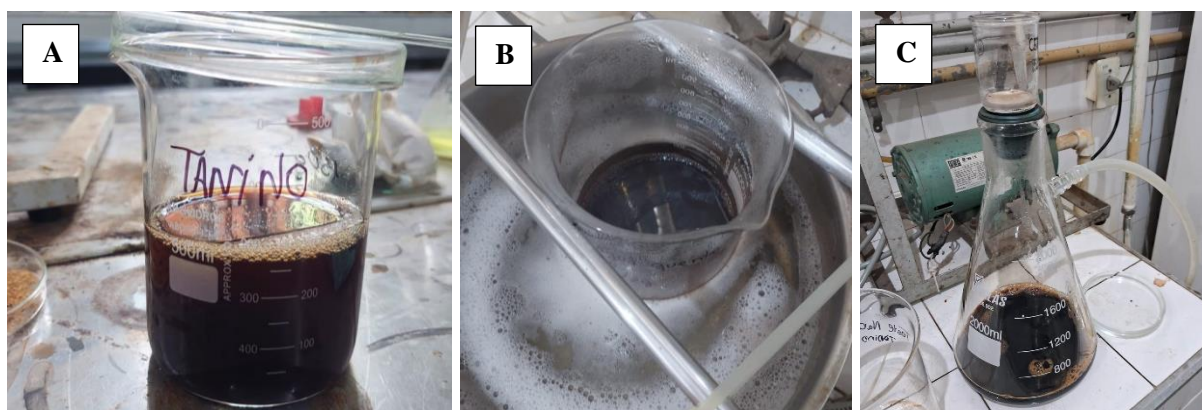


Figura 7: Diluição em água fria (A). Diluição em água quente (B). Diluição em NaOH 1% (C).
Fonte: Autor (2024)

3.4. Extração do tanino por autoclave

Os taninos foram extraídos em uma autoclave vertical com capacidade de 15 litros, equipada com tampa contendo manômetro e marcação. O processo foi conduzido sob pressão de 1 Kgf/cm² e temperatura de 120°C, durante um período de 2 horas, conforme descrito por Pedrini (2022).

Para os testes, foi adotada uma proporção licor:casca de 15:1. Os tratamentos realizados estão detalhados na Tabela 2, apresentando a seguir:

Tabela 2. Tipos de extração com solventes diferentes

Teste	Material	Extração
1	10 g casca seca	H ₂ O destilada + 5% de Na ₂ SO ₃ *
2	10 g casca seca	H ₂ O destilada + 2% de Na ₂ SO ₃ *

3	10 g casca seca	H ₂ O destilada + 5% de NaOH*
*Em relação ao peso seco da casca		

Para determinação o teor de umidade do da casca, foi utilizado a seguinte equação:

$$TU = ((PU - PS) / PS) \times 100$$

Onde:

TU = teor de Umidade (%);

PU = peso úmido da amostra (g);

PS = peso seco da amostra (g).

Em cada teste, foram utilizados 10 g de casca em pó e 150 mL de água destilada. No Teste 1, adicionaram-se 5% de sulfito de sódio (Na₂SO₃); no Teste 2, 2% da mesma substância; e no Teste 3, 5% de hidróxido de sódio (NaOH), com o objetivo de maximizar a remoção de polifenóis, conforme descrito por Vieira et al. (2014). Para prevenir contaminações e promover a condensação do vapor d'água, os béqueres foram cobertos com papel alumínio, garantindo a manutenção do volume inicial de água e evitando possíveis perdas por volatilização (Figura 8).



Figura 8: Extração de tanino em autoclave vertical. Fonte: Autor (2024).

Após o término do ciclo da autoclave, esperou-se 24h onde o material foi peneirado utilizando uma peneira convencional. Esse processo separou os resíduos da casca do licor extraído, que contém os taninos.

3.4.1. Propriedades dos extratos tânicos

Para realizar a avaliação do extrato tânico foram avaliadas as seguintes propriedades: densidade e pH. Desta forma, foi seguido os seguintes procedimentos:

3.4.1.1. Densidade

Para determinar a densidade do extrato tânico, foi adicionado 10 ml da solução tânica em uma placa de petri previamente tarada sob uma balança de precisão. Sendo assim, possível obter a sua densidade por meio da seguinte equação:

$$D = (m / v)$$

Onde:

D = densidade (g/cm³);

m = peso de 10 ml da solução (g);

v = volume da solução (ml).

3.4.1.2. Determinação de pH

A determinação do pH foi realizada por meio de 3 amostras do licor tânico extraídas, com auxílio de um pHmetro digital calibrado em solução tampão 4 e 7 com leitura registrada após 4 minutos de contato do eletrodo com a solução (SILVA, 2015).

3.5. Ensaio de coagulação

O efluente bruto utilizado no ensaio de coagulação foi coletado diretamente da esterqueira do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), em Seropédica, RJ, proveniente de um estábulo de bovinocultura de leite. Antes do experimento, foi realizada a medição do pH da amostra.

No ensaio preliminar, foram utilizadas soluções tânicas extraídas por refluxo a 2% de Na₂SO₃ e posteriormente diluídas. Seis amostras de 250 mL do efluente bruto foram preparadas e tratadas com diferentes dosagens dessas soluções: três amostras receberam 4 mL L⁻¹ de cada solução, enquanto as outras três receberam 8 mL L⁻¹ (tabela 3).

Tabela 3. Tratamentos preliminares realizados.

Tratamentos	Diluição	Dosagem da solução
P01	Água fria	4 mL L ⁻¹
P02	Água quente	4 mL L ⁻¹
P03	NaOH	4 mL L ⁻¹
P04	Água fria	8 mL L ⁻¹
P05	Água quente	8 mL L ⁻¹
P06	NaOH	8 mL L ⁻¹

No experimento com soluções extraídas em autoclave a partir da casca de angico-branco (*Anadenanthera colubrina*), foram separadas seis amostras de 200 mL do efluente bruto. Da mesma forma, três amostras foram tratadas com 10 mL L⁻¹ de cada solução, e as outras três com 5 mL L⁻¹, possibilitando a comparação entre as dosagens e o desempenho das soluções testadas, como mostra a tabela 4, a seguir.

Tabela 4. Tratamentos realizados.

Tratamentos	Diluição	Dosagem da solução
T01	H ₂ O destilada + 5% de Na ₂ SO ₃	5 mL L ⁻¹
T02	H ₂ O destilada + 5% de Na ₂ SO ₃	10 mL L ⁻¹
T03	H ₂ O destilada + 2% de Na ₂ SO ₃	5 mL L ⁻¹
T04	H ₂ O destilada + 2% de Na ₂ SO ₃	10 mL L ⁻¹
T05	H ₂ O destilada + 5% de NaOH	5 mL L ⁻¹
T06	H ₂ O destilada + 5% de NaOH	10 mL L ⁻¹

O procedimento foi realizado em duas etapas: inicialmente, uma mistura rápida foi promovida manualmente durante cinco minutos; em seguida, ocorreu um tempo de espera de 30 minutos, a fim de que ocorresse o processo de sedimentação.

3.6 Análises laboratoriais

As amostras da fração líquida de cada ensaio de coagulação foram coletadas em frascos de polipropileno de 50 mL, previamente descontaminados com solução de HCl a 10% (v/v) e água destilada. As variáveis analisadas nos tratamentos e na água residuária bruta (ARB) incluíram pH, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio (DQO), turbidez, fósforo dissolvido e cor verdadeira.

Todas as análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Análise e Pesquisa da Água (LIBRA) da CEDAE, localizado na ETA Guandu, em Nova Iguaçu - RJ. A cor verdadeira foi determinada utilizando um espectrofotômetro HACH, enquanto a turbidez foi medida com um turbidímetro de bancada. O fósforo dissolvido foi quantificado pelo método do ácido ascórbico, utilizando o espectrofotômetro HACH, conforme descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Antes das análises, as amostras foram preparadas por filtração com papel filtro.

O pH foi medido com um pHmetro de bancada, e a condutividade elétrica, com um condutivímetro de bancada. A demanda química de oxigênio (DQO) foi determinada pelo método do refluxo calorimétrico (APHA, 2012), seguido de leitura em um espectrofotômetro HACH.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Extração e propriedades dos extratos tânico por refluxo

Foram obtidos diferentes valores de acordo com os testes realizados durante o processo de extração do tanino com sulfito de sódio, como apresentado na tabela 5.

Tabela 5. Valores médios dos teores de extrativos totais, número de Stiasny, % de taninos e % de não taninos da casca de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, após extração com água destilada e com diferentes concentrações de sulfito de sódio.

Obs: As médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não apresentaram diferença significativa pelo Teste Tukey ($p \geq 0,05$).

Tratamentos	Teor de extrativos totais	Número de Stiasny (%)	Taninos (%)	Não taninos (%)
Extração em água destilada	27,624 d	81,37 ab	21,99 b	5,63 c
Extração com 2% de Na ₂ SO ₃	46,73 bc	86,53 ab	40,35 a	6,37 bc
Extração com 4% de Na ₂ SO ₃	42,32 c	89,08 a	37,70 a	4,62 c
Extração com 5% de Na ₂ SO ₃	43,94 c	89,08 a	39,00 a	4,94 c
Extração com 6% de Na ₂ SO ₃	52,89 b	73,09 ab	38,24 a	14,65 abc
Extração com 8% de Na ₂ SO ₃	59,84 a	72,95 ab	43,60 a	16,24 ab
Extração com 10% de Na ₂ SO ₃	54,55 a	67,99 b	38,84 a	17,70 a

Ao analisar os valores de tanino apresentados em cada tratamento realizado com diferentes porcentagens de Na₂SO₃, foi possível observar que os tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas entre si, diferindo apenas com o tratamento com água.

Porém, o tratamento com 2% de Na₂SO₃ foi considerado o mais eficiente para a extração de extrato tânico em maior quantidade, com destaque para a elevada porcentagem de tanino (40,35%) e de NS (86,53%), além de demandar uma baixa concentração de Na₂SO₃, tornando o processo mais econômico.

Foram encontrados valores médios de densidade e pH para a solução tânica a 45% da casca de *Anadenanthera colubrina*, sendo estes respectivamente 0,88 g/cm³ e 4,62 o pH.

Uma característica dos extratos tânicos é o valor de pH ser ácido, e no caso da solução tânica a 45% foi de caráter ácido (4,62). Silva et al. (2012) reportaram um pH de 5,3 para adesivos tânicos de *Pinus oocarpa* var. *oocarpa*. Morbeck et al. (2019) encontraram um pH de 3,9 para adesivos tânicos extraídos dos resíduos de coco (*Cocos nucifera*).

4.2.Extração e propriedades dos extratos tânicos por autoclave

A partir dos três métodos de extração realizados na autoclave, obteve-se as soluções tânicas da espécie estudada (Figura 9).



Figura 9: Licor obtido das cascas da *Anadenanthera colubrina*. Fonte: Autor (2024).

Observa-se que a solução obtida a 2% de Na₂SO₃ apresentou o melhor rendimento, resultando em cerca de 0,82 g/cm³ de densidade média de tanino na solução tânica (Tabela 6). Demonstrando que em ambos os métodos de extração o Na₂SO₃ a 2% se mostrou mais eficiente.

O pH das soluções tânicas avaliadas variou entre 5 e 9, situando-se próximo à neutralidade (Tabela 6). Em contraste, extratos tânicos comercialmente disponíveis, como o Tanfloc SG, produzido pela empresa Tanac, e o Tanino Vegetal Quaternário Líquido, fabricado pela Purewater Controle de Efluentes, apresentam pH significativamente mais ácido, variando de 1,3 a 2,3 e de 1,3 a 2,9, respectivamente.

Tabela 6. Resultados de pH e densidade das soluções tânicas extraídas em autoclave.

Solução	pH	Densidade (g/cm ³)*
H ₂ O destilada + 5% de Na ₂ SO ₃	8,11	0,76
H ₂ O destilada + 2% de Na ₂ SO ₃	5,79	0,82
H ₂ O destilada + 5% de NaOH	6,30	0,73

*Resultados expressos em média de duas repetições.

4.3. Ensaio de floculação

Após testar as soluções de tanino em diferentes diluições, observou-se que os resultados não atenderam às expectativas em relação ao seu uso como coagulante natural no tratamento de água residuária da bovinocultura de leite (Tabela 7) (Figuras 10 e 11). Os testes preliminares

não foram analisados em escala laboratorial, pois apresentaram desempenho abaixo do esperado, o que levou à fase seguinte do estudo, com a adoção de um segundo método de extração do tanino, buscando melhores resultados. Isso se deve ao fato de que, conforme afirmam Macedo (2015) e Silva (1999), as empresas produtoras de tanino comercial utilizam o método de extração por autoclave.

A falta de eficiência do tanino pode estar relacionada ao tipo de extração utilizado, ao armazenamento inadequado, ao método de agitação empregado, às técnicas de diluição adotadas ou até mesmo às características específicas do tanino utilizado. A ausência de uma análise preliminar das características químicas do tanino pode ter contribuído para eventuais falhas nos resultados.

Tabela 7. Valores encontrados dos parâmetros analisados para cada tratamento usando o licor tânico extraído por autoclave.

Tratamento	Cor verdadeira (mg PtCo L ⁻¹)	Condutividade elétrica (µS/cm ⁻¹)	DQO (mg/L)	P dissolvido (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)
ABR	695,77	621,7	748,6	20,2	6,85	92,9
T01	-	666,8	1295,4	-	6,80	135
T02	-	643,4	1146,3	-	6,83	202
T03	-	621,4	1162,9	-	6,80	144
T04	-	606,1	1046,9	-	6,85	184
T05	-	633,3	1527,4	-	7,21	263
T06	-	623,0	1046,9	-	7,21	86,5

ARB = Água Residuária Bruta.

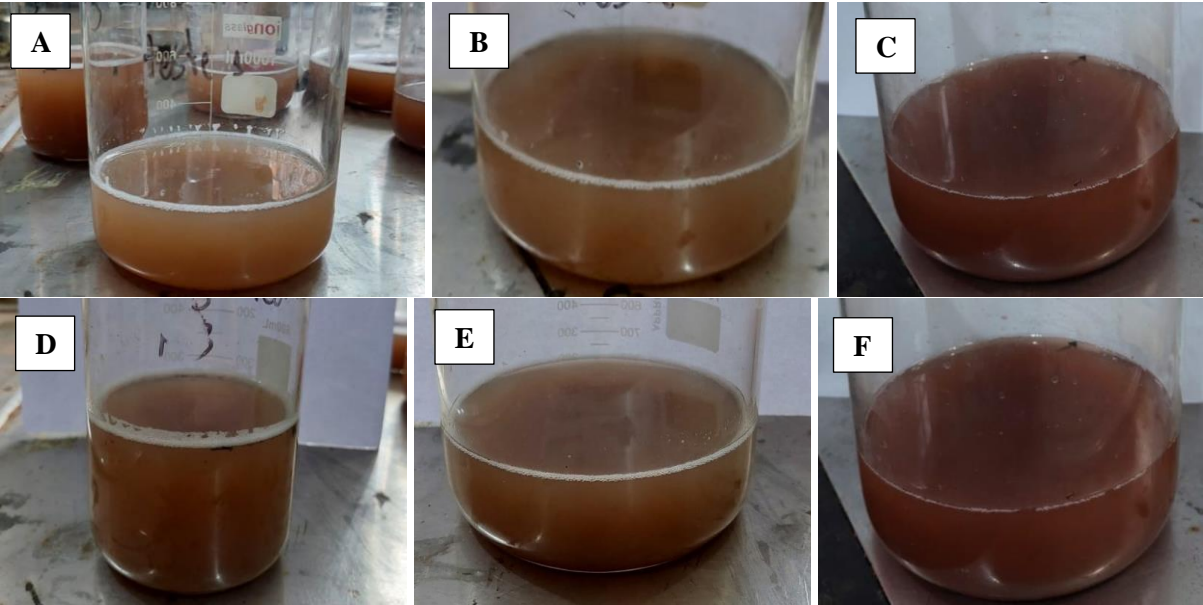


Figura 10: P01 (A). P02 (B). P03 (C). P04 (A). P05 (B). P06 (C). Fonte: Autor (2024).

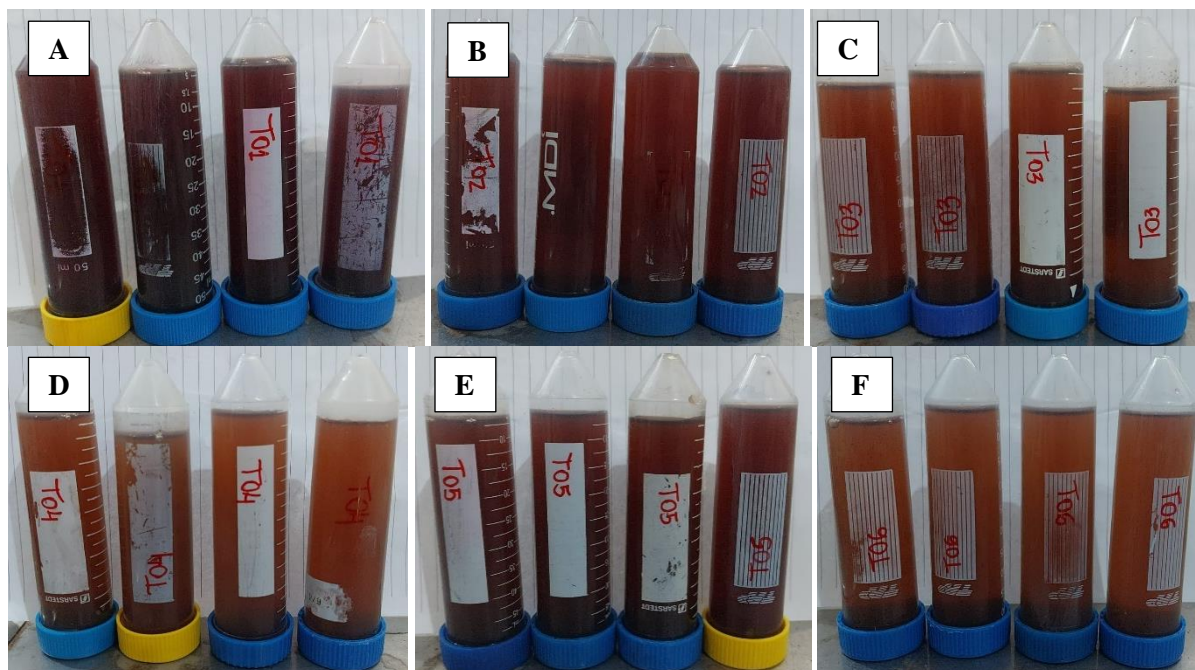


Figura 11: T01 (A). T02 (B). T03 (C). T04 (D). T05 (E). T06 (F). Fonte: Autor (2024).

Nos tratamentos realizados, não foi possível observar coagulação, indicando que o tanino extraído de *Anadenathera colubrina* não apresentou eficiência nas condições testadas. Almeida (2016) sugere que a baixa eficiência do tanino extraído da casca do café conilon como coagulante pode ser atribuída à baixa turbidez da água residuária bruta utilizada (21 a 23 NTU). No presente estudo, a amostra apresentou turbidez inicial de 92,9 NTU, valor compatível com outros trabalhos que trataram águas com turbidez variando entre 53 e 500 NTU (Anjos, 2021; De Bona Sartor, 2019; Straioto, 2021). Apesar disso, o tratamento T06 apresentou redução na turbidez em comparação ao efluente bruto (Tabela 7).

Os valores de pH permaneceram próximos à neutralidade após a aplicação do tanino (Tabela 6). Pires (2020) constatou que o aumento da dosagem de tanino comercial (*Acacia mearnsii*), produzido pela Veta Organic®, em efluentes de bovinocultura de leite resultou na redução do pH, mas ainda dentro dos limites permitidos pela Resolução CONAMA nº 430 (entre 5,0 e 9,0), que regula condições, parâmetros e diretrizes para o lançamento de efluentes em corpos d'água receptores. Por outro lado, De Bona Sartor (2019) observou que a aplicação de tanino em efluente têxtil, com pH inicial de 9,8, não provocou reduções significativas, sugerindo a necessidade de ajuste prévio para atender aos padrões estabelecidos.

A avaliação da cor verdadeira foi inviabilizada devido à coloração escura das amostras (Tabela 7), resultado da falta de coagulação e da influência do próprio tanino.

Em relação à condutividade elétrica, tanto a água residuária bruta da bovinocultura de leite quanto os tratamentos apresentaram valores médios de $631 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, superiores ao intervalo típico para águas naturais (10 a $100 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) conforme Von Sperling (2007). Skoronski et al. (2014) constatou que o tanino exerce pouca influência na condutividade elétrica ao tratar água para abastecimento, o que reforça sua característica de coagulante com pouco impacto nas substâncias dissolvidas.

No que diz respeito à DQO, o efluente bruto apresentou valores menores que os dos tratamentos com tanino, indicando piora significativa desse parâmetro, especialmente no tratamento T05, que mais que dobrou os valores iniciais (Tabela 7). Estudos anteriores (Bombardelli, 2015; Pires, 2020; Silva, 1999) reportaram remoções satisfatórias de DQO com taninos, atingindo eficiências de até 97,4%. Apesar da Resolução CONAMA nº 430 não utilizar

a DQO como parâmetro obrigatório, legislações estaduais, como a NT-202.R-10 (INEA, 1986), regulamentam esse parâmetro no Rio de Janeiro.

Quanto ao fósforo dissolvido, não foi possível realizar as leituras dos tratamentos devido à necessidade de recalibração do equipamento. O valor inicial da ARB ultrapassou em 20 vezes o limite de 1,0 mg/L especificado para corpos hídricos de regime lento, conforme a NT-202.R-10 (INEA, 1986).

5. CONCLUSÕES

O rendimento do tanino extraído da casca de *Anadenanthera colubrina* variou conforme os métodos e concentrações de extração, sendo o sulfito de sódio (Na_2SO_3) a 2% o tratamento mais eficaz para obter extratos ricos em taninos.

No entanto, no ensaio de coagulação, o tanino não apresentou eficiência significativa como coagulante natural para o tratamento de água residuária de bovinocultura, mesmo com turbidez inicial dentro de intervalos compatíveis com outros estudos. A ausência de coagulação pode ser atribuída às propriedades químicas do extrato e às condições específicas do experimento. Além disso, os parâmetros avaliados, como DQO e condutividade elétrica, mostraram resultados insatisfatórios, com aumento de DQO em alguns tratamentos e manutenção de alta condutividade elétrica.

Dessa forma, enquanto o tanino extraído de *A. colubrina* mostrou potencial em termos de rendimento e concentração em condições específicas de extração, sua aplicação como coagulante em águas residuárias de bovinocultura requer adaptações nos métodos ou combinação com outras estratégias para alcançar resultados efetivos.

6. RECOMENDAÇÕES

- **Investigar propriedades químicas específicas do tanino:** Realizar análises detalhadas para compreender melhor as características químicas do tanino da *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, como peso molecular, estrutura dos polímeros fenólicos e sua interação com substâncias coloidais.
- **Realizar hidrólise ácida:** A fim de modificar suas características químicas, melhorando sua eficácia no processo de tratamento de água e efluentes.
- **Testar variações de dosagem e combinações de coagulantes:** Realizar experimentos com diferentes concentrações do tanino e avaliar sua eficácia combinado a outros coagulantes naturais ou sintéticos.
- **Realizar testes em Jar Test:** A fim de simular as condições de um processo de tratamento em grande escala, permitindo que se determine a melhor dosagem de reagentes para remoção de partículas, turbidez e outros contaminantes.
- **Ampliar as condições experimentais:** Avaliar o desempenho do tanino em águas residuárias com variações maiores de turbidez, pH e carga orgânica para identificar os limites de aplicação.
- **Aplicar diferentes métodos de extração:** Explorar técnicas alternativas de extração, para possivelmente melhorar a qualidade do tanino.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, T. et al. **Extração de tanino condensado da casca do café conilon e uso deste como coagulante para remoção de turbidez da água.** *Enciclopédia Biosfera*, v. 13, n. 23, 2016.
- ANJOS, B. F. dos. **Produção de agentes coagulantes para clarificação da água a partir de taninos de espécies florestais da Caatinga.** 2021. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.
- APHA; AWWA; WPCF. **Standard methods for examination of water and wastewater.** 22nd ed. New York: APHA, 2012.
- BARRADAS, J. L. **Tanino- Uma solução ecologicamente correta: Agente floculante biodegradável de origem vegetal no tratamento de água.** Novo Hamburgo – RS, Brasil, 2004.
- BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; GÓMEZ-MUÑOZ, M. C. New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies. **Chemical Engineering Journal**, v. 162, n. 3, p. 1019–1025, 2010.
- BOMBARDELLI, D. B.; HEMKEMEIER, M. **Pós-tratamento físico-químico de efluente de uma retífica de motores do Sul do Brasil.** 2015.
- BOSSARDI, K.; BARREIROS, R.M. Produtos naturais como preservantes para madeiras de rápido crescimento - uma revisão. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 2, n. 2, p. 109-118, 2011.
- Brasil. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Publicada no Diário Oficial nº 92 em 16 de maio de 2011. Composição e classificação dos esgotos sanitários.
- CARVALHO, P. E. R. Angico-Guracaia. **Circular Técnica**, n. 58. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 14 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42017/1/CT0058.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2024.
- COLLI A, NASCIMENTO AM, XAVIER LM, RUBIM IB. Propriedades físico-mecânicas e preservação, com boro e tanino, do *Bambusa tuldoidea* (Munro). **Floresta e Ambiente** 2007; 14(1): 56-64.
- COUTO JUNIOR, O. M.; STRÖHER, A. P.; BARROS, M. A. S. D.; PEREIRA, N. C. Caracterização e otimização do tratamento de efluente têxtil por coagulação-floculação, utilizando coagulante natural tanino. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.14, n 1, Jan/Jun 2012.
- CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste.** Brasília, DF: MMA, 2018. Cap. 5, p. 740–745.
- DE BONA SARTOR, R. R. et al. Análise e comparação de sulfato de alumínio, policloreto de alumínio e tanino como coagulantes no tratamento de efluente de uma lavanderia industrial. **Revista Vincci: Periódico Científico do UniSATC**, v. 4, n. 2, p. 179–204, 2019.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2. ed. São Carlos: Editora Rima, 2005.

FERRETTI, A. R. et al. Classificação das espécies arbóreas em grupos ecológicos para revegetação com nativas no Estado de São Paulo. **Florestar Estatístico**, v. 3, n. 7, p. 73–84, 1995.

FIORENTINI, V. **Uso do tanino no processo de tratamento de água como melhoria em sistema de gestão ambiental**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

Morim, M.P. Anadenanthera in **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB18071>>. Acesso em: 18 dez. 2024

GAIKWAD, V. T.; MUNAVALLI, G. R. Turbidity removal by conventional and ballasted coagulation with natural coagulants. *Applied Water Science*. 2019; 9:130.

HUSSAIN, S., MANE, V., PRADHAN, V., FAROOQUI, M. Efficiency of seeds of moringa Oleifera in estimation of water turbidity. **International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences**, v. 3, n 3, p. 1334-1337, 2012.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. **NT-202.R-10 - Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos**. Aprovada pela Deliberação CECA nº 1.007, de 04 de dezembro de 1986. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br>. Acesso em: 09 dez. 2024.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgoto doméstico**. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2009. 5ª ed., 940 p.

JUSTINA, D. M. **Aplicação de tanino vegetal como coagulante no tratamento de efluentes de laticínios e gestão do lodo para aplicação agrônômica**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

KATRIVESIS, F.K.; KARELA, A.D.; PAPADAKIS, V.G.; PARASKEVA, C.A. **Revisiting of coagulation-flocculation processes in the production of potable water**. *Journal of Water Process Engineering*, v 27, p. 193-204, 2019.

KIEDRZYŃSKA, E.; URBANIAK, M.; KIEDRZYŃSKI, M.; JÓŻWIK, A.; BEDNAREK, A.; GAĞAŁA, I. & ZALEWSKI, M. The use of a hybrid Sequential Biofiltration System for the improvement of nutrient removal and PCB control in municipal wastewater. **Science Reports**, v. 7: 5477, 2017.

KLUMB, A.K.; FARIA, O.L.V. Produção de coagulante vegetal catiônico a partir de cascas de eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*). **Vetor**, Rio Grande, v.22, n.1, p. 71-80, 2012.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; BORTOLI, M. Separação sólido-líquido em efluentes da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, p.1220–1225, 2010.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

LO MONACO, P.A. V.; MATOS, A.T.; PEREIRA, M. S.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V.; BATISTA, A. P. S.; BAKER, S. A. A. Efeito da adição de diferentes substâncias químicas no extrato de sementes de moringa utilizado como coagulante no tratamento de esgoto sanitário. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.5, p.1038-1048, 2013.

LUCYK, N. et al. Uso de coagulantes naturais no tratamento de coagulação/floculação de efluente proveniente de abatedouro de aves. **Revista Gest. Sust. Ambient.**, Florianópolis, n. esp, p.576-587, dez. 2015.

MACEDO, Gabriela Braun de. **Estabilidade e tratamento de taninos condensados**. 2015.

MELO, R.R.; SANTINI, E.J., PAES, J.B.; GARLET, A.; STANGERLIN, D.M.; DEL MENEZZI, C.H.S. Resistência de painéis aglomerados confeccionados com madeira de *Eucalyptus grandis* e diferentes adesivos a fungos e cupins xilófagos. **Cerne**, Lavras, v. 16, Suplemento, p. 82-89, 2010.

MORBECK, Fernanda Lago et al. Extraction and evaluation of tannin from green coconut mesocarp. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, n. 3, p. e12433, 2019.

MOURA, L. H. et al. Propriedades bioativas do angico-branco na medicina tradicional e aplicações industriais. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 18, n. 4, p. 512–525, 2012.

NOGUEIRA, J. C. B. **Reflorestamento heterogêneo com essências indígenas**. São Paulo: Instituto Florestal, 1977. 71 p. (IF. Boletim Técnico, 24).

OKUDA T., BAES, A. U., NISHIJIMA, W., OKADA M. Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seed. **Journal Water Science**, v. 33, nº 15, p. 3373- 3378, 1999.

OLIVEIRA, R. A. de. **Efeito da concentração de sólidos suspensos do afluente no desempenho e características do lodo de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo tratando águas residuárias de suinocultura**. 1997. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PAES, J.B.; SANTANA, G.M.; AZEVEDO, T.K.B.; MORAIS, R.M.; CALIXTO JÚNIOR, J.T. Substâncias tânicas presentes em várias partes da árvore angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. var. cebil (Gris.) Alts.). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 441-447, 2010.

PAREYN, F. G. C.; ARAÚJO, E. de L.; DRUMOND, M. A. *Anadenanthera colubrina: Angico*. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. (Ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste**. Brasília, DF: MMA, 2018. Cap. 5, p. 740-745 il. color. (Série. Biodiversidade, 51).

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PEDRINI, C. M.; KNOP, R. B. V. Extração e aplicação de coagulante vegetal à base de tanino para o tratamento de efluentes têxteis. **Revista da UNIFEFE**, v. 1, n. 27, 2022.

PELEGRINO, E.C.F. **Emprego de coagulante à base de tanino em sistema de póstratamento de efluente de reator UASB por flotação**. 2011. 155f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

PIANTÁ, C. A. V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,

2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26026/000754989.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2024.

PIRES, C. S. **Tratamento da água residuária da bovinocultura de leite utilizando coagulante natural e filtro orgânico**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2020.

PIRES, C. S. et al. Avaliação da eficiência do coagulante natural tanino na remoção de fósforo em efluente de bovinocultura de leite. In: **Anais do IV Simpósio ABC: Argentina-Brasil-Cuba**. Seropédica, RJ: 2020. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/ivsimplimposioabc/238171>. Acesso em: 07 dez. 2024.

PIZZI, A. Natural phenolic adhesives I: Tannin. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. (Eds.). **Handbook of Adhesive Technology**. 2. ed. Madison: Marcel Dekker, 2003.

ROSALINO, Melanie Roselyne Rodrigues. **Potenciais Efeitos da Presença de Alumínio na Água de Consumo Humano**. 2011. Disponível em: . Acesso em: 26 nov. 2024.

SKORONSKI, E. et al. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, p. 679–687, 2014.

SILVA, Bruno Couto da et al. Qualidade de compensados fabricados com adesivos à base de tanino-formaldeído de *Pinus oocarpa* e fenol-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, v. 19, p. 511-519, 2012.

SILVA, G. F. et al. Solubilidade de tanino em diferentes solventes. In: **Anais do III Simpósio de Ciências Florestais do Espírito Santo**. 2021, Jerônimo Monteiro, ES. Jerônimo Monteiro: Universidade Federal do Espírito Santo, 2021. p. 469-475. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 9 dez. 2024.

SILVA, T. S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. 1999. Tese (Doutorado) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999.

SILVA, G. C. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com adesivos à base de lignosulfonato e ureia-formaldeído**. 2015. 75p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SOUSA, T. B. **Uso de taninos de espécies florestais no tratamento de água para abastecimento**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

SOUZA, R. S. et al. Uso popular e potencial medicinal da *Anadenanthera colubrina*: uma revisão. **Revista de Plantas Medicinais**, v. 28, n. 2, p. 240–246, 2016.

STRAIOTO, H.; DE MOURA, A. A.; COSTANZI, R. N. Comparação entre o coagulante natural tanino e os coagulantes inorgânicos PAC e cloreto férrico para o tratamento de águas residuais da indústria de reciclagem de plásticos. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, p. 685–700, 2021.

THAKUR, S. S. E CHOUBEY, S. **Use of Tannin based natural coagulants for water treatment: An alternative to inorganic chemicals**. International Journal of ChemTech Research, v.6, No.7, pp 3628-3634, 2014.

TREVISAN, T. S. **Coagulante Tanfloc SG como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA Cafezal**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

TRUGILHO PF, CAIXETA RP, LIMA JT, MENDES LM. Avaliação do conteúdo em taninos condensados de algumas espécies típicas do cerrado mineiro. **Cerne** 1997; 3(1): 1-13.
TRUGILHO PF, MORI FA, LIMA JT, CARDOSO DP. Determinação do teor de taninos na casca de *Eucalyptus spp.* **Cerne** 2003; 9(2): 246-254.

VITAL BR, SHIMADA AN, DELLA LUCIA RM, VALENTE OF, PIMENTA AS. Avaliação dos taninos da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden como preservativo de madeira. **Revista Árvore** 2001; 25(2): 245-256.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. v. 7. 452 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, v.1, 4 ed., 2014.

WASTOWSKI, A. D. **Química da madeira**. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2018. 584p.