

OBTENÇÃO DE COAGULANTE A BASE DE TANINOS EXTRAÍDOS DA BORRA DE CAFÉ PARA REMOÇÃO DO CORANTE AMARELO DISPERSO EM ÁGUA

Ana Carolina da Silva Brito^{1*}

Anna Luisa Lemes da Silva¹

Gabriela Oliveira Sales¹

Gustavo Gomes de Borba¹

Henrique Lopes Rocha Lima¹

Leonardo Nobrega de Souza¹

Orientadoras: Prof. Dra. Aline Alves Ramos e Prof. Esp. Thais Taciano dos Santos

RESUMO

A indústria têxtil contribui significativamente para a contaminação dos corpos d'água por corantes, tratando-os, geralmente, com coagulantes metálicos que apresentam riscos à sociedade. Diante disso, evidencia-se a necessidade de alternativas sustentáveis para o tratamento desses efluentes. Nesse contexto, este trabalho propõe o reaproveitamento da borra de café — resíduo abundante e sem valor comercial — na produção de um coagulante orgânico à base de taninos, com o objetivo de tratar água contendo o corante Disperse Yellow 211. A extração dos taninos foi realizada em autoclave a 120°C por 1h30, e a quantificação dos polifenóis totais pelo método da 4-aminoantipirina indicou 16,33 ± 0,28 mg GAE/g da borra. O agente coagulante foi obtido pela reação de Mannich. Os ensaios de coagulação foram conduzidos em triplicata, sendo a remoção média de turbidez de 63,33 ± 0,64%, abaixo do descrito pela literatura, e havendo acidificação do meio, indicativo da necessidade de correção do pH após o processo de coagulação. Conclui-se, portanto, que é possível reaproveitar a borra para obter um agente coagulante para remoção deste corante da água, sendo necessário, contudo, estudar o efeito de diferentes condições de coagulação a fim de otimizar a eficácia da remoção.

Palavras-chave: borra de café, coagulante, taninos.

ABSTRACT

The textile industry contributes significantly to the contamination of water bodies by dyes, generally treating them with metallic coagulants that pose risks to society. Given this, there is a need for sustainable alternatives for the treatment of these effluents. In this context, this study proposes the reuse of spent coffee grounds — an abundant waste product with no commercial value — in the production of an organic tannin-based coagulant, for the treatment of water containing Disperse Yellow 211 dye. The tannins were extracted in an autoclave at 120°C for 1h30, and the quantification of total polyphenols by the 4-aminoantipyrine method indicated 16.33 ± 0.28 mg GAE/g of spent coffee grounds. The coagulating agent was obtained through the Mannich reaction. The coagulation tests were conducted in triplicate, with an average turbidity removal of 63.33 ± 0.64%, results below the ones described in the literature, and acidification of the medium, indicating the need for pH correction after the coagulation process. It can therefore be concluded that it is possible to reuse the spent coffee grounds to obtain a coagulating agent for removing this dye from water. However, it is necessary to study the effect of different coagulation conditions in order to optimize the effectiveness of removal.

Keywords: spent coffee grounds, coagulants, tannins.

¹ Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina
Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil
* anacarinabrt@gmail.com

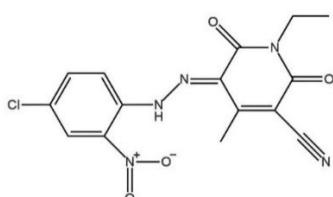
1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil apresenta grande importância para a economia nacional e mundial. Em 2023, as exportações do setor têxtil brasileiro foram responsáveis por arrecadar cerca de R\$ 203,9 bilhões para a economia do país (ABIT, 2024). No entanto, trata-se também de um dos setores que mais consome água, principalmente na etapa de tingimento, na qual cerca de 50 a 100 L de água residual contaminada com corantes é gerada por quilo de tecido (ARSLAN-ALATON; GURSOY; SCHMIDT, 2008).

Os corantes são definidos como substâncias capazes de se fixar a um substrato conferindo a ele cor por meio do grupo cromóforo (ZOLLINGER, 2003), sendo geralmente orgânicas, solúveis em água e amplamente utilizadas nas mais diversas indústrias tais como alimentícia, têxtil e cosmética (KHELIFI et al., 2009). Suas estruturas químicas podem ser classificadas segundo o modo de fixação, cor e principais grupos funcionais presentes: nitrofenol, nitrosofenol, azo, trifenilmetano, antraquinona, ftalocianina, indigóides etc.

Dentre as diversas classificações de corantes, há os corantes dispersos, suspensões aquosas finas de compostos orgânicos com solubilidade reduzida em água, que originalmente foram produzidas a fim de colorir tecidos hidrofóbicos como poliésteres, acetato de celulose, acrílico e nylon (YAMANAKA; ZANONI, 2016). A esta classe pertence o corante Disperse Yellow 211, cuja estrutura está representada na Figura 1, tem sua fórmula molecular $C_{15}H_{12}ClN_5O_4$ e massa molar de 361,74 g. mol⁻¹.

Figura 1: estrutura molecular do corante Disperse Yellow 211



Fonte: adaptado de BUENO (2023)

Além de alterar a aparência natural de corpos d'água (SILVA et al., 2025), a presença de corantes em ambientes aquáticos minimiza a luz que penetra o meio e consequentemente compromete a atividade fotossintética, o que acarreta na deterioração da qualidade da água e em impactos à fauna (LALNUNHLIMI; KRISHNASWAMY, 2016). Ademais, os produtos da degradação dos corantes podem ser considerados cancerígenos (CAVALCANTE et al., 2023).

Diante disso, o decreto nº8.468/76 de São Paulo, estabelece, através do artigo 19, que para o lançamento de efluentes nos corpos receptores, as condições destes devem se adequar aos parâmetros de pH, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), e outros. Assim, processos físico-químicos e biológicos devem ser aplicados a fim de atender aos padrões estabelecidos (SILVA et al., 2023). Nesse sentido, atualmente, há diversas técnicas para remoção de corantes de efluentes a fim de diminuir o impacto ambiental destes, dentre elas: a fotocatálise, a adsorção, tratamento biológico e a coagulação e flocação (HACHEMAOUI et al., 2020).

A coagulação consiste na adição de um agente químico capaz de desestabilizar sistemas coloidais pela redução das forças de repulsão que tendem a manter as partículas separadas e dispersas (FAYE; ZHANG; YANG, 2017; QASIM et al., 2000). Após a coagulação, as partículas coloidais dispersas em água formam agregados chamados flocos, no processo de flocação, os quais sedimentam devido à gravidade (AYYALA; FORSSBERG; PUGH, 1993), possibilitando a remoção de turbidez e poluentes do efluente (HASAN; MUHAMMAD; ISMAIL, 2020). Um agente coagulante é a substância responsável por induzir o processo de coagulação.

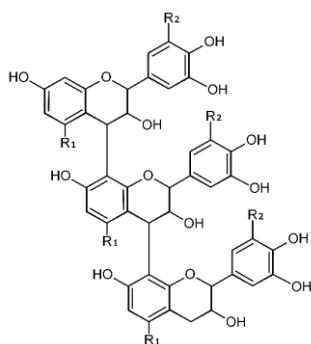
Tradicionalmente, são empregados coagulantes inorgânicos, especialmente sais de alumínio e ferro, sendo sulfato de alumínio, cloreto de polialumínio (PAC), sulfato de ferro (II), cloreto de ferro (III) e aluminato de sódio os mais empregados (GUZMÁN; ÁNGEL; GARCÍA, 2013) devido à sua efetividade, facilidade de operação e custo relativamente baixo (TEH et al., 2016). Contudo, há uma problemática associada a esses coagulantes, como a geração de grande volume de lodo residual contaminado por hidróxidos metálicos tóxicos, que fornecem riscos à saúde e dificultam o descarte adequado, e os riscos neurológicos, como Alzheimer, associados ao alumínio residual na água tratada (QASEM; MOHAMMED; LAWAL, 2021; BÉRUBÉ; DOREA, 2008). Tais desvantagens apontam para a necessidade de buscar compostos alternativos e menos prejudiciais, como os taninos.

Taninos são compostos orgânicos polifenólicos de elevada massa molecular, cujas propriedades químicas permitem sua modificação para a síntese de coagulantes catiônicos que, além da baixa toxicidade (CRUZ, 2004), possuem a capacidade de remover resíduos metálicos (NEPOMUCENO et al., 2018; SKORONSKI et al., 2014). Ainda, estes compostos naturalmente formam complexos estáveis com proteínas e macromoléculas (JORGE et al., 2001).

Sua grande reatividade e alto potencial de interações se devem à sua estrutura fenólica, que permite a formação de ligações de hidrogênio, assim como interações intra e intermoleculares (MONTEIRO et al., 2005). Os taninos podem, assim, ser classificados de duas formas com base em sua estrutura química: os taninos condensados ou proantocianidinas, responsáveis por mais de 90% da produção mundial, e os taninos hidrolisáveis (SKORONSKI et al., 2014).

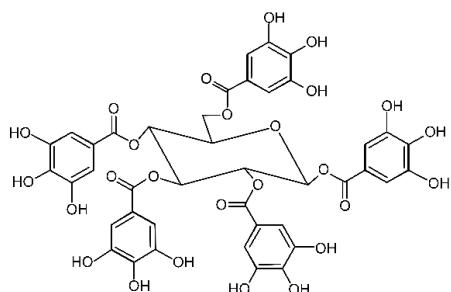
Os taninos condensados são polímeros derivados de compostos como o flavan-3-ol e o flavan-3,4-diol (MONTEIRO et al., 2005). Suas principais propriedades relacionam-se justamente à formação de complexos com macromoléculas (COSTA et al., 2008). Já os taninos hidrolisáveis são formados por ésteres de ácidos fenólicos, como o ácido gálico e o ácido elágico que, após uma esterificação, se ligam a açúcares por meio de grupos hidroxila. Nas figuras 2 e 3, as estruturas de taninos condensados e hidrolisáveis são exemplificadas, respectivamente.

Figura 2: exemplo de estrutura de taninos condensados.



Fonte: adaptado de MANGRICH et al (2014)

Figura 3: exemplo de estrutura de taninos hidrolisáveis.



Fonte: adaptado de COSTA et al (2008)

Os agentes coagulantes à base de taninos são classificados como polieletróliticos, isto é, polímeros constituídos por extensas cadeias moleculares que apresentam sítios com cargas positivas ou negativas, com capacidade de adsorção de partículas ao seu redor (GUZMÁN; ÁNGEL; GARCÍA, 2013). O mecanismo de coagulação dos polieletróliticos não envolve reações de neutralização para formação de complexos gelatinosos, portanto, esse processo

apresenta menor dependência da faixa da alcalinidade da água em relação a agentes coagulantes metálicos (FAYE; ZANG; YANG, 2017).

No que diz respeito à sua eficácia, Ströher e colaboradores (2013) obtiveram remoção de 95,2% de cor, 98,4% de turbidez e 60,5% da matéria orgânica de efluente proveniente da lavagem de jeans ao utilizar o coagulante tanino comercial. Já Gonçalves (2015), aplicando o mesmo agente coagulante, atingiu remoção de 90% para cor aparente, 96,90% para turbidez, 61,4% para DQO e 94,1% para SST (sólidos suspensos totais).

Além da eficácia, outras vantagens do uso de coagulantes à base de taninos, em relação aos agentes metálicos, podem ser pontuadas. Em oposição aos sais metálicos, os coagulantes catiônicos não geram resíduos tóxicos como hidróxidos metálicos (GIROTTI et al., 2021) e não causam problemas de corrosão (FAYE; ZANG; YANG, 2017). Ademais, geram lodos biodegradáveis e menos volumosos sendo que a quantidade gerada por estes corresponde a cerca de 20 a 30% do que é gerado pelos coagulantes metálicos (SARANYA; RAMESH; GANDHIMATHI, 2013).

No que diz respeito à fonte desses compostos, os taninos encontram-se distribuídos em materiais vegetais diversos, sendo comercialmente obtidos da *Acacia mearnsii* e de *Schinopsis balansae* (ABREU; JÚNIOR, 2018). Ainda, a planta do café (*Coffea arabica*) e os subprodutos de seu processamento configuram fontes de taninos (MURTHY; NAIDU, 2010). A borra do café, tal qual a casca de seus frutos, apresenta cafeína, ácidos clorogênicos e taninos (VEGRO; CARVALHO, 2006). Uma vez que o processo de preparação de uma xícara de café extrai menos de 1% dos compostos nele presentes (PIRES; GEWANDSZNAJDER, 2020), a borra configura uma fonte de potencial de taninos.

Estimativas apontam que cerca de 9 bilhões de quilos de café sejam consumidos anualmente no mundo (PIRES; GEWANDSZNAJDER, 2020), o que implica na geração de grandes quantidades de borra. No entanto, a presença de taninos no resíduo do preparo desta bebida limita seu reaproveitamento como alimento para ruminantes ou adubo, em função de sua toxicidade à microbiota animal e microrganismos do solo quando em altas concentrações (SOCCOL, 2002). Assim sendo, a borra do café é um resíduo atualmente subutilizado, porém, de alto valor agregado sob a perspectiva da obtenção de coagulantes orgânicos.

Tendo em mente a eficácia de agentes coagulantes derivados de taninos, o objetivo do

presente trabalho foi obter coagulantes à base de taninos extraídos da borra de café para remoção do corante amarelo disperso na água.

2 METODOLOGIA

2.1. MATERIAIS

Os reagentes utilizados no desenvolvimento desta metodologia, juntamente com suas fórmulas químicas, estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1: reagentes e suas respectivas fórmulas químicas.

Reagente	Fórmula molecular
Acetato de sódio	C ₂ H ₃ O ₂ Na
Ácido gálico	C ₇ H ₆ O ₅
4-Aminoantipirina	C ₁₁ H ₁₃ N ₃ O
Água destilada	H ₂ O
Borra de café	-
Cloreto de amônio	NH ₄ Cl
Cloreto de ferro (III) hexahidratado	FeCl ₃ • 6H ₂ O
Corante Disperse Yellow 211	C ₁₅ H ₁₂ CIN ₅ O ₄
Ferricianeto de potássio	K ₃ [Fe(CN) ₆]
Formaldeído	CH ₂ O
Solução tampão pH 10	NH ₃ /NH ₄ Cl
Trietanolamina	C ₆ H ₁₅ NO ₃

Fonte: do próprio autor, 2025.

Para realizar as análises descritas ao longo do projeto foram utilizados os equipamentos: Balança analítica modelo AG200, marca Gehaka® (São Paulo, Brasil); Estufa de secagem, marca Novatecnica® (São Paulo, Brasil); Espectrofotômetro modelo 1600UV, marca Novalnstruments® (São Paulo, Brasil). Manta de aquecimento modelo NI 1012, Marca Novalnstruments® (São Paulo, Brasil); Nanobomba de aquário submersa, marca Amicus® (Minas Gerais, Brasil); capela de exaustão, marca Quimis® (São Paulo, Brasil); pHmetro, modelo PG1800, marca Gehaka® (São Paulo, Brasil); Pipeta automática, marca Peguepet® (São Paulo, Brasil); Turbidímetro de bancada, Casa do Laboratório® (São Paulo, Brasil).

Ademais, foram também utilizados os seguintes materiais: argolas, balão de fundo redondo de 250 mL, balões volumétricos de 50 mL, 10 mL e 5 mL, bastão de vidro, bêqueres, condensador de bolas, cubetas de plástico, fitas universais de pH, funis, erlenmeyers de 250 mL, espátulas de aço inox pipetas pasteur, papel de filtro, papel alumínio,

suporte universal, tubos de ensaio, garra, mangueiras de silicone.

2.2. MÉTODOS

2.2.1 Extração de taninos

A borra de café proveniente do consumo doméstico foi armazenada e disposta em uma bandeja e submetida a aquecimento em estufa a 100°C por três dias, a fim de retirar a umidade presente. Após a secagem, a borra foi armazenada em um frasco com tampa.

Para a extração dos taninos, cerca de 10 g da borra seca foram adicionados a 150 mL de água destilada em um erlenmeyer, os quais foram cobertos com papel alumínio e submetidos a autoclave por um período de 1h30 a temperatura de 120°C. Após isso, foi realizada uma filtração simples a fim de remover a borra residual (GUEDES, 2024). Os extratos foram mantidos em geladeira.

2.2.2 Análise qualitativa do extrato

Para confirmação da presença de taninos nos extratos, 2 mL do extrato foi transferido para um tubo de ensaio, ao qual adicionou-se 1 g de acetato de sódio. Os tubos foram agitados até que o sal se dissolvesse. Então, 5 gotas de uma solução de cloreto de ferro (III) a 1% foram adicionadas ao tubo (SULASMI et al., 2019).

2.2.3 Análise quantitativa do extrato

- **Preparo de soluções padrão de ácido gálico**

Para a quantificação de polifenóis totais nos extratos por meio do método da 4-aminoantipirina, uma solução estoque de ácido gálico (ácido 3,4,5-trihidroxibenzóico) a 1 g.L⁻¹ foi preparada. Então, cinco soluções, nas concentrações de 100, 75, 50, 25 e 10 mg.L⁻¹, foram preparadas através da diluição dos respectivos volumes da solução estoque para balões volumétricos de 10 mL: 1000, 750, 500, 250 e 100 µL.

- **Diluição das amostras de extratos**

Com o auxílio de uma pipeta automática, 1000 µL do extrato foram transferidos para um balão volumétrico de 5 mL, o qual foi completado com água destilada.

- **Preparo das soluções padrão e amostras**

As soluções estoque e os extratos diluídos foram transferidos para tubos de ensaio identificados. Então, o pH foi ajustado com uma solução tampão até o valor de 10. Em seguida, houve a adição de 200 µL da solução de 4-aminoantipirina a 3%, 2000 µL da solução de

$K_3[Fe(CN)_6]$ a 2%. Os tubos foram agitados a cada adição. Para a solução em branco, o volume de 10 mL de água destilada substituiu o volume de solução padrão. (GRANJA, 2014)

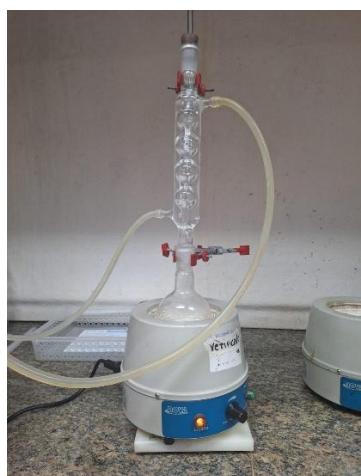
• Análise espectrofotométrica

As soluções padrão, branco e as amostras foram transferidas para cubetas plásticas. Foi realizada uma análise espectrofotométrica nos comprimentos de onda 400-500 nm utilizando a solução padrão a 50 mg.L⁻¹ contra a solução em branco. O comprimento de onda de máxima absorbância foi selecionado para a leitura dos padrões e amostras.

2.2.4 Obtenção do agente coagulante

Para a obtenção do agente coagulante à base de taninos, inicialmente é preciso obter a base de Mannich. Com este fim, 5,4 g de cloreto de amônio e 24,4 g de formaldeído foram adicionados em um balão de fundo redondo de 250 mL que, então, foi aquecido a 80°C durante 2 horas em uma manta aquecedora utilizando o sistema apresentado na figura 4. Após isso, foi realizada uma análise visual buscando uma coloração amarelo claro, indicativa da formação da base de Mannich (KONRATH; FAVA, 2006)

Figura 4: sistema utilizado para obtenção da base de Mannich.



Fonte: do próprio autor, 2025.

Então, 28,0 g do extrato da borra de café diluído a 50% foi adicionado à base de Mannich. A mistura reagiu durante 30 minutos a 60°C. Por fim, foram adicionados 0,2 g de trietanolamina, deixando a mistura reagir durante 3 horas a 50°C no mesmo sistema empregado anteriormente (ANJOS et al., 2024; DE AZEVEDO et al., 2024).

Para confirmar se a reação havia se completado, foram avaliados a densidade e o pH dos coagulantes obtidos a partir dos extratos de borra de café. Para tanto, um balão volumétrico de 10 mL previamente calibrado foi pesado em balança analítica, preenchido com o tanino

cationizado e novamente pesado. Um phmetro devidamente calibrado foi utilizado para análise do pH.

2.2.5 Ensaios de coagulação

A fim de avaliar a eficácia dos agentes coagulantes produzidos, foram preparadas suspensões do corante Disperse Yellow 211 a 100 mg.L⁻¹.

A 50 mL da suspensão de corante foram adicionados 2 mL do coagulante à base de taninos preparado anteriormente. Os sistemas de coagulação foram mantidos sob agitação magnética por 30 minutos (STRÖHER et al., 2013). Por fim, os sistemas foram deixados em repouso por 24 h para sedimentação dos flocos. Os ensaios de coagulação foram feitos em triplicatas, havendo também um ensaio controle, que não recebeu o coagulante. Amostras de 10 mL do sobrenadante clarificado foram coletadas após o processo de coagulação.

A fim de avaliar a eficácia do coagulante à base de taninos desenvolvido, foram avaliados os parâmetros físico-químicos de pH e turbidez das amostras de suspensão de corante não tratada e do sobrenadante coletado após a coagulação.

• pH

Para avaliação do pH, utilizou-se um pHmetro calibrado para leitura das amostras obtidas dos sistemas de coagulação (LOPES, 2014)

• Turbidez

Foram lidas as amostras coletadas antes e após a aplicação do coagulante à base de taninos, assim como a suspensão controle, em um turbidímetro previamente calibrado (SILVA, 2025).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Extração de taninos

Os extratos da borra de café apresentaram coloração castanha-escura e aspecto similar ao do café, conforme apresentado na figura 5. Ademais, foi percebido o odor característico do café assim que os extratos foram retirados da autoclave.

Figura 5: lotes 1 e 2 após extração em autoclave.



Fonte: do próprio autor, 2025.

3.2 Análise qualitativa do extrato

Os resultados dos testes qualitativos para a confirmação da presença de polifenóis são apresentados na figura 6.

Figura 6: comparativo entre os lotes 1 e 2, respectivamente, de extratos antes e após o teste qualitativo do cloreto de ferro III



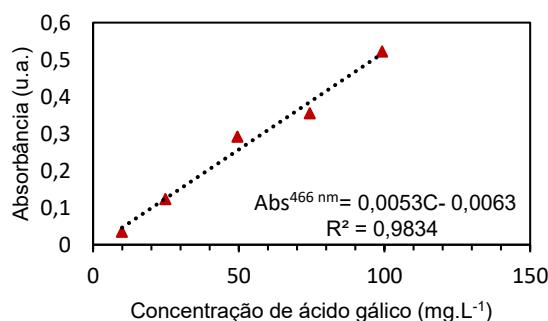
Fonte: do próprio autor, 2025.

A aparição de uma coloração escurecida nos extratos após a adição do cloreto de ferro III confirma a presença de taninos provenientes da borra de café nos dois lotes de extratos, já que estes compostos têm como propriedade a oxidação por influência de metais, como o íon de ferro III, o que provoca o escurecimento das soluções (MELLO; SANTOS, 2001).

3.3 Análise quantitativa do extrato

Através da análise espectrofotométrica, determinou-se que a maior absorbância foi registrada utilizando o comprimento de onda de 466 nm, o qual foi selecionado para a construção de uma curva analítica, apresentada na figura 7, em que o eixo x apresenta a concentração de ácido gálico (mg.L^{-1}) e o eixo y, a absorbância (u.a.).

Figura 7: Curva analítica obtida a 466 nm para o padrão de ácido gálico



Fonte: do próprio autor, 2025.

O ácido gálico foi utilizado como padrão analítico para este método quantitativo uma vez que na presença de agentes oxidantes em meio alcalino, a 4-aminoantipirina reage com compostos fenólicos gerando complexos coloridos (SALES; SCHOOONEN, 2002), possibilitando a análise colorimétrica.

Por meio da equação da reta, foi possível determinar os teores de polifenóis totais, expressos em mg de equivalente de ácido gálico por grama da borra (mg GAE/g), os quais são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: concentração de polifenóis totais em equivalente de ácido gálico em lotes de extrato de borra de café.

Lote do extrato	Teor de polifenóis totais (mg GAE/g)
1	16,14
2	16,53
Média	16,33 ± 0,28

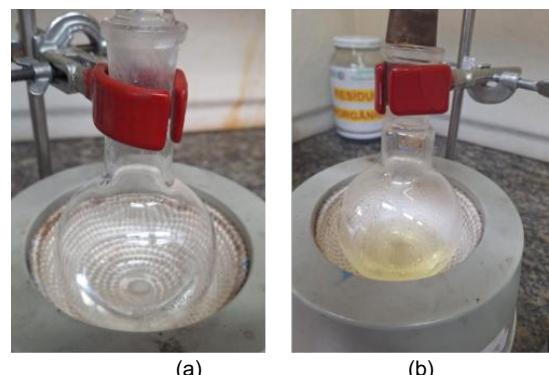
Fonte: do próprio autor, 2025.

Os valores encontrados para os teores de polifenóis totais na borra de café são similares aos resultados encontrados por Panusa e colaboradores (2013), de 6,33 a 19,62 mg GAE/g, bem como o de Seo e Park (2018) 16,52 ± 0,38 mg GAE/g, que sugerem a borra de café como uma fonte alternativa e natural de compostos fenólicos.

3.4 Obtenção do agente coagulante

Após o fim do aquecimento da mistura de amônio e formaldeído, primeira etapa da reação de Mannich, a solução adquiriu uma coloração amarelada, conforme ilustrado na figura 8. A obtenção da base de Mannich leva à formação do íon imínio, responsável pela aminometilação (MANGRICH et al., 2014).

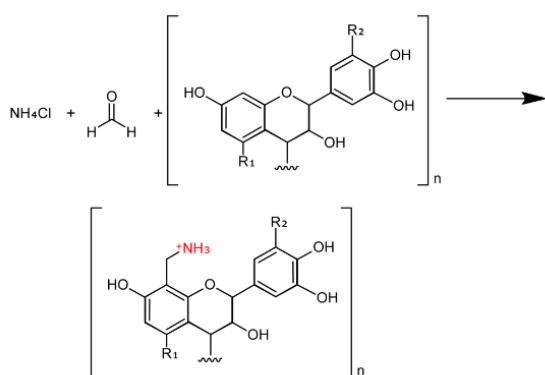
Figura 8: comparativo entre aspecto inicial (a) e final (b) da base de Mannich



Fonte: do próprio autor, 2025.

Na etapa seguinte, foi adicionado à base de Mannich o extrato da borra de café, promovendo a reação química representada pela equação da figura 9, tendo como produto o tanino cationizado, capaz de desestabilizar sistemas coloidais (GIROLETTI et al., 2022).

Figura 9: equação para obtenção de polímero orgânico cationônico por meio da reação de Mannich.



Fonte: adaptado de MANGRICH et al., 2014.

Para a caracterização dos taninos cationizados, foram avaliados a densidade e o pH do coagulante produzido, sendo os resultados apresentados na tabela 3.

Tabela 3: características dos lotes de taninos cationizados.

Lote do extrato	pH registrado	Densidade (g.cm ⁻³)
1	2,03	1,022
2	2,01	1,025
Média	2,02 ± 0,01	1,023 ± 0,002

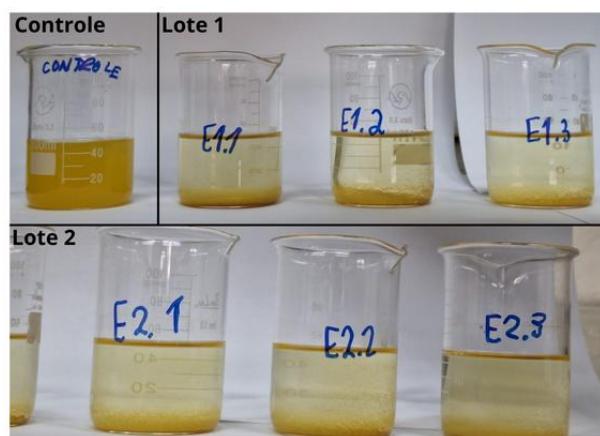
Fonte: do próprio autor, 2025.

Os valores encontrados para a densidade e o pH de ambos os lotes dos agentes coagulantes estão próximos aos descritos na literatura, de 1,1 g.cm⁻³ (ABOULHASSAN et al., 2016) e de 1,5 a 2,5 respectivamente (KONRATH; FAVA, 2006), o que indica a eficácia da reação de Mannich.

3.5 Ensaio de coagulação

Após os ensaios de coagulação, observou-se inicialmente o aspecto dos corpos de prova dos dois lotes, havendo um sobrenadante de aspecto mais translúcido e de cor menos intensa e a presença de sólido amarelo decantado nos bêqueres que receberam o coagulante na proporção 1:25, em relação à suspensão controle, conforme observa-se na figura 10.

Figura 10: comparativo visual entre o ensaio de controle e corpos de prova dos lotes 1 e 2



Fonte: do próprio autor, 2025.

Com o intuito de determinar a eficácia do coagulante à base de taninos, foram avaliados os parâmetros físico-químicos de turbidez e pH.

• Turbidez

A fim de calcular a porcentagem de remoção da turbidez, T(%), foi utilizada a equação 1, descrita a seguir.

$$T(\%) = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que T_i corresponde à turbidez inicial, e T_f à turbidez final. Os valores médios de remoção de turbidez para os lotes, com ensaios realizados em triplicatas, são apresentados na tabela 4.

Tabela 4: remoção de turbidez média para lotes de coagulante à base de taninos.

Lote	Remoção de turbidez (%)
1	62,92 ± 0,98 %
2	63,75 ± 0 %
Média	63,33 ± 0,64 %

Fonte: do próprio autor, 2025.

Os porcentuais de remoção de turbidez corroboram com a análise visual descrita no item 3.5.

Contudo, a redução da turbidez associada à aplicação do agente coagulante à base de taninos está abaixo dos valores de 98,4%, encontrado por Ströher e colaboradores (2013), e 96,90%, descrito por Gonçalves (2015), o que pode estar associado à dosagem de coagulante utilizada, uma vez que a remoção do corante é elevada na medida em que há o aumento dos sítios positivos responsáveis por desestabilizar o sistema coloidal (WANG et al., 2014).

Ainda, a eficácia de remoção de turbidez reduzida em relação aos valores apontados pela literatura pode estar relacionada com as condições de pH iniciais dos corpos de prova, uma vez que a eficácia de um agente coagulante é dependente da sua aplicação dentro da faixa de pH ideal (JÚNIOR, MOREIRA, 2011), a qual, para coagulantes

orgânicos, depende do caráter catiônico, aniónico, poli iônico e não iônico destes (GIROLETTI, 2021)

- pH

Os valores de pH encontrados com auxílio de um pHmetro são apresentados na tabela 5.

Tabela 5: pH registrado para amostras da suspensão de corante coletadas após ensaio de coagulação.

Lote	pHmetro
1	2,55 ± 0,02
2	2,53 ± 0,01
Média	2,54 ± 0,01

Fonte: do próprio autor, 2025.

Após o tratamento das suspensões de corante com o coagulante, o valor de pH nos corpos de prova foi reduzido de 5,85 para a média de 2,54 ± 0,01. A redução de pH é justificada, devido ao caráter ácido do agente coagulante (SILVA, 2025) conforme descrito no item 3.4. Entretanto, o artigo 19 do decreto nº 8.468/76 estabelece que o efluente somente pode retornar ao corpo receptor caso o valor de pH se encontre entre 6,0 e 10,0. Dessa forma, seria necessária uma correção de pH posterior ao processo de coagulação e decantação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados, o método da 4-aminoantipirina evidenciou que a borra de café *Coffea arabica* se apresenta como uma fonte alternativa de taninos e de outros compostos fenólicos, apresentando o teor de polifenóis de 16,33 ± 0,28 mg GAE/g, o que possibilita um destino alternativo a este resíduo. O agente coagulante obtido apresentou pH de 2,02 ± 0,01 e densidade de 1,023 ± 0,02 g.cm⁻³, valores indicativos da eficácia da reação de Mannich.

O agente coagulante produzido apresentou remoção média de turbidez de 63,33 ± 0,64%, abaixo do descrito pela literatura, o que pode estar relacionado às condições em que coagulação foi promovida, como pH e dosagem do agente coagulante. Houve a redução do pH dos corpos de prova, o que tem relação com o caráter ácido do agente coagulante, indicando a necessidade de correção de pH posterior à coagulação e decantação.

Assim, com o objetivo de explorar com maior eficácia as capacidades coagulantes dos taninos extraídos da borra de café, é necessária a realização de outros lotes e da avaliação da possibilidade de aplicação dos taninos sobre outros corantes, bem como de efluentes têxteis reais. Da mesma forma, são relevantes estudos referentes à ajustes de condições para otimizar a coagulação, como pH, dosagem do coagulante e tempo de decantação, a fim de que esse coagulante biodegradável seja mais eficaz como uma alternativa aos coagulantes metálicos já utilizados no tratamento de efluentes industriais.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são dedicados à Escola Técnica Estadual Irmã Agostina e a todos seus docentes, em especial às orientadoras Thais Taciano dos Santos e Aline Alves Ramos, por todo suporte e apoio durante o desenvolvimento deste projeto.

REFERÊNCIAS

ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. **Perfil do Setor.** 2024. Disponível em: < <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor> > Acesso em 16 de mar. 2025.

ABOULHASSAN, M. A. et al. Coagulation efficacy of a tannin coagulant agent compared to metal salts for paint manufacturing wastewater treatment. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 41, p. 19199-19205, 2016.

ABREU, F.O.M.S.; JÚNIOR, L. **Produtos naturais utilizados como coagulantes e floculantes para tratamento de águas: uma revisão sobre benefícios e potencialidades.** Revista Virtual de Química, v. 10, n. 3, 2018.

ANJOS, B. F. dos et al. **Assessment of chemically modified vegetable tannins as coagulants for water treatment.** Revista Ambiente & Água, v. 19, p. e2985, 2024.

ARSLAN-ALATON I; GURSOY BH; SCHMIDT, J.E. **Advanced oxidation of acid and reactive dyes: Effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes.** Dyes and Pigments78 (2), 117-130, 2008.

AYYALA, S.; FORSSBERG, E.J.; PUGH, R.J. **Aggregate characteristics in coagulation and flocculation.** Mineral Procesing and Extractive Metallurgy Review, v. 12, n. 2-4, p. 165-184, 1993.

BÉRUBÉ, D.; DOREA, C. C. **Optimizing alum coagulation for turbidity, organics, and residual Al reductions.** 2008.

BUENO, L. M. M. G. **Carvão ativado a partir de resíduo têxtil: síntese, caracterização e aplicação na remoção de corante reativo e disperso em efluente têxtil.** 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2023.

CAVALCANTE, P. R. A. et al. **Mapeamento das pesquisas científicas sobre análises ecotoxicológicas com zebrafish (*Danio rerio*) em efluentes têxteis entre os anos de 2011 e**

2021. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 19, n. 4, 2023.

CETESB – Companhia ambiental do estado de São Paulo. **Decreto nº 8.468.** Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, SP, 08 de setembro de 1976.

COSTA, C. T. C. et al. **Taninos e sua utilização em pequenos ruminantes.** 2008.

CRUZ, J. G. H. **Alternativas para a aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial.** Repositório Digital Lume, dissertação, 2004.

DE AZEVEDO, H. B. B. et al. **Viabilidade dos taninos de angico vermelho para o tratamento de efluentes.** Agropecuária Científica No Semiárido, v. 20, n. 1, p. 1-5, 2024.

FAYE, M.C.A.S., ZHANG, Y.; YANG J. **Extracellular polymeric substances and sludge solid/liquid separation under Moringa oleifera and chitosan conditioning: a review.** Environ. Tech. Rev. 2017.

GIROLETTI, C. L. et al. **Extração de tanino de engaço de uva para síntese de coagulante e aproveitamento da biomassa final para obtenção de carvão ativado.** 2021.

GIROLETTI, C. L. et al. **New tannin-based coagulant from grape stems: synthesis, characterization and coagulation tests.** Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ), v. 21, n. 1, 2022.

GONÇALVES, L. V. **Tratamento eletroquímico e físico-químico para efluente de lavanderia industrial têxtil.** 2015, 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

GRANJA, B.S. **Desenvolvimento de metodologia analítica para determinação de compostos fenólicos totais em amostras de bebidas empregando MBTH (3-metil-2-benzotiazolinona hidrazina) como reagente espectrofotométrico.** Dissertação de Mestrado em Química Analítica e Ambiental, Universidade Federal de Alagoas, 2014.

GUEDES, R. C.. **Extração do tanino da casca de Anadenanthera colubrina(Vell.) Brenan e sua utilização como coagulante natural em tratamento de águas residuárias.** 2024. 32 f.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2024.

GUZMÁN, L.V., ÁNGEL, T.C., GARCÍA R. **Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión.** Revista U.D.C.A Actua. Divulg. Cien. [Internet]. 2013.

HACHEMAOUI M, et al. **Composites beads based on Fe₃O₄@MCM-41 and calcium alginate for enhanced catalytic reduction of organic dyes.** International Journal of Biological Macromolecules 164, 468-479, 2020.

HASAN, H. A.; MUHAMMAD, M. H.; ISMAIL, N. **A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources.** 2020.

JORGE, F, C., et al. **Aplicações para as Cascas de Árvores e para os Extractos Taninosos: Uma Revisão.** Silva Lusitana, 9,225-236, 2001.

JÚNIOR, C.; MOREIRA, O. **Tratamento de efluentes da indústria têxtil por coagulação e flocação utilizando polímeros naturais.** 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá.

KHELIFI, E., et al. **Effect of nitrogen and carbon sources on indigo and congo red decolorization by Aspergillus alliaceus strain 121C,** Journal of Hazardous Materials, Tunis, 2009, 1056-1062.

KONRATH, R.A.; FAVA, F.J. **Processo de preparação de um agente floculante à base de extrato vegetal.** BR n. PI 0500471-3 A, 11 fev. 2005, 26 set. 2006.

LALNUNHLIMI S; KRISHNASWAMYV. **Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium.** Brazilian Journal of Microbiology, 2016.

LOPES, B.V. **Eficiência de Coagulantes na Remoção de Diferentes Concentrações de Ferro e Manganês para ETA Terras Baixas.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, Rio Grande do Sul, 2014.

MANGRICH, A.S. et al. **Química verde no tratamento de águas: uso de coagulante derivado de tanino de Acacia mearnsii.** Revista Virtual de Química, v. 6, n. 1, p. 2-15, 2014.

MELLO, J.P.C.; SANTOS, S.C. **Em Farmacognosia: da planta ao medicamento;**

Simões, C.M.O.; Schenckel, E.P., orgs.; Ed. UFSC: Porto Alegre; 3^a ed., 2001.

MONTEIRO, J.M. et al. **Taninos: Uma abordagem a química à ecologia.** Química Nova, São Paulo, v. 28, n. 5, 892-896, 2005.

MURTHY, P. S.; NAIDU, M. M. **Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry by-products.** Food Bioprocess Technol. Original paper, 2010.

NEPOMUCENO, T. C. et al. **Aplicabilidade de coagulantes a base de tanino em estações de tratamento de água.** Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 9, n. 7, p. 110-123, 2018.

PANUSA, A. et al. **Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds.** Journal of agricultural and food chemistry, v. 61, n. 17, p. 4162-4168, 2013.

PIRES, P. F. B.; GEWANDZNAJDER, M. R. **Identificação e avaliação de oportunidades para a valorização da borra do café no município do Rio de Janeiro.** 2020.

QASEM, N.A.A.; MOHAMMED, R.H.; LAWAL, D. U. **Removal of heavy metal ions from wastewater: A comprehensive and critical review.** 2021.qasi

QASIM, S. R.; MOTLEY, E. M.; ZHU, G. **Water works engineering: planning, design, and operation.** Prentice Hall, 2000.

SALES, G.M.; SCHOONEN, J.W. **Determination of polyphenols in wines by reaction with 4-aminoantipyrine and photometric flow-injection analysis.** Analytical and bioanalytical chemistry, v. 372, n. 7, p. 822-828, 2002.

SARANYA, P.; RAMESH, S.T.; GANDHIMATHI, R. **Effectiveness of natural coagulants from non-plant-based sources for water and wastewater treatment.** Desalination and Water Treatment. 2013.

SEO, H.S.; PARK, B.H. **Phenolic compound extraction from spent coffee grounds for antioxidant recovery.** Korean Journal of Chemical Engineering, v. 36, n. 2, p. 186-190, 2019.

SILVA, M. C. R. S. et al. **Avaliação dos impactos ambientais no tratamento de efluentes têxteis que utilizam processos oxidativos avançados (POA): revisão da literatura sob a ótica da análise de ciclo de vida.** Semiárido De Visu, v. 11, n. 2, p. 398-416, 2023.

SILVA, V. C. da. **Avaliação do uso de coagulante orgânico TANFLOC para remoção de contaminante emergente Ibuprofeno.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2025.

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.

SOCCOL, C. R. **Resíduo de café: um substrato promissor para a produção industrial de bioprodutos com alto valor agregado.** In: EMBRAPA-CAFÉ. (Org.). I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. 1 ed. Brasília: EMBRAPA, v. 1, p. 83-98, 2002.

STRÖHER, A.P. et al. **Utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans.** Engevista, v. 15, n. 3, p. 255-260, 2013.

SULASMI, E.S. et al. **Tannin identification of 4 species pterydophyta from Baluran National Park.** In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2019. p. 012002.

TEH, C.Y. et al. **Recent Advancement of Coagulation–Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment.** Industrial & Engineering Chemistry Research55(16), 4363–4389, 2016.

VEGRO, C. L. R.; CARVALHO, F. C. **Disponibilidade e utilização de resíduos gerados no processamento agroindustrial do café.** Inf. Econ., v. 24, p. 9-16, 2006.

WANG, X. et al. **Ultrasonic-assisted synthesis of aminated lignin by a Mannich reaction and its decolorizing properties for anionic azo-dyes.** Rsc Advances, v. 4, n. 53, p. 28156-28164, 2014.

YAMANAKA, H.; ZANONI, M. V. B. **Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento.** 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016.

ZOLLINGER, H. **Color Chemistry.** Synthesis, proprieties and applications of organic dyes and pigments, 3 ed. Weinheim: Wiley-VCH. 2003.