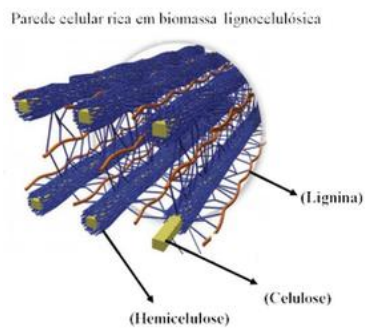
cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO POR PLANEJAMENTO COMPOSTO CENTRAL DAS HEMICELULOSES CATIÔNICAS EXTRAÍDAS DO SABUGO DE MILHO NO TRATAMENTO DE ÁGUA BRUTA

Lara Rocha Silva[1]; Amanda Bessa Freitas[1]; Emanuelle A. de O. Garofalo[2]; Ana Gabriela Tomé[3]; Miriam Maria de Resende[3]; Sheila Cristina Canobre[2]; Fábio A. Amaral[2]
1. Instituto de Ciências Agrárias – UFU; 2. Instituto de Química – UFU; 3. Faculdade de Engenharia Química – UFU.

INTRODUÇÃO

O sabugo de milho representa uma biomassa lignocelulósica abundante, com grande potencial de valorização, sendo composto por 30–35% de hemicelulose, 40–45% de celulose e 10–20% de lignina (AHMED et al., 2023). Nesse contexto, a hemicelulose extraída do sabugo foi utilizada como matéria-prima para a produção, em laboratório, de hemiceluloses catiônicas (HC), um coagulante natural que apresenta solubilidade em água, biodegradabilidade e baixa toxicidade, mostrando potencial como alternativa aos coagulantes convencionais à base de sais de alumínio e ferro.



Celulose 40–45%

Hemicelulose 30–35%

Lignina 10–20%

Figura 1. Parede celular lignocelulósica (adaptado de Brandt et al., 2013) e composição média do sabugo de milho (AHMED et al., 2023).

OBJETIVOS

Aplicar o Planejamento Composto Central (PCC) para otimizar as condições de pH e dosagem das hemiceluloses catiônicas (HC), obtidas do sabugo de milho, no tratamento de água bruta, avaliando a eficiência de remoção de turbidez e o potencial zeta, bem como os mecanismos envolvidos no processo de coagulação.

METODOLOGIA

1. Extração das hemiceluloses do sabugo por deslignificação *OxiOrganosolv* (patente BR 10 2024 006492-5).
2. Cationização por eterificação alcalina com ETA (60 °C, 5 h)
3. *Jar Test* com água bruta do Rio Uberabinha (NBR 12216):
4. PCC no STATISTICA (95% de confiança, 10 ensaios): pH 4,96–12,03 e dosagem 0,43–14,57 ppm;
5. Realização do diagrama de coagulação (Surfer) e potencial zeta (Litesizer).



Figura 2. Equipamento de *Jar Test* com jarros de 500 mL.

$$E\ (\%) = [(Vi - Vf) / Vi] \times 100$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos ensaios preliminares, a remoção de turbidez superou **76%** (15,73 NTU iniciais). No PCC (15,93 NTU), **9 dos 10 ensaios** removeram mais de 77%, com turbidez residual **abaixo de 5 NTU** (Portaria GM/MS 888/2021), exceto a 0,43 ppm.

Tabela 1. Resultados do PCC (PZ = potencial zeta).

Ensaio	pH	Dosagem (ppm)	Remoção (%)	PZ (mV)
1	6	2,5	79,75	−7,982
2	6	12,5	77,20	−3,612
3	11	2,5	82,13	−31,29
4	11	12,5	83,57	−7,794
5	**4,96**	**7,5**	**86,15**	**−4,677**
6	12,03	7,5	85,44	−21,83
7	8,5	0,43	28,03	−6,729
8	8,5	14,57	80,88	−0,064
9 (c)	8,5	7,5	81,07	−19,88
10 (c)	8,5	7,5	84,50	−6,737

(c) ponto central; em destaque, o melhor ensaio.

$$Z = 90{,}6258 - 11{,}3843x + 0{,}6604x^2 + 8{,}3397y - 0{,}4751y^2 + 0{,}08098xy$$

O efeito linear **negativo do pH** indica maior eficiência em pH baixo; o **positivo da dosagem**, que o aumento inicial de HC favorece a remoção. Nenhum termo foi significativo ($R^2 = 0{,}6427$; $p > 0{,}05$), pois os ensaios já estavam em região de alta eficiência.

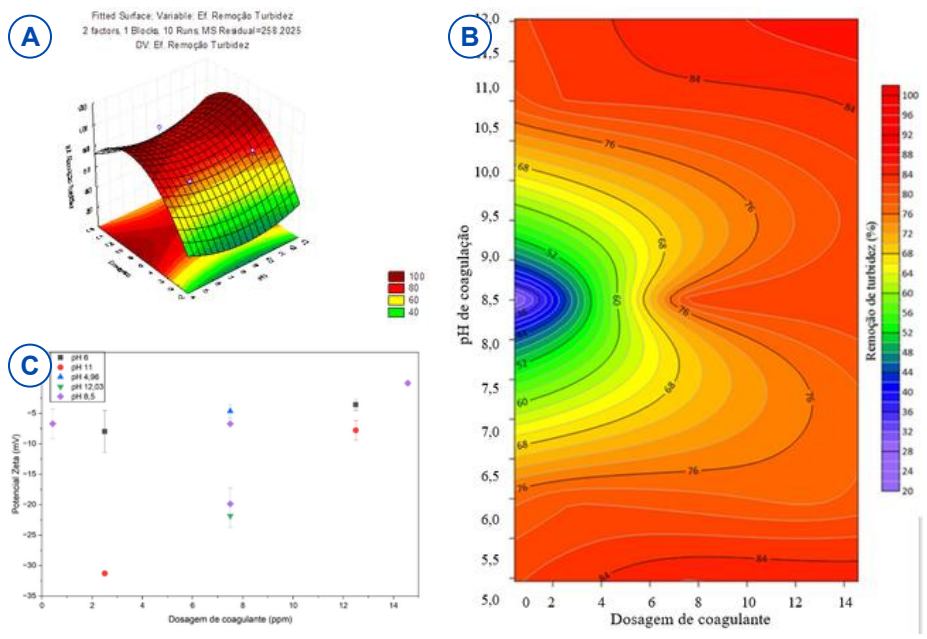


Figura 3. (A) Superfície de resposta 3D; (B) diagrama de coagulação; (C) potencial zeta em função da dosagem de HC, para cada pH.

O melhor ensaio (**86,15%**) teve PZ de **−4,677 mV**, e o de PZ ≈ 0 (−0,064 mV) removeu 80,88%: a agregação não se deu só por **neutralização de cargas**, mas também por **adsorção e formação de pontes** (BENALIA et al., 2024).

CONCLUSÃO

- A HC alcançou 86,15% de remoção de turbidez em pH 4,96 e dosagem de 7,5 ppm.
- O potencial zeta (−4,677 mV) sugere a atuação de mecanismos adicionais à neutralização de cargas, como adsorção e formação de pontes poliméricas.
- O PCC permitiu otimizar o processo com menor número de experimentos e exigiu menos ensaios que os diagramas de coagulação tradicionais.

REFERÊNCIAS E AGRADECIMENTOS

TOMÉ, A. G.; SILVA, L. R.; NAGATOMO, S. S. Y.; AMARAL, F. A. Cationic hemicelluloses derived from corn husk: a sustainable natural-based flocculant for raw water treatment. **Materials Research**, v. 28, n. 1, 2025. DOI: 10.1590/1980-5373-mr-2025-0213.
BENALIA, A. et al. Application of plant-based coagulants and their mechanisms in water treatment: a review. **Journal of Renewable Materials**, v. 12, n. 4, p. 667-698, 2024. DOI: 10.32604/jrm.2024.048306.
AHMED, M. J. et al. Recent progress on corn (*Zea mays* L.)-based materials as raw, chemically modified, carbonaceous, and composite adsorbents for aquatic pollutants: a review. **J. Anal. Appl. Pyrolysis**, v. 172, 106004, 2023.