

I-975 - FORMULAÇÃO DE COAGULANTE ORGÂNICO A PARTIR DE MATÉRIA-PRIMA VEGETAL: COMPOSIÇÕES E PEDIDO DE PATENTE

Emanuel Júnior Silva Soares⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestrando em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (PPG-SHS/EESC/USP).

Maria Gabriella Negromonte Barbosa⁽²⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). MBA em formação em Gestão de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e Sistemas de Esgotos Sanitários (SES) pelo Instituto de Pós-graduação e Graduação (IPOG).

Whelton Brito dos Santos⁽³⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutor em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pela UFCG.

Weruska Brasileiro Ferreira⁽⁴⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutora em Engenharia Química pela UFCG. Professora efetiva do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba (DESA/UEPB).

Endereço⁽¹⁾: Av. Trab. São Carlense, 400 - Parque Arnold Schimidt - São Carlos - SP, CEP: 13566-590 – Brasil – Tel: (83) 999730788 – e-mail: emanuel.junior.902@gmail.com

RESUMO

O setor de saneamento ambiental busca por melhorias nas operações dos sistemas de tratamento de água e efluentes, sendo fundamental a busca por produtos alternativos aos coagulantes de natureza inorgânica, uma vez que esses podem estar associados com malefícios à saúde humana, além de conferir um passivo ambiental pelo lodo tóxico resultante do processo de tratamento. Nesse contexto, os coagulantes orgânicos surgem como alternativa promissora, uma vez que possuem eficiência de tratamento e critérios de sustentabilidade que os tornam viáveis de utilização. Este trabalho apresenta de forma inovadora a formulação de coagulantes orgânicos a partir de blends dos vegetais angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) e *Moringa oleífera* com fins de aplicação no tratamento de água para abastecimento humano, tratamento de efluentes e remediação de corpos aquáticos, bem como informa o pedido de patente da referida tecnologia. A idealização do coagulante orgânico ocorreu em três etapas (i) preparo, extração e síntese do angico vermelho (TM-AG); (ii) preparo e produção do extrato de *Moringa oleífera* (EXT-MO) e (iii) produção de coagulantes em forma de blends. A síntese do angico vermelho foi alcançada de forma satisfatória, a condição mais viável para sintetização contém baixo volume de solvente e elevados tempos de reação. O preparo do extrato de *Moringa oleífera* deu-se de forma simplificada e eficiente. A estruturação dos blends concebeu cinco composições distintas, onde o blend com maior potencial para utilização comercial contém em sua formulação 25% TM-AG e 75% EXT-MO, e obtiveram-se excelentes remoções de parâmetros físico-químicos e microbiológico. A junção do angico vermelho com a *Moringa oleífera* permitiu que o produto contenha características viáveis para aplicação em sistemas de tratamento, como a formação e flocos densos e manutenção do pH da água após a clarificação. Pelo seu critério inovador, foi protocolado junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) o pedido de patente de número BR 102022 0109109.

PALAVRAS-CHAVE: Angico vermelho. *Moringa oleífera*. Blends. Tanino. Lectina. Tratamento.

INTRODUÇÃO

A utilização de agentes coagulantes nos processos de tratamento de água e efluentes é necessária como forma de otimizar a desestabilização das partículas e por consequência obter a formação de flocos com densidade adequada para sedimentação em tempo viável de operação (FERREIRA FILHO, 2021).

No Brasil, frequentemente utilizam-se agentes de natureza química baseados em sais de alumínio. Estudos retratam que esses podem estar associados com malefícios à saúde humana bem como conferir um passivo ambiental a partir do lodo tóxico resultante do processo de clarificação (DYKE et al., 2021; RUSS et al., 2020; LIBÂNIO, 2016; BONGIOVANI et al., 2015).

Dada a problemática, o setor de saneamento ambiental estuda a formulação de coagulantes orgânicos como alternativa aos de natureza inorgânica. Esses agentes são baseados em matéria-prima vegetal, o que resulta em produtos efetivos para águas com distintos valores de pH, geram menor volume de lodo que por sua vez é biodegradável, e não conferem corrosão ao sistema de distribuição (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018; TEIXEIRA et al., 2017).

A literatura retrata o potencial de diversos vegetais com potencial de coagulação, dentre eles a *Acacia mearnsii* (acácia-negra), *Cassia fistula* (pera espinhosa), *Cactus opuntia*, *Anadenanthera macrocarpa* (angico vermelho) e a *Moringa oleífera* todos eles com elevada prevalência no semiárido brasileiro (SOARES et al., 2021; FRANCO et al., 2017; MARTINS et al., 2020; KATALO et al., 2018).

De forma específica, o viés coagulante do angico vermelho baseia-se na presença de taninos que são compostos polifenólicos de alta densidade; esses atuam sobre partículas coloidais neutralizando cargas e formando pontes químicas, o que infere na produção de flocos densos com potencial de sedimentação em curto intervalo de tempo (SANTOS, 2017). Já *Moringa oleífera* apresenta cerca de 40% de uma proteína catiônica de elevado peso molecular (lectina) capaz de desestabilizar as partículas presentes na água e flocular os coloides (JUNG et al., 2018).

Mesmo constatando-se a viabilidade técnica e ambiental dos coagulantes orgânicos, no Brasil seus usos ainda ocorrem de forma discreta, as concessionárias de saneamento mantêm a utilização de coagulantes a base de alumínio que por sua vez não agregam na eficiência do tratamento, reduzem a qualidade do produto final e geram maiores quantidades de lodo (SCHMITT; RODRIGUES; OLIVEIRA, 2021; SOARES et al., 2021; ANG; MOHAMMAD; 2020).

Em pesquisas de anterioridade nos órgãos oficiais de pedido de patente a nível nacional e internacional não constam registros da produção de agentes coagulantes que contenham mais de um vegetal com princípios ativos para coagulação. Porém, tais produtos apresentam viabilidade técnica e ambiental para aplicação em distintos sistemas de tratamento que busquem reduzir a utilização de produtos químicos que possam ser danosos aos consumidores e ao meio ambiente.

Pelo exposto, este trabalho buscou apresentar de forma inovadora a formulação de coagulante orgânico a partir de blends dos vegetais angico vermelho e *Moringa oleífera* com fins de aplicação no tratamento de água para abastecimento humano, tratamento de efluentes e remediação de corpos aquáticos bem como tratar do registro de patente do método de produção.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Referência em Tecnologias de Águas (LARTECA), vinculado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). A água de estudo, empregada na avaliação da sintetização dos taninos e nos ensaios de tratabilidade com os produtos em blend, foi coletada no açude de Bodocongó, localizado no município de Campina Grande, Paraíba, Brasil (7°12'49.02"S 35°54'56.99"W).

A idealização dos coagulantes orgânicos deu-se em três etapas como apresentado na Figura 1.

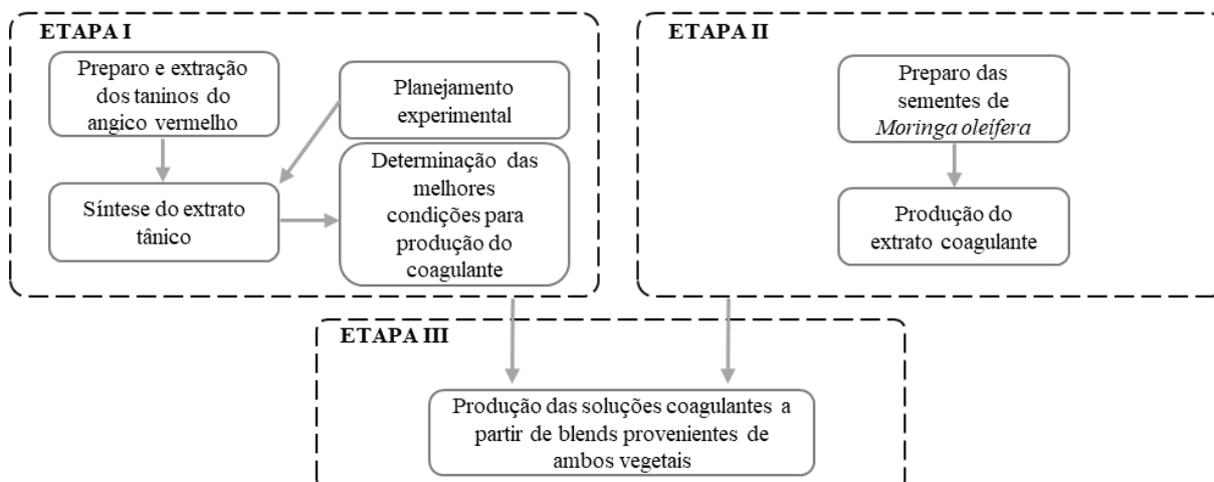


Figura 1: Etapas para formulação do coagulante orgânico.

ETAPA 1 – PREPARO, EXTRAÇÃO E SÍNTESE DO ANGICO VERMELHO

As cascas do angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) foram coletadas de uma propriedade rural, localizada no município de Coxixola, Paraíba (7°37'30"S 36°36'19"W). A extração do tanino ocorreu em autoclave, na temperatura entre 70 e 135°C com tempo entre 20 e 80 min e proporção entre 1:5 e 1:25 (g de casca moída por mL de água destilada), em seguida fez-se filtração e concentração dos extratos líquidos.

A ativação do potencial coagulante dos taninos é dada pela sintetização do tanino para torná-lo catiônico, comumente emprega-se a reação de Mannich que utiliza formaldeído, composto que pode gerar malefícios à saúde (DAN et al., 2020), para que o coagulante fosse isento de formaldeído dispensou-se a utilização dessa reação.

O processo de síntese dos taninos considerou um delineamento composto central (DCCR) com dois fatores: proporção de solvente:extrato de tanino (X_p) e tempo de reação (X_T), as faixas utilizadas fundamentaram-se nos valores empregados por Machado (2020) ao realizar a sintetização do tanino da *Acacia mearnsii* (Tabela 1).

Tabela 1: Níveis dos fatores codificados e não codificados das variáveis independentes.

Fatores		Níveis				
		$-\alpha$	-1	0	1	$+\alpha$
Proporção solvente: extrato	X_p	0,17:1	1:1	3:1	5:1	5,82:1
Tempo de reação (h)	X_T	0,38	1	2,5	4	4,62

O estabelecimento da condição mais favorável para sintetização do tanino deu-se a partir da melhor percepção de flocos e satisfatória remoção de turbidez e estabilização do pH após ensaios de clarificação (coagulação/floculação/decantação) em ensaios de jarrest.

ETAPA 2 – PREPARO E PRODUÇÃO DO EXTRATO DE MORINGA OLEÍFERA

As vagens de *Moringa oleífera* foram colhidas em uma comunidade rural do município de São Vicente do Seridó-PB (6°56'04"S 36°23'57"W). Para a produção do extrato coagulante fez-se a moagem da semente com um gral e pistilo em porcelana, diluição em água destilada na proporção entre 1:15 e 1:35 e agitação entre 50 e 170 rpm em intervalo de tempo de 8 a 18 min; resultando em extrato a 2,5% em relação ao teor de sólidos.

ETAPA 3 – PRODUÇÃO DE COAGULANTES EM FORMA DE BLENDS

O coagulante produzido a base da síntese da casca do angico vermelho e extrato da *Moringa oleífera* foi dado a partir de testes em forma de blends, que constitui em variações das frações de cada vegetal em questão para confecção do produto.

A determinação do melhor blend foi avaliada em ensaios de tratabilidade, considerou-se a maior remoção de cor aparente, turbidez, densidade de cianobactérias e estabilidade do pH após o processo de clarificação.

No tocante ao pedido de patente, este foi protocolado junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), o processo foi intermediado pela Agência de Inovação Tecnológica da UEPB (INOVATEC).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de sintetização do tanino do angico vermelho deu-se de forma satisfatória. Por não utilizar a reação de Mannich o produto apresenta melhor viés sustentável e ampliação nas possibilidades de uso por não conter reagentes como formaldeído.

A condição experimental mais viável para sintetização contém baixo volume de solvente e elevados tempos de reação. Isso permite que o produto contenha menor teor possível de aditivos químicos, e infere na redução de custos em caso de produção em escala industrial.

A Figura 2A retrata a estrutura química genérica do tanino do angico vermelho após o processo de extração. Enquanto a Figura 2B retrata a estrutura do extrato sintetizado, observa-se que agrega-se ao tanino carga positiva, tornando um produto catiônico.

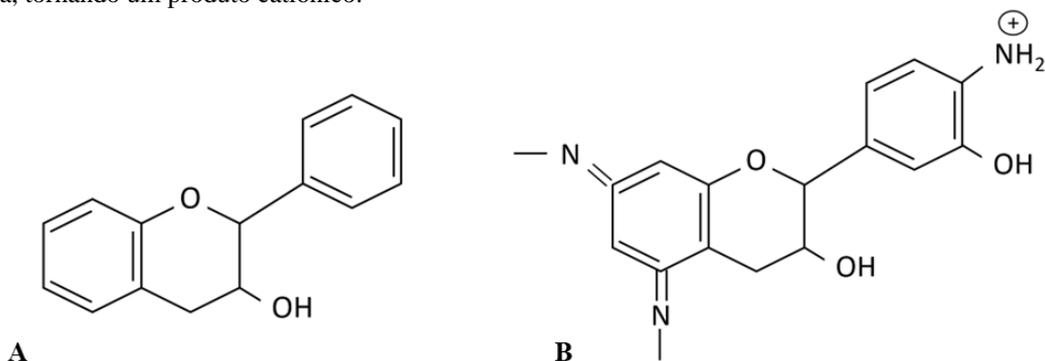


Figura 2: Estrutura genérica do tanino após o processo de extração (A) e sintetização (B).

A produção de coagulantes orgânicos foi alcançada, onde pode-se estruturar de forma viável a composição dos produtos a partir de blends contendo frações do tanino do angico vermelho sintetizado (TM-AG) e extrato da *Moringa oleífera* (EXT-MO). A estruturação dos blends concebeu cinco composições distintas, três delas contendo ambos os vegetais em duas com o TM-AG e o EXT-MO em isolado:

- 100% de extrato de *Moringa oleífera*;
- 25% de tanino sintetizado e 75% do extrato de *Moringa oleífera*;
- 50% de tanino sintetizado e 50% do extrato de *Moringa oleífera*;
- 75% de tanino sintetizado e 25% do extrato de *Moringa oleífera*;
- 100% de tanino sintetizado.

O blend contendo 25% TM-AG e 75% EXT-MO permitiu a remoção de 25,09% da cor aparente após e remoção de 46,62% da turbidez após a clarificação. O EXT-MO em isolado promoveu remoções de 50 e 67,97% da cor aparente e turbidez, respectivamente.

A junção do angico vermelho com a *Moringa oleífera* agregou ao produto maior capacidade de formação de flocos densos e estabilização do pH da água após o processo de clarificação, promovendo remoções



satisfatórias de cor aparente e turbidez em tempos viáveis de operação; tais características não foram observadas nos testes com o TM-AG e o EXT-MO em isolado, o que confirma a viabilidade dos blends.

As composições desenvolvidas apresentaram-se eficientes para aplicação do tratamento de água, com atuação coagulante notória. Salienta-se que a água de estudo provém de um reservatório classe 4 (RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005), com elevado nível de eutrofização.

Com relação à redução da densidade de cianobactérias, o blend contendo 75% TM-AG e 25% EXT-MO removeu 88% das células de cianobactérias, e os extratos e isolados também promoveram excelentes remoções, superiores a 89%.

A possibilidade de reduzir a densidade de cianobactérias a partir da utilização dos coagulantes evidencia o potencial dos produtos desenvolvidos uma vez que as cianobactérias podem gerar e liberar cianotoxinas, logo, removê-las no processo de tratamento é primordial para garantir a qualidade da água que chega ao consumidor.

A estabilidade do pH da água após a clarificação com os coagulantes desenvolvidos nesta pesquisa mostrou que o produto é promissor, uma vez as variações do referido parâmetro após a aplicação dos coagulantes foram insipientes. Estudos realizados por Santos (2017) corroboram os resultados obtidos, essa também constatou que coagulantes a base de material vegetal não alteram o pH da água de forma significativa.

Nos processos convencionais de tratamento que empregam coagulantes de natureza inorgânica isso é uma problemática, já que os agentes coagulantes à base de alumínio tendem a reduzir drasticamente o pH da água ao ponto de ser necessário alcalinizá-la antes de disponibilizar para o consumidor, o que acarreta a elevação dos custos de tratamento.

Devido o critério inovador, o produto resultou em um pedido de patente nº BR1020220109109, intitulada como “Método de extração de coagulante vegetal de *Anadenanthera macrocarpa*, método de extração de coagulante vegetal de *Moringa oleifera*, uso dos coagulantes vegetais, formulação coagulante à base de coagulante vegetal e seu uso”.

CONCLUSÕES

A partir das etapas apresentadas, dada a formulação dos coagulantes orgânicos, pode-se concluir que:

A produção de coagulantes a base de dois vegetais foi alcançada com resultados satisfatórios;

O blend com maior potencial para utilização comercial contém em sua formulação 25% TM-AG e 75% EXT-MO, onde obtiveram-se excelentes remoções de parâmetros físico-químicos e microbiológico;

A junção do angico vermelho com a *Moringa oleífera* permitiu que o produto contenha características viáveis para aplicação em sistemas de tratamento, como a formação e flocos densos e manutenção do pH da água após a clarificação;

A presente pesquisa resultou no pedido de patente nº BR 102022 0109109 junto ao INPI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANG, W. L.; MOHAMMAD, A. W.; State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, v. 262, p. 1-18, 2020.
2. BONGIOVANI, M. C.; CAMACHO, F. P.; VALVERDE, K. C.; SANTOS, T. R. T.; NISHI, L.; BERGAMASCO, R. Evaluation of trihalomethanes formation using combined process coagulation/flocculation/membranes in water treatment. *Chemical Engineering Transactions*, v.43, p.2283-9216, 2015.
3. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 357/2005. Ministério do Meio Ambiente, 2005.
4. DAN, S.; PANT, M.; KAUR, T.; PANT, S. Toxic effect of formaldehyde: a systematic review. *IRJETS*, v. 2, n. 9, p. 179-189, 2020.
5. DYKE, N. V.; YENUGADHATI, N.; BIRKETT, N. J.; LINDSAY, J.; TURNER, M. C.; WILLHITE, G. G.; KREWSKI, D. Association between aluminum in drinking water and incident Alzheimer's disease in the Canadian Study of Health and Aging cohort. *NeuroToxicology*, v. 83, p. 157-165, 2021.
6. FERREIRA FILHO, S. S. Princípios, fundamentos e processos em engenharia ambiental. 1. Ed. São Paulo: SGuerra Design, 2021.
7. FRANCO, C. S.; BATISTA, M. D. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KOHN, G. P.; FIA, R. Coagulação com semente de *Moringa oleífera* preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. *ESA*, v. 22, n. 4, p. 781-788, 2017.
8. JUNG, Y.; JUNG, Y.; KWON, M.; KYE, H.; ABRHA, Y. W.; KANG, J. Evaluation of *Moringa oleífera* seed extract by extraction time: effect on coagulation efficiency and extract characteristic. *Journal of Water and Health*, v. 16, n. 6, p. 904-913, 2018.
9. KATALO, R.; OKUDA, T.; NGHIEM.; FUJIOKA. *Moringa oleífera* coagulation as pretreatment prior to microfiltration for membrane fouling mitigation. *Water Res. Technol.*, v. 10, p. 1-26, 2018.
10. LIBÂNIO, M. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água. 4ed. Campinas: Átomo, 2016.
11. LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. S. Produtos naturais utilizados como coagulantes floculantes para tratamento de águas: uma revisão sobre benefícios e potencialidades. *Revista Virtual de Química*, v.10, n.3, p.709-735, 2018.
12. MACHADO, G.; SANTOS, C. A. B.; GOMES, J.; FARIA, D.; SANTOS, F.; LOUREGA, R. Chemical modification of tannins from *Acacia mearnsii* to produce formaldehyde free flocculant. *Science of The Total Environment*, v. 745, p. 1-10, 2020.
13. MARTINS, R. O.; GOMES, I. C.; TELLES, A. D. M.; KATO, L.; SOUZA, P. S.; CHAVES, A. R. Molecularly imprinted polymer as solid phase extraction phase for condensed tannin determination from Brazilian natural sources. *Journal of Chromatography A*, v. 1620, p. 1-10, 2020.
14. RUSS, T. C.; KILLIN, L. O. J.; HANNAH, J.; BATTY, G. D.; DEARY, I. J.; STARR, J. M. Aluminium and fluoride in drinking water in relation to later dementia risk. *BJPsych*, v. 216, p. 29-34, 2020.
15. SANTOS, A. N. DOS. Desenvolvimento de um coagulante orgânico catiônico preparado com extrato de mimosa para tratamento de água. 2017. 73f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual da Paraíba, CCT, Campina Grande, 2017.
16. SCHMITT, F. O.; RODRIGUES, R. T.; OLIVEIRA, C. Efficacy of two natural tannins-based polymers in contrast to aluminum sulfate for drinking water production. *Cleaner Engineering and Technolog*, v. 3, p. 1-10, 2021.



17. SOARES, E. J. S.; BARBOSA, M. G. N.; ANDRADE, T. C. S.; SANTOS, W. B.; SILVEIRA, T. N.; FERREIRA, W. B. Potencial de vegetais para produção de coagulantes visando aplicação no tratamento de água: revisão sistemática. RICA, v. 12, n. 2, p. 292-302, 2021.
18. TEIXEIRA, M. R.; CAMACHO, F. P.; SOUSA, V. S.; BERGAMASCO, R. Green technologies for cyanobacteria and natural organic matter water treatment using natural based products. Journal of Cleaner Production, v.162, p.484-490, 2017