

## 579 – ESTUDO DAS METODOLOGIAS DE INVESTIGAÇÃO DA *Moringa oleífera* COMO COAGULANTE EM TRATAMENTO DE ÁGUA: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

**Elizabeth R. Halfeld da Costa**<sup>(1)</sup>

Professora Titular do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Engenheira Civil. Doutora e mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

**Patrick Bongonda Intole**<sup>(2)</sup>

Graduando do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

**Valéria Cristina Palmeira Zago**<sup>(3)</sup>

Professora Titular do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Engenheira Agrônoma, mestre e doutora em Agronomia, pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e pós-doutora em saneamento e meio ambiente pela Universidade Federal de Minas Gerais.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Av: Amazona 5253 Nova Suíça-mail: [elizabethhalfeld@cefetmg.br](mailto:elizabethhalfeld@cefetmg.br)

### RESUMO

A otimização dos parâmetros utilizados nos ensaios de *jar test*, bem como a qualidade da água bruta a ser estudada são fundamentais para determinação da escolha e da eficiência de cada coagulante sendo ele orgânico ou não. As metodologias desenvolvidas nesses experimentos levantam questões como: a eficiência desses coagulantes orgânicos (naturais) poderiam ser realmente comparada a dos coagulantes inorgânicos comumente adotados em ETAs? Nesse caso quais seriam as condições de *jar test* adequadas à aplicação dos polímeros naturais.

O presente trabalho objetivou fazer uma análise das metodologias de investigação da *Moringa oleífera* como coagulante, no tratamento de água, por meio de uma revisão sistemática. Tal estudo concluiu que os Parâmetros de *jar test* investigados pela literatura consultada para mistura rápida, floculação e decantação foram distintos, e variaram com a qualidade da água a ser tratada, porém os tempos de sedimentação investigados foram sempre superiores a 30 minutos. Isso significa que a sedimentação dos flocos formados pela *Moringa oleífera* é muito lenta e geram velocidades de sedimentação muito baixas, incompatíveis com o prescrito na NBR 12216 – Projetos de estações de tratamento de água, e incomparáveis com as velocidades de sedimentação utilizadas para coagulantes inorgânicos normalmente empregados em ETAs convencionais.

A utilização da semente de *Moringa oleífera* mostrou-se, no entanto, como um grande potencial para estudo e desenvolvimento de técnicas simplificadas para tratamento a nível domiciliar de comunidades rurais e difusas, que não são atendidas por um sistema de abastecimento de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de água, polímeros naturais, *Moringa oleífera*, diagrama de coagulação, ensaios de *jar test*.

### INTRODUÇÃO

O tratamento convencional de água é composto basicamente pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, sendo o processo de coagulação o início do tratamento e o responsável por exercer influência fundamental no desempenho das etapas subsequentes.

A coagulação consiste essencialmente na desestabilização das partículas coloidais e suspensas realizada pela junção de ações físicas e químicas, com duração de poucos segundos entre o coagulante, a água e as impurezas presentes. O objetivo principal da coagulação seguida da floculação é o de produzir flocos capazes de sedimentar de forma rápida nos decantadores das Estações de tratamento de água (ETAs) convencionais.

Os coagulantes naturais tem atraindo a atenção dos pesquisadores há muito tempo. A busca por uma tecnologia verde, sustentável, economicamente viável e que preserve a saúde humana são vantagens apontadas por eles.

Os coagulantes naturais são compostos formados a partir de sementes, cascas e mucilagem baseadas ou não em plantas, que possuem a capacidade de remoção de contaminantes da água. Seu uso possui forte apelo ambiental, econômico e social.

Encontrados na natureza, a *Moringa oleífera* (MO) e o tanino produzido a partir da Acácia negra, são coagulantes naturais citados como os mais estudados no tratamento de água de abastecimento (ARAÚJO, 2021; SIQUEIRA et al., 2018; EGUCHI e ARANTES, 2019; VALVERDE et al., 2016; CARDOSO et al., 2008; FRANCO et al., 2017; NISHI et al., 2011; SOUZA, 2017; ARANTES E MATUOKA, 2019; HENRIQUES et al., 2014 e BEZERRA e VENDRAMINI, 2015). Tais pesquisadores, estabeleceram metodologias de investigação utilizando equipamentos de *jar test* incluindo ou não o levantamento de diagramas de coagulação como ferramentas de estudo e de análise.

Araújo, 2021; Siqueira et al., 2018; Eguchi e Arantes, 2019 estudaram a *Moringa oleífera* como coagulante comparando seu uso com o dos coagulantes inorgânicos largamente empregados nas ETAs, Valverde, 2014; Valverde et al. e Valverde et al., 2016 investigaram os polímeros naturais em associação com coagulantes inorgânicos.

A otimização dos parâmetros utilizados nos ensaios de *jar test*, bem como a qualidade da água bruta a ser estudada são fundamentais para determinação da escolha e da eficiência de cada coagulante sendo ele orgânico ou não. As metodologias desenvolvidas nesses experimentos levantam questões como: a eficiência desses coagulantes orgânicos (naturais) poderiam ser realmente comparada a dos coagulantes inorgânicos comumente adotados em ETAs? Quais seriam as condições de *jar test* adequadas à aplicação dos polímeros naturais?

A *Moringa oleífera* tem sido um dos coagulantes naturais mais investigados. Desta forma, o presente trabalho objetivou fazer uma análise das metodologias de investigação da *Moringa oleífera* como coagulante, no tratamento de água, por meio de uma revisão sistemática.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido a partir de uma revisão bibliográfica sistemática por meio de diversos artigos que se relacionaram com a questão dos coagulantes naturais no tratamento de água. Para tanto, foram utilizados bancos de dados que possuem renome na área acadêmica como Scientific Electronic Library Online (SciELO), Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Google Acadêmico; limitando o período de publicação de 2008 a 2022. A pesquisa foi realizada em duas etapas:

Na primeira etapa, cerca de 60 artigos, aproximadamente, foram pesquisados, utilizando-se inicialmente as palavras-chave: Coagulantes naturais e tratamento de água de abastecimento. A busca ocorreu em larga escala, em português, inglês, francês e espanhol, para aumentar a amplitude, relevância e profundidade da pesquisa. Nessa etapa foram selecionados estudos com coagulantes naturais no tratamento de água.

Na segunda etapa a pesquisa foi restrita àqueles artigos referentes às metodologias de investigação da *Moringa oleífera* como coagulante no tratamento de água de abastecimento, uma vez que esse coagulante orgânico foi muito estudado na literatura consultada na primeira etapa. Desta forma, utilizou-se as palavras chave: *Moringa oleífera*, *jar test* e diagrama de coagulação. Nessa etapa, foram reunidos 13 trabalhos.

Os 13 artigos escolhidos para análise foram aqueles em que o estudo da utilização da *Moringa oleífera* como coagulante no tratamento de água foram elaborados por meio de metodologias que incluem ensaios de *jar test* considerando ou não a elaboração de diagramas de coagulação (DC) como ferramenta de estudo.

## RESULTADOS

Conforme metodologia proposta foram escolhidos 13 artigos para análise, considerando o estudo da utilização da *Moringa oleífera* como coagulante no tratamento de águas para abastecimento e as metodologias utilizadas pelos autores que incluíram ensaios de *jar test*, considerando ou não a elaboração de diagramas de coagulação como ferramenta de estudo. Esses artigos estão apresentados de forma resumida na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros investigados nos ensaios de jar test para mistura rápida, floculação e decantação, nos treze artigos científicos avaliados, publicados entre 2008 e 2022.

Fonte	Investigação experimental	Mistura rápida		Floculação		Decantação	Coagulantes investigados nos estudos
		Tempo	Rotação	Tempo	Rotação	Tempo de sedimentação	
[1]	Jar-Test	1 min	5 rpm	10 min	2 rpm	30 min	Moringa x Sulfato de Al.
[2]	Jar-Test	2 min	100 rpm	15 min	10 rpm	40 min	Moringa x Tanino x Sulfato de al.
[3]	Diagrama de coagulação	1 min	100 rpm	20 rpm	15 min	30 min Jar test da policontrol	Moringa x Sulfato de al.
[4]	Diagrama de coagulação	1 a 2 min	100 -105 rpm	15 min	30 - 45 rpm	15 min	Moringa <b>associação</b> Sulfato de al. e PAC
[5]	Diagrama de coagulação	3 min	100 rpm	15 min	15 rpm	15 min	Moringa Lan <b>associação</b> Cloreto férrico
[6]	Diagrama de coagulação	1 min	100 rpm	15 min	45 rpm	15 min	Moringa <b>associação</b> PAC
[7]	Jar-Test	2 a 4 min	95 rpm	15-16 min	10 rpm	30, 60, 90 e 120 min Otimização dos tempos de MR e floculação	Moringa
[8]	Jar-Test	2 min	280 rpm	30 min	40 rpm	30, 60, 90 e 150 min.	Moringa Preparada por diferentes métodos
[9]	Jar-Test	3 min	100 rpm	15 min	15 rpm	60 min	Moringa criptosporideos
[10]	Jar Test e agitação manual	1 min	200 rpm	20 min	40 rpm	20; 40; 60 e 120 min	Moringa tratamento alternativo
[11]	Diagrama de coagulação	0,5 min	200 s <sup>-1</sup>	15 min	20 s <sup>-1</sup>	60 min	Moringa tratamento alternativo
[12]	Jar test e filtros cerâmicos	45 s	300 rpm	20 min	40 rpm	30 min.	Moringa oleifera Lamarck
[13]	Jar test x ETA	1 min	400 rpm	30 min	45 rpm	10 min na ETA 40 e 70 min Jar test	Moringa x Sulfato férrico

**Fonte:** [1] Araújo, 2021; [2] Siqueira et.al., 2018; [3] Eguchi e Arantes, 2019; [4] Valverde, 2014; [5] Valverde et. al., 2013; [6] Valverde et al., 2016; [7] Cardoso et al., 2008; [8] Franco et.al., 2017; [9] Nishi et al., 2011; [10] Souza, 2017; [11] Arantes e Matuoka, 2019; [12] Henriques et. al., 2014; [13] Bezerra e Vendramini, 2015.

Na Tabela 1, encontram-se os parâmetros utilizados nos ensaios de jar test referentes aos estudos de cada artigo, são eles: Tempo e velocidade de rotação na mistura rápida, tempo e velocidade de rotação na floculação e tempo de sedimentação, além da metodologia de investigação dos ensaios de jar test a qual contou ou não com a elaboração dos diagramas de coagulação como ferramenta de estudo.

Os autores Araújo, 2021; Siqueira et.al., 2018; Eguchi e Arantes, 2019 e Bezerra e Vendramini, 2015 relatam estudos comparativos entre a moringa e os coagulantes sulfato de alumínio e sulfato férrico. Os resultados obtidos por eles consideraram tempos de sedimentação ( $T_s$ ) maiores que 30 min, os quais corresponderia a uma velocidade de sedimentação ( $V_s$ ) muito baixa, menor que 0,23 cm/min, fora do prescrito na NBR 12216/92, que determina valores da ordem de 1,74 e 2,8 cm/min, dependendo da capacidade da ETA.

Estudos realizados por Di Bernardo (2011), utilizaram velocidades de sedimentação da ordem de 1,5; 2,0 e 3,0 cm/min, na construção dos diagramas de coagulação para os coagulantes inorgânicos: sulfato de alumínio, cloreto férrico e policloreto de alumínio (PAC), tais valores de Velocidade de sedimentação permitem a diferenciação da sedimentação dos flocos, que determinarão regiões ótimas de remoção de cor e turbidez nos diagramas construídos. As velocidades de sedimentação estudadas por Di Bernardo remetem a tempos de sedimentação de 4,7, 3,5 e 2,4 minutos, respectivamente. Nesse contexto, tempos de sedimentação superiores a 30 min podem ser adequados aos estudos da Moringa Oleífera como coagulante, porém não seriam adequados aos estudos dos coagulantes inorgânicos.

Propondo diminuir a dosagem de coagulantes inorgânicos e melhorar a qualidade da água tratada, Valverde, 2014; Valverde et. al., 2013 e Valverde et al., 2016; estudaram a associação da moringa com: o sulfato de alumínio, o cloreto férrico e o policloreto de alumínio. Segundo Valverde et. al., 2013, o uso da *Moringa oleífera* associado ao cloreto férrico apresentam um efeito sinérgico superior ao uso do pó de sementes de moringa como único coagulante, assim, os autores investigaram tempos menores ( $T_s$  de 15 min).

Estudos sobre o uso de polímeros naturais como auxiliares de floculação com base no Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio realizados por Costa (1992), considerou  $T_s$  de 3 min, correspondente a uma  $V_s$  de 2 cm/min, em acordo com o prescrito na NBR 12 216/92.

Como vantagem a maioria dos artigos citados afirma que o uso da Moringa não altera significativamente o pH de coagulação da água.

Empregando parâmetros hidráulicos de uma ETA, Bezerra e Vendramini (2015) concluíram em ensaios de jar test com a moringa, que com o Tempo de sedimentação de 10 min, não foi suficiente para a sedimentação total das impurezas. Os resultados obtidos pelos autores com o sulfato férrico utilizado na ETA, onde o Tempo de sedimentação foi de 15 min, só foram comparáveis aos resultados obtidos com a moringa em jar test em Tempos de sedimentação de 40 e 70 min.

Para investigar o potencial do uso da moringa na clarificação de água, visando um tratamento alternativo adequado às comunidades rurais e isoladas, Souza (2017); Arantes e Matuoka (2019) e Henriques et. al. (2014), realizaram investigações em  $T_s$  de 30, 40, 60, 90, 120 min; sendo que Souza (2017) concluiu que os melhores resultados de remoção foram obtidos com  $T_s$  de 60 min.

Avaliando a eficiência da *Moringa Oleífera* na remoção de (oo)cistos de Giardia e Cryptosporidium, cor e turbidez, Nishi et al. (2011) realizaram ensaios de jar test com água superficial artificialmente contaminadas com esses protozoários. Os autores concluíram que a coagulação com sementes de moringa apresentou resultados satisfatórios em  $T_s$  de 30 min, reduzindo a cor, a turbidez e o número de (oo)cistos dos protozoários da água tratadas pelo processo proposto.

## CONCLUSÕES

A revisão bibliográfica sistemática realizada sobre as metodologias de investigação da *Moringa oleifera* como coagulante no tratamento de água, resultou na escolha de 13 artigos, os quais foram analisados e permitiram concluir que:

- Os Parâmetros de jar test investigados, para mistura rápida, floculação e decantação, nos 13 artigos são distintos, e variam com a qualidade da água a ser tratada, porém os tempos de sedimentação investigados foram superiores a 30 minutos. Isso significa que a sedimentação dos flocos formados pela *Moringa oleifera* é muito lenta e geram velocidades de sedimentação muito baixas, incompatíveis com o prescrito na NBR 12216 – Projetos de estações de tratamento de água e incomparáveis com as velocidades de sedimentação utilizadas para coagulantes inorgânicos normalmente empregados em ETAs convencionais.
- A utilização da semente de *Moringa oleifera* mostra-se como um grande potencial para estudo e desenvolvimento de técnicas simplificadas para tratamento a nível domiciliar de comunidades rurais e difusas, que não são atendidas por um sistema de abastecimento de água.

Assim, recomenda-se o desenvolvimento de metodologias de estudo adequadas a utilização da *Moringa oleifera* como coagulante em tratamentos alternativos, que permitam tempos de sedimentação superiores a 30 minutos, para atender situações específicas de pequenas comunidades rurais e difusas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARANTES, C. C.; MATUOKA, A. G. Clarificação de água com baixos valores de turbidez e de cor aparente utilizando extrato de sementes de *moringa oleifera* para uso em comunidades isoladas. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XPEasyArtigos/Site/Uploads/Evento45/TrabalhosCompletosPDF/XII-042.pdf>. Acesso em 25 jun. 2022
2. ARAUJO, Y. C A. **Produção de biocoagulante a partir de sementes de moringa oleifera para substituição de sulfato de alumínio no tratamento de águas em ETAs.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/5775> . Acesso em 23 jun. 2022.
3. BEZERRA, J. F.; VENDRAMINI, D. Estudo do uso do coagulante natural *Moringa oleifera* Lam. em uma ETA. Disponível em: <https://trabalhosasemae.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/190/320/t320t1e1a2015.pdf> Acesso em 28 de novembro de 2022.
4. CORDEIRO, K. C. et al. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. **Acta Scientiarum. Technology**, vol. 30, no 2, outubro 2008, p. 193-98.
5. COSTA, E. R. H. da. **Estudo do uso de polímeros naturais como auxiliares de floculação com base no diagrama de coagulação do sulfato de alumínio.** [Dissertação de mestrado- EESC – Universidade de São Paulo]. São Paulo, p. 207. 1992.
6. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. Di B.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** São Carlos: LDiBe, 2011.
7. EGUCHI, C. S. Y.; ARANTES, C. C. Clarificação de água superficial com baixos valores de turbidez e cor aparente utilizando extrato de sementes de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 4, n. 2, p. 190-199, 2019.
8. FRANCO, C. S. et al. Coagulação com semente de *Moringa oleifera* preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 781-788, 2017.
9. HENRIQUES, J. A. et al. Potencial de uso da *Moringa oleifera* Lamarck na clarificação de água para abastecimento em comunidades difusas de áreas semiáridas. **Brazilian Journal of Environmental Sciences** (Online), n. 31, p. 76-83, 2014.
10. NISHI, L. et al. Coagulação/Floculação com Sementes de *Moringa oleifera* Lam para Remoção de Cistos de *Giardia* spp. e Oocistos de *Cryptosporidium* spp. da água. In: International Workshop: Advances in Cleaner Production. 2011. p. 18-20. Disponível em:

- [http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6b/4/nishi\\_1%20-%20paper%20-%206b4.pdf](http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6b/4/nishi_1%20-%20paper%20-%206b4.pdf). Acesso em 12 out. 2022
11. SIQUEIRA, A. P. et al. Análise da performance dos coagulantes naturais moringa oleífera e tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, 2018.
  12. SOUZA, R. M. A. **Moringa oleifera como coagulante na clarificação da água para tratamento em comunidades rurais**. [Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Vale do São Francisco]. Juazeiro, p. 49. 2017.
  13. Valverde, Karina Cardoso. Avaliação do processo de tratamento de água utilizando associação do coagulante natural Moringa oleifera LAM Ecoagulantes químicos. Universidade Estadual de Maringá, 2014. **repositorio.uem.br:8080**. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3699>. Acesso em 25 de out.2022
  14. VALVERDE, K. C. et al. Estudo da clarificação da água superficial por meio da associação dos agentes coagulantes *Moringa oleifera* Lam e policloreto de alumínio. **e-xacta**, v. 9, n. 2, p. 1-8, 2016.
  15. VALVERDE, K. C.; DOS SANTOS, O. A. A.; BERGAMASCO, R. Avaliação do processo de clarificação da água bruta por meio de diagramas de coagulação, empregando a associação *Moringa oleifera* Lam e cloreto férrico. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, 2013.