

Coagulação com semente de *moringa oleifera* preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT

Coagulation with moringa oleifera seed prepared by different methods in water turbidity of 20 to 100 UNT

Camila Silva Franco¹, Magno Deyvisson Arcanjo Batista²,
Luiz Fernando Coutinho de Oliveira³, Gabriel Passos Kohn⁴, Ronaldo Fia⁵

RESUMO

A semente de *Moringa oleifera* é composta por proteínas catiônicas, podendo ser aplicada como eficiente coagulante na clarificação de águas para consumo humano. Objetivou-se identificar o melhor método de preparação de *Moringa oleifera*, o melhor tempo para sedimentação e a concentração ótima para diferentes valores de turbidez bruta. Para concentrações de 100 a 500 mg L⁻¹, a semente foi descascada, triturada, peneirada e diluída (método 1); secada, triturada, peneirada, diluída e filtrada (método 2); triturada, peneirada, diluída e filtrada (método 3). Os ensaios de Jarrest foram realizados em triplicata para cada método, em águas com turbidez de 20, 40, 60, 80 e 100 UNT e a cinética de sedimentação para 30, 60, 90 e 150 min. Não houve diferenças significativas na remoção de turbidez entre os métodos de preparo pelos testes F e t de Student. No entanto, a filtração pode evitar incrustações e incremento de matéria orgânica à água tratada (método 3). A adição de *Moringa oleifera* produz eficiente remoção de turbidez em águas acima de 40 UNT. O tempo máximo para sedimentação foi de 1296 min, para remoção de turbidez em 90,5%.

Palavras-chave: tratamento de água; Jarrest; coagulante natural.

ABSTRACT

Moringa oleifera seeds comprise cationic proteins and can be used as efficient coagulant in the clarification of water for human consumption. The objective was to identify the best method of preparation of *Moringa oleifera*, the best time to sedimentation and the optimum concentration for different values of affluent turbidity. For concentrations of 100 to 500 mg L⁻¹, seed was peeled, crushed, sieved and diluted (method 1); dried, crushed, sieved, diluted and filtered (method 2); crushed, sieved, diluted and filtered (method 3). The Jarrest assays were performed in triplicate for each method in water with turbidity of 20, 40, 60, 80 and 100 NTU and sedimentation kinetics to 30, 60, 90 and 150 min. There were no significant differences in turbidity between the methods after F test and Student's t-test. However, the filter can prevent fouling and increase of organic matter to treated water. The use of *Moringa oleifera* produces efficient decrease in turbidity in waters above 40 NTU. The maximum time for sedimentation was 1296 min, to 90.5% remove of turbidity.

Keywords: water treatment; Jarrest; natural coagulant.

INTRODUÇÃO

A coagulação consiste essencialmente na desestabilização das partículas coloidais e suspensas presentes na água captada para o abastecimento. O objetivo da coagulação e da floculação, como via de consequência, é o de elevar significativamente a velocidade de sedimentação dos coloides presentes na água bruta. No contexto sanitário, a importância da coagulação evidencia-se

na remoção de partículas microscópicas, associadas aos microrganismos patogênicos, geralmente encontrados nas águas naturais e com velocidades de sedimentação muito reduzidas (LIBÂNIO, 2010). Nesse sentido, Kawabata & Fuse (2005), utilizando copolímero de acrilamida com cloreto de vinilpiridínio N-benzil-4, constataram eficiente remoção de *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*.

¹Engenheira ambiental, Doutoranda em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras (UFLA) - Lavras (MG), Brasil.

²Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Departamento de Engenharia, UFLA - Lavras (MG), Brasil.

³Engenheiro agrícola e mestre em Engenharia Agrícola pela UFLA e doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor associado III do Departamento de Engenharia da UFLA - Lavras (MG), Brasil.

⁴Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Departamento de Engenharia, UFLA - Lavras (MG), Brasil.

⁵Engenheiro agrícola e ambiental, doutor em Engenharia Agrícola pela UFV, professor adjunto do Departamento de Engenharia da UFLA - Lavras (MG), Brasil.

Endereço para correspondência: Camila Silva Franco - Campus Universitário, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras - Avenida Doutor Sylvio Menicucci, 1001 - Kennedy - 37200-000 - Lavras (MG), Brasil - E-mail: camilasilvafranco@yahoo.com.br

Recebido em: 05/02/15 - **Aceito em:** 12/08/16 - **Reg. ABES:** 145729

Os coagulantes mais empregados nas estações de tratamento de água (ETAs) são inorgânicos, sais trivalentes de ferro e alumínio ou polímeros sintéticos. Apesar do desempenho e custo-eficácia comprovados dos coagulantes químicos, estão sendo estudados coagulantes/floculantes naturais, dos quais, alguns biopolímeros vêm sendo investigados mais intensamente, como é o caso da *Moringa oleifera*. São várias as espécies de plantas utilizadas, das quais, destacam-se as famílias: *Papilionideae*, *Cactaceae*, *Capparidaceae*, *Moringaceae*, *Tiliaceae*, *Anacardiaceae*, *Malvaceae*, *Annonaceae*, *Acanthaceae*, *Araceae* (MENDES & COELHO, 2007).

A *Moringa oleifera* é uma árvore tropical com funções medicinais e alimentícias (folhas e frutos) cujas sementes são rusticamente utilizadas na Região Nordeste do Brasil para clarificação de água para consumo humano. Suas sementes apresentam melhor potencial de coagulação/floculação do que as demais partes da planta, tais como folhas e vagens (NWAIWU; ZALKIFUL; RAUFU, 2012). Cerca de 40% da massa de sua semente é constituída por óleo comestível e proteínas catiônicas de baixo peso molecular, as quais, quando solublizadas em água agem como eficientes coagulantes para águas naturais e residuárias (AMAGLOH & BENANG, 2009; MARQUES et al., 2010). Segundo Reddy et al. (2011), a planta de *Moringa oleifera* contém aminoácidos, ácidos graxos, vitaminas e nutrientes glucosinolatos e fenólicos, que são grupos funcionais capazes de adsorver íons metálicos.

O uso das sementes de *Moringa oleifera* para a purificação de água é uma alternativa econômica (BONGIOVANI; VALVERDE; BERGAMASCO, 2013). Uma pequena dosagem desse biopolímero pode reduzir bastante o consumo de coagulantes químicos, apresentando como vantagens: geração de lodo biodegradável, manutenção do pH da água, altas eficiências na remoção de cor e turbidez, normalmente acima de 90% (NKURUNZIZA et al., 2009).

Vários estudos foram realizados para se obter a eficiência da *Moringa oleifera* como coagulante, usando diferentes técnicas de extração na obtenção do ingrediente ativo (SANTOS; VIEIRA; BERGAMASCO, 2013; FRANCO; GABRIELA; PATERNIANI, 2012; LO MONACO et al., 2012; MARTÍN; GHEBREMICHAEL; HEREDIA, 2010; HEREDIA & MARTIN, 2009; PATERNIANI; MANTOVANI; SANT'ANNA, 2009). Mohamed et al. (2014) observaram que a secagem por congelamento e a extração da *Moringa oleifera* por cloreto de potássio e nitrato de potássio diminuem as dosagem ótimas do coagulante em 28 e 18%, respectivamente.

Nesse contexto, este estudo objetivou identificar, dentre três, o melhor método de preparação da semente de *Moringa oleifera* assim como o de reprodutibilidade mais fácil, o de melhor tempo de sedimentação e a concentração mais adequada para diferentes valores de turbidez da água bruta.

MÉTODOS

As sementes de *Moringa oleifera* foram adquiridas em empresa especializada na venda de sementes nativas. Foram testados três métodos distintos de preparo para os ensaios de coagulação, conforme Tabela 1.

Após a preparação, a semente de *Moringa oleifera* foi armazenada em dessecador e utilizada no prazo máximo de três dias, conforme sugerido por Okuda et al. (2001); Cardoso et al. (2008); Valverde et al. (2014) e Katayon et al. (2006), uma vez que sua eficiência como coagulante guarda relação direta com o tempo de armazenamento.

A água bruta utilizada para o ensaio foi coletada no reservatório de captação de água para tratamento e distribuição na Universidade Federal de Lavras (UFLA), com pH médio de $7,59 \pm 0,16$ (método de medição: SMWW 4500 H+B), alcalinidade total média de $41,0 \pm 3,2$ mg L⁻¹ (método de medição: SMEWW-2320 B) e cor no valor médio de $20,2 \pm 13,3$ UH (método de medição: SMEWW 2130 B) (APHA; AWWA; WEF, 2005). Nesse caso, não há necessidade de adição de alcalinizantes para ajustes do pH, uma vez que o pH próximo da neutralidade é o ideal para a ação coagulante da semente de *Moringa oleifera* (HEREDIA; MARTIN, 2009).

A turbidez (método de medição: SMWW 2130 B) da água bruta foi ajustada para valores próximos de 100 UNT por meio de diluição em água deionizada (para reduzir o valor de turbidez) ou dissolução de porções de solo retiradas próximo à represa (para incrementar o valor de turbidez). Esse valor de turbidez foi fixado com base no padrão estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°01 de 2008 para águas de classe 2, cujo uso para consumo humano após tratamento convencional é permitido (MINAS GERAIS, 2008).

Foram preparadas soluções de 100, 200, 300, 400 e 500 mg L⁻¹ de *Moringa oleifera* pelos três métodos constantes da Tabela 1. Essa faixa de concentração foi estabelecida com base em registros da literatura para utilização em água para consumo (entre 40 e 200 mg L⁻¹) (FRANCO; GABRIELA; PATERNIANI, 2012) e de água residuária (acima de 600 mg L⁻¹) (LO MONACO et al., 2012), uma vez que assume-se que a qualidade das águas residuárias é inferior à qualidade da água de captação para tratamento e consumo humano e, portanto, a concentração

Tabela 1 – Métodos de preparação da semente de *Moringa oleifera* utilizados.

Procedimento	Método		
	1	2	3
Remoção da casca	X	X	X
Secagem em estufa a 50° C		X	
Trituração em moinho analítico	X	X	X
Peneiramento	X	X	X
Diluição em água deionizada	X	X	X
Agitação a 60 rpm por 2 min	X	X	X
Filtração a 125 µm.			X

de coagulante necessária para tratar águas residuárias é superior à concentração de coagulante para tratar água para consumo humano.

Para definir a combinação coagulante-dosagem que maximize a remoção de turbidez presente na água bruta, foram realizados, no Laboratório de Qualidade de Água, do Núcleo de Engenharia Ambiental e Sanitária do Departamento de Engenharia da UFLA, ensaios de coagulação/floculação em um aparelho Jartest. O aparelho é composto por 6 jarros com capacidade de 2 L cada, dotados de mangueiras localizadas na superfície de cada jarro para coleta de amostras. O equipamento possui ainda hélices giratórias, cuja rotação por minuto pode ser ajustada digitalmente.

O procedimento para os ensaios de coagulação consistiu na seguinte sequência:

1. foram transferidos 2 L de água bruta para cada um dos jarros;
2. a velocidade de rotação das hélices foi ajustada para mistura rápida (280 rpm, aproximadamente 900 s^{-1});
3. foram adicionados simultaneamente 100 mL das soluções coagulante previamente preparadas conforme Tabela 1 aos jarros em rotação com o auxílio de provetas graduadas;
4. Após o tempo de mistura rápida de 2 min, foi ajustada a velocidade de mistura lenta em 40 rpm (55 s^{-1}), mantida pelo período de 30 min;
5. A rotação das hélices foi desligada a 0 rpm por 60 min para sedimentação;
6. Amostras do sobrenadante foram coletadas em cada jarro pela mangueira de coleta situada em sua superfície, para medição da turbidez residual.

Para cada método de preparação da semente de *Moringa oleifera*, foram realizados ensaios de coagulação/floculação em triplicata conforme procedimento supracitado. Os valores médios foram analisados por meio do ajuste de polinômios de segundo grau, com a finalidade de calcular a concentração de *Moringa oleifera* ideal para obtenção de maiores eficiências de remoção de turbidez pela derivada da equação ajustada.

Após a definição do melhor método de preparação da semente de *Moringa oleifera* para coagulação, com base em eficiência e economia, foi realizado o ensaio de cinética de sedimentação, utilizando o método escolhido. Para tal, os procedimentos supracitados foram repetidos, alterando-se o tempo de sedimentação para coleta das amostras, realizada em intervalos de 30 min para análises de turbidez residual, construção da curva de sedimentação e definição do tempo mínimo requerido para maior eficiência de clarificação.

Para avaliação estatística, aplicou-se os testes F e *t* de Student às eficiências médias observadas nos três métodos. Identificado o método mais eficiente para extração do coagulante, os ensaios foram repetidos, em triplicata, para águas com turbidez de 20, 40, 60, 80 e 100 UNT. Após, foi realizado o ensaio de cinética de sedimentação, utilizando a concentração ótima calculada para águas a 100 UNT e as mesmas rotações para mistura rápida e lenta, com coleta do sobrenadante nos tempos de 30, 60, 90 e 150 min (ABNT, 1992; LIBÂNIO, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados médios obtidos nos ensaios de coagulação utilizando a *Moringa oleifera* preparada pelos três métodos. Observa-se que a maior eficiência média de remoção de turbidez foi encontrada para o método 2 e a menor concentração de *Moringa oleifera* calculada diz respeito à preparação da semente pelo método 3. No entanto, não se observou diferença significativa pelos testes F e *t* de Student. Pelo Gráfico 1, percebem-se bons ajustes dos polinômios de segundo grau aos dados observados pelos coeficientes de determinação próximos de 1, utilizados no cálculo da concentração ótima de coagulante

O método 1 foi descartado por apresentar alto valor de concentração ótima de *Moringa oleifera*. Na operação de uma ETA, os sólidos provenientes da semente podem causar problemas de incrustações na tubulação entre as unidades floculadoras, decantadoras e filtros, além de ser responsável pela maior geração de lodo e aumento da carga orgânica da água floculada, podendo causar inconvenientes em plantas que utilizam cloração como método de desinfecção, devido ao potencial de formação de trihalometanos (BHUPATAWAT; FOLKARD; CHAUDHARI, 2007). Por esse motivo, a etapa de filtragem foi considerada como importante no preparo do coagulante.

Embora a secagem seja largamente utilizada, como não se obteve diferença significativa entre os três métodos, optou-se por não aplicá-la, na intenção de simplificar a preparação do coagulante (MARTÍN; GHEBREMICHAEL; HEREDIA, 2010; FRANCO; GABRIELA; PATERNIANI, 2012).

A Tabela 3 e o Gráfico 2 apresentam os resultados dos ensaios de Jartest realizados em águas com turbidez próxima de 20, 40, 60, 80 e 100 UNT utilizando o método 3 de preparação da semente de *Moringa oleifera*. Para águas a 20 UNT, percebe-se que a utilização de coagulante aumenta a turbidez da água após a coagulação/floculação. Para a turbidez de 40 UNT, a utilização do coagulante não altera o resultado final, a 60, 80 e 100 UNT, a adição de semente de *Moringa oleifera* contribui para maior eficiência de remoção de turbidez após o ensaio.

Isso pode ser explicado pela relação entre a quantidade de colóides em suspensão na água e a quantidade de coagulante adicionado. Em águas com turbidez até 20 UNT, a quantidade de colóides em suspensão é pouca e a adição do coagulante provoca aumento de sólidos suspensos, provenientes do próprio coagulante. A 40 UNT, já se observou coagulação dos colóides presentes na água, porém o aumento da eficiência de remoção de turbidez foi muito baixa (1,4%). A partir de 60 UNT, a quantidade de colóides em suspensão presentes na água bruta justifica a adição de coagulante, possibilitando a formação dos flocos e maior eficiência de sedimentação.

Pelo Gráfico 3, observa-se que à medida que aumenta a turbidez da água bruta, maior é a eficiência no ponto ótimo da curva e maior a concentração de coagulante. Nesse sentido, para turbidez afluyente até

Tabela 2 - Remoção da turbidez da água pelos três métodos de preparação da semente de *Moringa oleifera* e concentrações ótimas calculadas.

Metodologia de preparação da semente de <i>Moringa oleifera</i>	Concentração (mg L ⁻¹)	Turbidez média (UNT)	Coefficiente de variação (%)	Eficiência média (%)	Coefficiente de variação (%)	Concentração ótima calculada (mg L ⁻¹)
1	água bruta	100,5±7,5	7,5			498,2
	0,0	85,0±3,0	3,5	15,2±4,7	31,2	
	100,0	61,5±6,0	9,8	38,0±15,0	39,4	
	200,0	55,0±5,0	9,1	44,6±12,9	28,9	
	300,0	26,8±5,8	21,5	72,8±11,0	15,1	
	400,0	14,2±3,4	23,9	85,5±6,3	7,4	
	500,0	24,0±2,0	8,3	75,8±5,4	7,1	
2	água bruta	93,4±0,6	0,6			314,8
	0,0	56,0±4,2	7,6	40,0±4,9	12,3	
	100,0	28,3±6,7	23,8	69,7±7,4	10,6	
	200,0	20,1±7,2	35,9	78,5±7,9	10,0	
	300,0	16,4±1,9	11,7	82,5±2,2	2,6	
	400,0	11,9±1,3	11,3	87,3±1,5	1,7	
	500,0	26,5±6,9	26,1	71,6±7,6	10,6	
3	água bruta	101,9±2,1	2,1			292,0
	0,0	90,0±2,0	2,2	11,7±0,1	1,2	
	100,0	16,8±3,9	23,2	83,6±2,4	2,8	
	200,0	13,3±3,5	26,6	87,0±2,2	2,5	
	300,0	16,5±2,1	12,9	83,8±1,1	1,4	
	400,0	21,5±2,1	9,9	78,9±1,0	1,3	
	500,0	30,0±2,8	9,4	70,6±1,4	1,9	

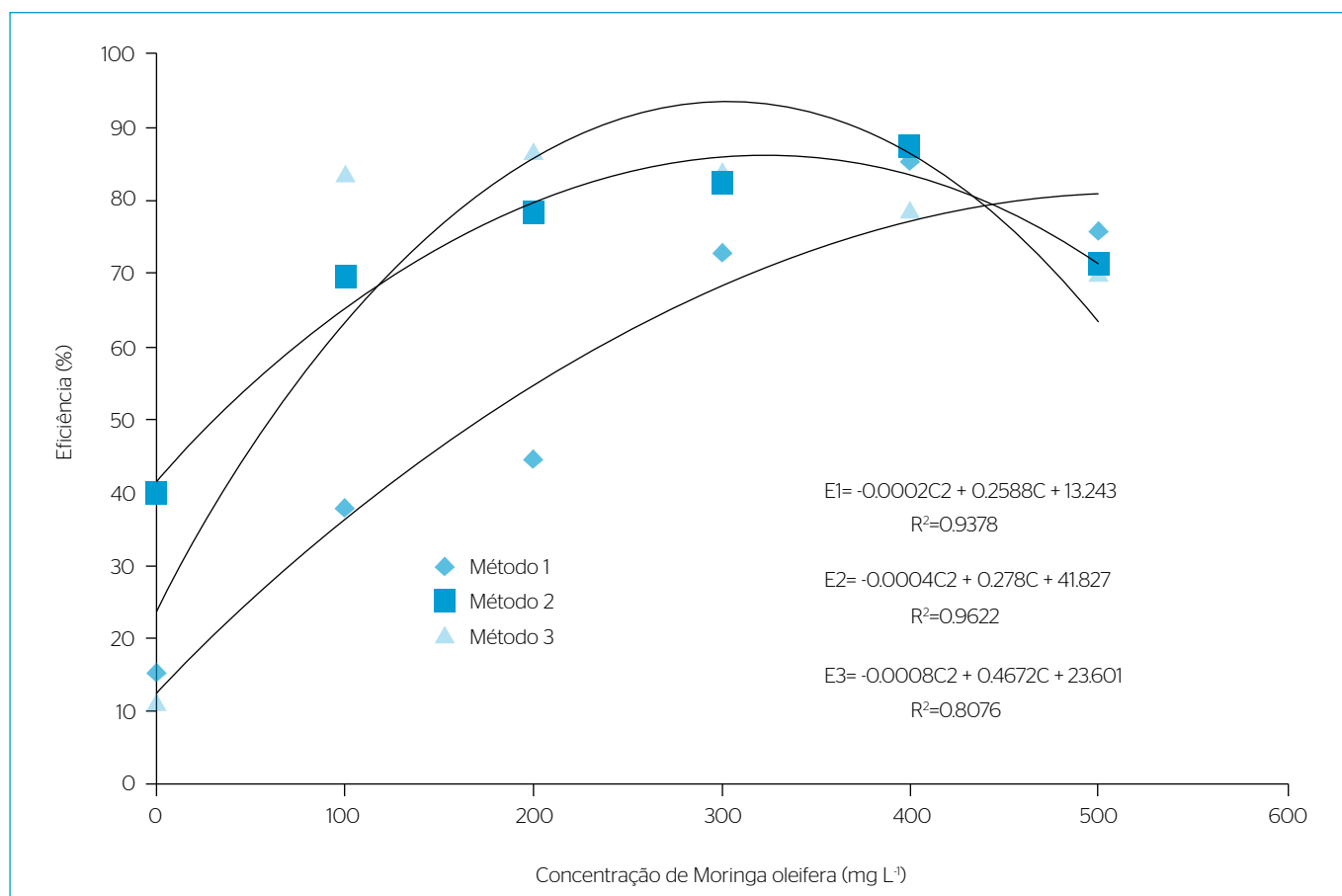


Gráfico 1 - Eficiência da remoção da turbidez da água pelos três métodos de preparação da semente de *Moringa oleifera*.

Tabela 3 - Clarificação por coagulação/floculação da água a turbidez de 20 a 100 UNT por semente de *Moringa oleifera* preparada pelo método 3.

Turbidez da água bruta (UNT)	Concentração (mg L ⁻¹)	Turbidez média após o ensaio (UNT)	Coefficiente de variação (%)	Eficiência média (%)	Coefficiente de variação (%)	Concentração calculada (mg L ⁻¹)
20,0	água bruta	22,9±0,6	2,6			-
	0,0	7,7±0,8	9,8	66,7±3,4	5,1	
	100,0	10,5±1,4	12,9	54,5±6,7	12,2	
	200,0	12,0±2,0	16,3	48,0±10,1	21,1	
	300,0	15,1±1,1	7,3	34,1±4,4	12,7	
	400,0	14,9±0,2	1,0	35,1±3,3	9,5	
	500,0	15,5±0,5	3,2	32,2±5,6	17,4	
40,0	água bruta	40,3±0,4	1,1			-
	0,0	16,4±4,3	26,4	59,4±11,1	18,7	
	100,0	15,0±4,2	27,9	62,8±10,7	17,1	
	200,0	17,2±4,2	24,3	57,4±10,8	18,8	
	300,0	16,3±2,5	15,2	59,6±6,6	11,0	
	400,0	17,0±1,4	8,3	57,8±3,1	5,3	
	500,0	16,5±0,7	4,3	59,0±2,2	3,7	
60,0	água bruta	63,8±0,1	0,2			203,0
	0,0	38,9±1,3	3,2	39,1±1,9	4,8	
	100,0	11,0±1,4	12,9	82,8±1,6	1,9	
	200,0	13,0±1,4	10,9	79,6±1,6	2,0	
	300,0	21,0±1,4	6,7	67,1±1,5	2,3	
	400,0	32,1±6,9	21,6	49,7±7,6	15,3	
	500,0	39,5±2,1	5,4	38,1±2,3	5,9	
80,0	água bruta	82,0±3,0	3,6			265,9
	0,0	50,0±2,8	5,7	39,6±0,9	2,2	
	100,0	14,5±0,7	4,9	82,3±0,2	0,2	
	200,0	21,0±1,4	6,7	74,4±0,6	0,8	
	300,0	27,5±6,4	23,1	66,6±4,6	7,0	
	400,0	31,0±2,8	9,1	62,2±1,5	2,4	
	500,0	36,0±1,4	3,9	56,1±0,1	0,2	
100,0	água bruta	101,9±3,0	2,9			292,0
	0,0	90,0±2,8	3,1	11,7±0,1	1,2	
	100,0	16,8±3,9	23,2	83,6±2,4	2,8	
	200,0	13,3±3,5	26,6	87,0±2,2	2,5	
	300,0	16,5±2,1	12,9	83,8±1,1	1,4	
	400,0	21,5±2,1	9,9	78,9±1,0	1,3	
	500,0	30,0±2,8	9,4	70,6±1,4	1,9	

40 UNT, não é recomendada a adição de coagulante, enquanto que para 60, 80 e 100 UNT, as concentrações de coagulante necessárias aumentam gradativamente.

Observa-se no Gráfico 3 e Tabela 4 que, para tempos de sedimentação superiores a 120 min, não ocorreu acréscimo significativo na eficiência de remoção de turbidez (90,5%), sendo, portanto, esse o tempo máximo necessário para sedimentação dos flocos formados. Resultado semelhante foi também observado por Cardoso *et al.* (2008) e por Lo Monaco *et al.* (2012), com eficiência de remoção de turbidez de 97,5%. Pelo ponto máximo da curva ajustada aos dados observados, pode-se dizer que o tempo ideal para máxima sedimentação foi de 129,6 min.

A Tabela 5 apresenta uma comparação dos relatos na literatura com os resultados aqui obtidos neste estudo. Observa-se que a extração do agente coagulante da semente de *Moringa oleifera* pode ser realizada de diversas formas, sendo a secagem, trituração e filtração os processos presentes em muitos estudos. As concentrações ótimas relatadas na literatura são em média da ordem de 250 mg L⁻¹ de semente de *Moringa Oleifera*, e a eficiência média de remoção de turbidez em torno de 80%, enquanto este estudo apresenta concentração ideal de 292 mg L⁻¹ com eficiência de remoção de turbidez de 90,5%.

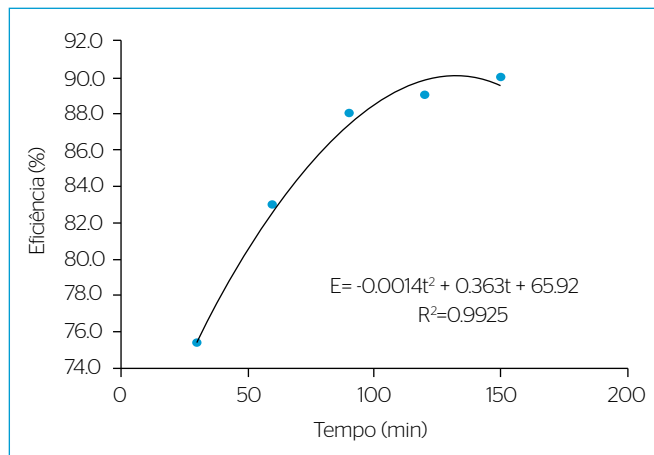


Gráfico 3 - Curva de sedimentação após coagulação/floculação com semente de *Moringa oleifera* preparada pelo método 3.

Tabela 4 - Cinética de sedimentação após coagulação/floculação com semente de *Moringa oleifera* preparada pelo método 3.

Tempo (min)	Eficiência (%)
30	75,4±3,1
60	83,0±2,1
90	88,0±1,3
120	89,0±1,3
150	90,0±1,3

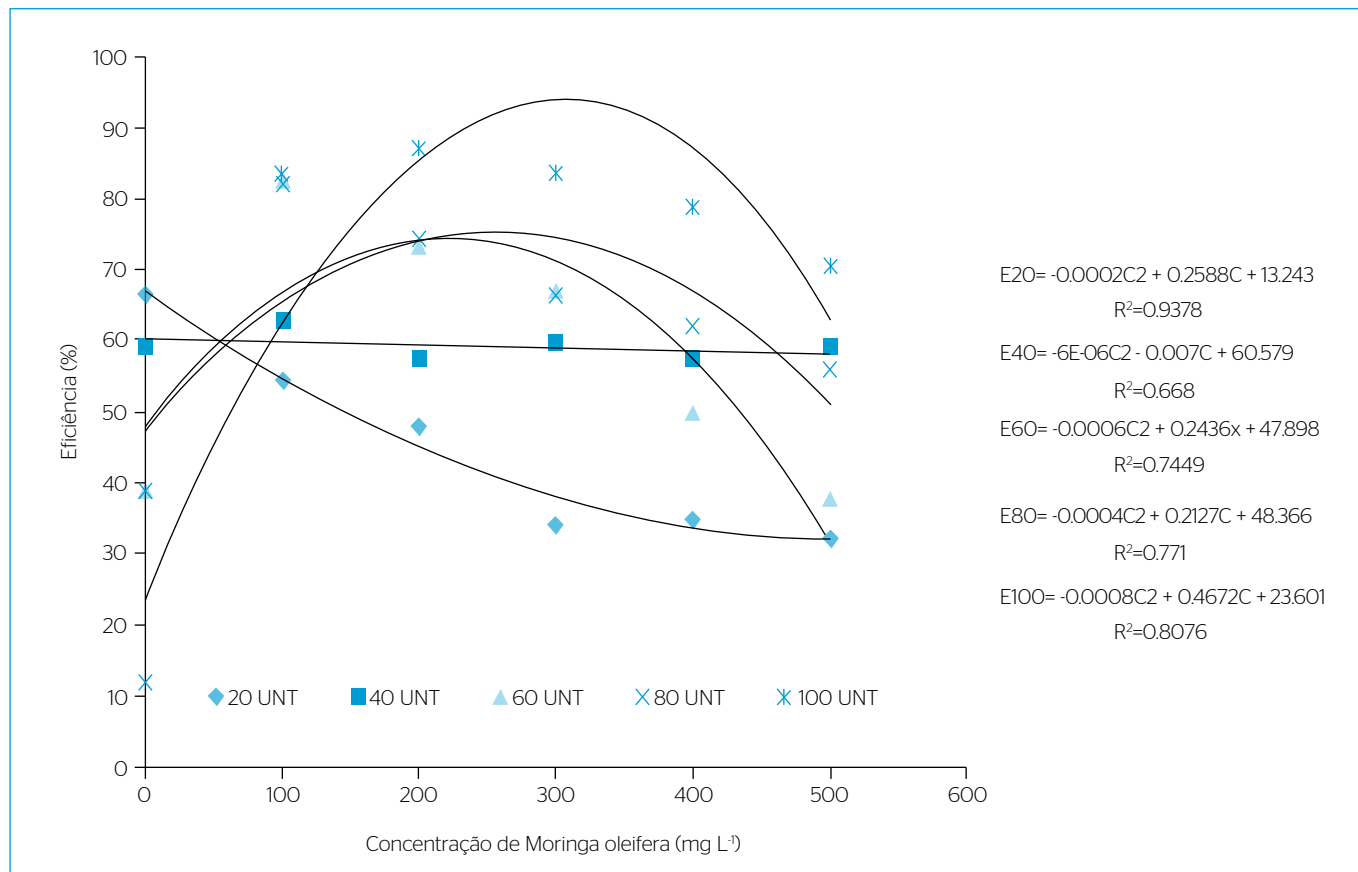


Gráfico 2 - Eficiência da remoção da turbidez da água a diferentes concentrações iniciais por semente de *Moringa oleifera* preparada pelo método 3.

Tabela 5 - Comparação entre métodos de preparação, concentrações da semente de *Moringa oleifera* e eficiências de remoção de turbidez publicadas.

Método de preparação da semente	Quantidade utilizada (mg L ⁻¹)	Gradientes de velocidade		Tempo de Sedimentação	Eficiência de remoção	Autor
		Mistura rápida	Mistura Lenta			
Trituração, diluição em etanol 95%, agitação, centrifugação, secagem a 60° C, diluição em acetato de amônio (10mM), agitação, centrifugação, Permutação de íons CM-sepharose, diluição em NaCl,	1,00 (expresso em carbono orgânico dissolvido)	120 rpm por 1 min	45 rpm por 20 min	1 h	67% de turbidez	MARTÍN; GHEBREMICHAEL; HEREDIA (2010)
Secagem, trituração a 0,8 mm, agitação e filtragem a 125 µm e estocagem	131	140 rpm	-	-	89% de turbidez e 86 % de cor aparente após pré filtragem	FRANCO; GABRIELA; PATERNIANI (2012)
Trituração, diluição em solução de NaCl (1M), agitação filtragem a 0,45 µm	15,7 - 251,8	Agitação magnética por 6h		-	80% de Lauril sulfato de sódio	HEREDIA & MARTIN (2009)
Trituração em liquidificador, filtragem a 1 mm, estocagem, diluição em Ca(OH) ₂	640	160 rpm por 30 s	15 rpm por 15 min	2 h	97,5% de turbidez	LO MONACO et al. (2012)
Secagem, trituração em liquidificador doméstico, diluição em NaCl 1M, agitação, filtração a 0,45 µm	50	-	-	-	99% de turbidez após filtração em carvão ativado	SANTOS; VIEIRA; BERGAMASCO (2013)
Trituração, diluição, agitação e filtração a vácuo	150	400 s ⁻¹	97,43 s ⁻¹	30 min	80% de turbidez	PATERNIANI; MANTOVANI; SANT'ANNA (2009)
Trituração, peneiramento a 2,38 mm, diluição em água deionizada e filtração	292,0	280 rpm por 2 min, 900 s ⁻¹	40 rpm por 30 min, 55 s ⁻¹	2 h	90,5% de turbidez	Este estudo

A utilização de semente de *Moringa oleifera* em concentrações mais baixas (50 mg L⁻¹) juntamente com um processo de filtração resultam em altas eficiências de remoção de turbidez (SANTOS; VIEIRA; BERGAMASCO 2013), enquanto altas concentrações (640 mg L⁻¹), como observado por Lo Monaco *et al.* (2012), são utilizadas em tratamento de águas residuárias, nas quais os valores de turbidez são significativamente mais altos que em águas naturais.

Além da definição da dosagem de coagulante e tempo de sedimentação, os processos de mistura são também intervenientes na eficiência de clarificação das águas. Nesse sentido, Vianna (2010) considera como ideal um gradiente de velocidade para mistura rápida de 500 a 7000 s⁻¹ em tempos variando entre 1 s a 3 min e para mistura lenta de 70 s⁻¹ por 20 a 40 min de tempo de detenção. Este estudo utilizou tempo e gradientes de velocidade de mistura rápida dentro do recomendado pelo referido autor e para mistura lenta, um valor de gradiente de velocidade inferior, porém próximo a de outros registros apresentados na Tabela 5,

valor suficiente para formação dos flocos, conforme a alta eficiência apresentada.

CONCLUSÕES

- Entre os três métodos testados de preparação da semente de *Moringa oleifera* para coagulação/floculação, o que apresentou melhor desempenho, com eficiência máxima de 87,0% e concentração ideal de *Moringa oleifera* calculada de 292,0 mg L⁻¹, corresponde à remoção da casca, trituração a 2,38 mm, diluição em água deionizada, agitação e filtragem a 125 µm (método 3);
- A adição de semente de *Moringa oleifera* produz significativo aumento na eficiência de remoção de turbidez em águas com turbidez na faixa de 40 a 100 UNT e as concentrações de coagulante necessárias aumentam gradativamente;
- Pelo método 3 e a turbidez inicial de 100 UNT, são necessários, no máximo 90 min para remoção de turbidez em máxima eficiência de 90,5%.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992) *NBR 12216*: projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro. 18 p.

AMAGLOH, F.K. & BENANG, A. (2009) Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as coagulant for water purification. *African Journal of Agriculture Research*, Navrongo, v. 4, n. 1, p. 119-123.

- APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. (2005) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington, D.C.
- BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G.K.; CHAUDHARI, S. (2007) Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant. *Journal of Hazardous Materials*, Amsterdam, n. 142, p. 477-482.
- BONGIOVANI, M.C.; VALVERDE, K.C.; BERGAMASCO, R. (2013) Utilização do processo combinado coagulação/floculação/uf como processo alternativo ao tratamento convencional utilizando como coagulante a *Moringa oleifera* lam. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, Tupã, v. 9, n. 11, p. 65-76.
- CARDOSO, K.C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E.S.; MORAES, L.C.K. (2008) Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, v. 30, n. 2, p. 193-198.
- FRANCO, M.; GABRIELA, S.K.; PATERNIANI, J.S. (2012) Water treatment by multistage filtration system with natural coagulant from *Moringa oleifera* seeds. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 32, n. 5, p. 989-997.
- HEREDIA, B.J. & MARTIN, J.S. (2009) Removal of sodium lauryl sulphate by coagulation/flocculation with *Moringa oleifera* seed extract. *Journal of Harzadous Materials*, Oxford, n. 164, p. 713-719.
- KATAYON, S.M.J.; NOOR, M.J.; ASMA, M.; GHANI, L.A.; THAMER, A.M.; AZNI, I.; AHMAD, J.; KHOR, B.C.; SULEYMAN, A.M. (2006) Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. *Bioresource Technology*, Essex, n. 97, p. 1455-1460.
- KAWABATA, N. & FUSE, T. (2006) Coagulation and sedimentation of bacteria using a highly biodegradable polymeric coagulant. *Journal of Applied Polymer Science*, New York, v. 100, p. 1618-1623.
- LIBÂNIO, M. (2010) *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3. ed. Campinas: Átomo. 494 p.
- LO MONACO, P.A.V.; MATOS, A.T.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V.E.; NASCIMENTO, F.S.; PAIVA, E.C.R. (2012) Ação coagulante do extrato de sementes de moringa preparado em diferentes substâncias químicas. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 20, n. 5, p. 453-459.
- MARQUES, M.E.H.P.; CÉZAR, I.L.A.; LACERDA, R.H.R.B.; PEREIRA, A.A.C.; LIMA, A.N.F.; BELTRAME, L.T.C. (2010) Perspectiva do uso da *Moringa oleifera* no tratamento de água artesanal na região de sítio baixa I, no município de Inajá-PE. In: Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, 10., 2010, Recife. *Anais...* Recife: UFRPE. 1 CD ROM.
- MARTÍN, S.J.; GHEBREMICHAEL, K.; HEREDIA, J.B. (2010) Comparison of single-step and two-step purified coagulants from *Moringa oleifera* seed for turbidity and DOC removal. *Bioresource Technology*, Essex, n. 101, p. 6259-6261.
- MENDES, F. & COELHO, N. (2007) Estudo do uso da *Moringa oleifera* para remoção de prata e manganês em águas. *Horizonte Científico*, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 1-18.
- MINAS GERAIS. (2008) Conselho de Política Ambiental. Conselho Estadual de Política Ambiental. *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n.º 1, de 5 de maio de 2008*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sia/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 21 nov. 2013.
- MOHAMED, E.H.; MOHAMMAD, T.A.; NOOR, M.J.M.M.; GHAZALI, A.H. (2014) Influence of extraction and freeze-drying durations on the effectiveness of *Moringa oleifera* seeds powder as a natural coagulant. *Desalination and Water Treatment*, v. 55, n. 13, p. 3628-3634. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2014.946713>>. Acesso em: 22 nov. 2014.
- NKURUNZIZA, T.; NDUWAYEZU, J.B.; BANADDA, E.N.; NHAPI, I. (2009) The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *Water Science and Technology*, Oxford, v. 59, n. 8, p. 1551-1558.
- NWAIWU, N.E.; ZALKIFUL, M.A.; RAUFU, I.A. (2012) Seeking an alternative antibacterial and coagulation agent for household water treatment. *Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation*, Surabaya, v. 1, n. 1, p. 1-9.
- OKUDA, T.; BAES, A.U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. (2001) Coagulation mechanism of Salt Solution- Extracted Active Component in *Moringa oleifera* Seeds. *Water Research*, Londres, v. 35, n. 3, p. 830-834.
- PATERNIANI, J.E.S.; MANTOVANI, M.C.; SANT'ANNA, M.R. (2009) Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 765-771.
- REDDY, D.H.K.; RAMANA, D.K.V.; SESHIAH, K.; REDDY, A.V.R. (2011) Biosorption of Ni(II) from aqueous phase by *Moringa oleifera* bark, a low cost biosorbent. *Desalination*, Amsterdam, v. 268, n. 1, p. 150-157.
- SANTOS, T.R.T.; VIEIRA, M.F.; BERGAMASCO, R. (2013) Uso do coagulante natural *moringa oleifera lam* no processo combinado de coagulação/floculação/adsorção para minimização da formação de trihalometanos. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, Tupã, v. 9, n. 11, p. 131-141.
- VALVERDE, K.C.; COLDEBELLA, P.F.; NISHI, L.; MADRONA, G.S.; CAMACHO, F.P.; SANTOS, T.R.T.; SANTOS, O.A.A.; BERGAMASCO, R. (2014) Avaliação do tempo de degradação do coagulante natural *moringa oleifera lam* em pó no tratamento de água superficial. *e-Xacta*, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 75-82.
- VIANNA, M. (2010) Hidráulica para engenheiros sanitaristas e ambientais - Volume 4: sistemas de tratamento de água. 1. ed. Belo Horizonte: FUMEC, v. 1. 545p .