

Artigo

Aplicação de Extrato de Sementes de *Moringa oleifera* Lam como Coagulante e como Auxiliar de Coagulação para Tratamento de Água Destinada ao Abastecimento

Ballestrin, C. S.; Consolin-Filho, N.; Souza, W. E.; Silva-Medeiros, F. V.*

Rev. Virtual Quim., 2021, 13 (2), 347-360. Data de publicação na 2 de Janeiro de 2021

<http://rvq.sbg.org.br>

Natural Coagulant (*Moringa oleifera*) Extracted by Different Solvents and Possible Application in Water Treatment

Abstract: *Moringa oleifera* seeds have been used to produce organic coagulants for water clarification, which achieve higher efficiency with higher turbidity values. For water with lower turbidity, around 10 to 15 NTU, the best option is the combination of organic and chemical coagulants. This work evaluated the use of natural coagulants extract from *Moringa oleifera* seeds and their combination with aluminum sulphate. Nine tests were carried out with different volumes of organic coagulants, and the two that achieved the best results were selected to be combined with the chemical coagulant. The test with the organic coagulant extracted in water from 3 grams of defatted seeds in ethanol combined with the chemical coagulant achieved the best results in removing color and turbidity, 90.1% and 93.5%, respectively, with values of 13.2 mg/L Pt-Co for color and 2.7 NTU for turbidity, which is in accordance with organoleptic standards of the current Brazilian legislation. However, studies that evaluate the efficiency of the association of chemical coagulants with the natural coagulant obtained from *Moringa oleifera* seeds extracted by different solvents are still lacking.

Keywords: Organic coagulant; combined assays; *Moringa oleifera*.

Resumo

Sementes de *Moringa oleifera* têm sido utilizadas para produzir coagulantes orgânicos para a clarificação de águas superficiais, que se mostraram mais eficiente com valores de turbidez iniciais altos. Para águas com turbidez mais baixas, em torno de 10 a 15 NTU, a melhor opção é a combinação de coagulantes orgânicos e químicos. Este trabalho avaliou o emprego de coagulantes naturais extraídos de sementes de *Moringa oleifera* e sua combinação com sulfato de alumínio. Foram realizados nove ensaios com diferentes volumes de coagulantes orgânicos, e selecionados os dois que alcançaram os melhores resultados para combiná-los com o coagulante químico. O ensaio com o coagulante orgânico extraído em água a partir de 3 gramas de semente desengordurada em etanol combinado com o coagulante químico alcançou os melhores resultados de remoção de cor e turbidez, 90,1% e 93,5%, respectivamente. Com valores de 13,2 mg/L Pt-Co para cor e 2,7 NTU para turbidez, estando de acordo com os padrões organolépticos da legislação brasileira vigente. Contudo, ainda faltam estudos que avaliem a eficiência da associação de coagulantes químicos com o coagulante natural obtido a partir de sementes de *Moringa oleifera* extraído por solventes diferentes.

Palavras-chave: Coagulante orgânico; ensaio combinado; *Moringa oleifera*.

* Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Ambiental, Campus Campo Mourão, CEP 87301-899, Campo Mourão-PR, Brasil.

 flaviav@utfpr.edu.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20200151](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200151)

Aplicação de Extrato de Sementes de *Moringa oleifera* Lam como Coagulante e como Auxiliar de Coagulação para Tratamento de Água Destinada ao Abastecimento

Carolina Scaburi Ballestrin,^a Nelson Consolin-Filho,^b Wyrllen Everson de Souza,^a Flávia Vieira da Silva-Medeiros^{a,*}

^a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Ambiental, Campus Campo Mourão, CEP 87301-899, Campo Mourão-PR, Brasil.

^b Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Química, Campus Campo Mourão, CEP 87301-899, Campo Mourão-PR, Brasil.

*flaviav@utfpr.edu.br

Recebido em 17 de Outubro de 2020. Aceito para publicação em 26 de Novembro de 2020.

1. Introdução

2. Material e Métodos

2.1. Obtenção dos coagulantes orgânicos

2.2. Preparo do coagulante químico

2.3. Ensaio de coagulação/floculação

2.4. Ensaio combinados

3. Resultados e Discussões

3.1. Resultados dos ensaios com os coagulantes orgânicos

3.2. Resultados dos ensaios combinados

4. Conclusão

1. Introdução

Ter acesso à água potável e segura é um direito humano fundamental para a manutenção da vida. Mesmo assim, cerca de 884 milhões de pessoas no mundo não tem essa disponibilidade.¹

A água é utilizada pela sociedade para fins distintos, sendo doméstico, agrícola, produção de energia, entre outros. Por um lado, isto é um fator importante para qualidade de vida, por outro, a água pode ser um meio de transmissão de doenças quando não é tratada ou até mesmo quando tratada de maneira indevida.

Os coagulantes químicos são utilizados há mais de décadas para auxiliar na remoção cor e

turbidez nos tratamentos de água convencionais. Os principais coagulantes químicos utilizados são: sulfato de alumínio, cloreto férrico, policloreto de alumínio (PAC) e sulfato férrico.²

O sulfato de alumínio tem sido amplamente utilizado como coagulante químico no tratamento de água no Brasil e no mundo. Isso porque é um produto barato, com ótima eficiência na coagulação e por ser de fácil produção e transporte.³ Contudo, um dos maiores problemas destes coagulantes convencionais é o residual de alumínio presente na água após o tratamento, que pode estar associado a doenças degenerativas, como o Alzheimer.⁴

Além disso, o uso destes coagulantes resulta na presença de alumínio no fim do processo,

dificultando a disposição do lodo gerado, uma vez que o alumínio não é biodegradável.⁵

Neste contexto, a substituição total ou parcial dos coagulantes tradicionalmente empregados, como o sulfato de alumínio, por coagulantes naturais pode eliminar ou minimizar os riscos ligados à sua toxicidade e baixa biodegradabilidade.⁶

O uso de coagulantes naturais tem sido estudado e se apresenta como uma alternativa interessante para o tratamento de água, principalmente devido à sua abundante disponibilidade, baixo custo, baixa toxicidade e comportamento multifuncional.^{7,8}

Alguns estudos recentes foram reportados com a aplicação de coagulantes extraídos de plantas como *Plantago ovata*, com remoção de turbidez de 36% para o extrato cru das sementes, que posteriormente foi associado com cloreto férrico; *Musa ABB* com remoção de turbidez de 95% para o amido acetilado; *Strychnos potatorum* e *Moringa oleifera* com remoção de turbidez em torno de 60% e 90%, respectivamente para os extratos das sementes; além da utilização de amido de banana verde, pectina de casca de laranja e extrato de semente de tamarindo, em que os extratos não apresentaram atividade coagulante, porém também foram avaliados em associação com o sulfato de alumínio.^{6,9-11}

A associação com coagulantes químicos pode aumentar a eficiência de coagulantes naturais, como demonstrado em estudos anteriores. Ramavandi (2014) utilizou extrato de *Plantago ovata* associado com cloreto férrico e observou 96% de remoção de turbidez; Lima et al. (2017) utilizaram a combinação de policloreto de alumínio (PAC) com extrato de *Abelmoschus esculentus* e obtiveram como resultado remoção de turbidez superior a 99%; Buenaño et al. (2019) observaram remoções de turbidez superiores a 87% quando aplicaram amido de banana verde, pectina de casca de laranja e extrato de semente de tamarindo associados com sulfato de alumínio.^{6,9,12}

O coagulante natural mais amplamente estudado e que apresenta alta eficiência de remoção tanto para água de alta turbidez quanto para água de baixa turbidez é a *Moringa oleifera*.^{6,13} A moringa é uma planta nativa do nordeste da Índia, pertencente à família *Moringaceae*, composta por um único gênero (*Moringa*) e 14 espécies.^{14,15} Adapta-se a habitats com baixos índices pluviométricos, climas quentes e não requer um tipo específico de solo.¹⁶

Assume-se que as sementes de moringa atuam

como coagulante na clarificação da água devido à presença de uma proteína catiônica de alto peso molecular, que pode reduzir a turbidez da água tratada.¹⁷ A moringa não altera significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento.^{18,19} O lodo produzido durante o processo de coagulação é inócuo, pois todos os subprodutos da moringa são orgânicos, não-tóxicos e biodegradáveis.¹⁷

Estudos anteriores avaliaram o extrato de *Moringa oleifera* como coagulante aplicado para a clarificação da água, com eficiência de remoção de turbidez superiores a 75%.^{13,20-27} Também foram encontrados estudos de remoção de outros poluentes, tais como: lauril sulfato de sódio, ácidos húmicos, corantes, sólidos suspensos, dureza, arsênio e metais pesados.^{26,28-35}

Além disso, a combinação de extrato de *Moringa oleifera* com coagulantes químicos também foi avaliada anteriormente, com o objetivo de aumentar a eficiência dos processos de coagulação/floculação. A combinação do extrato de moringa já foi avaliada com PAC, cloreto férrico, sulfato férrico e sulfato de alumínio.^{18,20,36-42}

Sendo assim, a proposta deste trabalho foi avaliar a extração por diferentes solventes do coagulante natural obtido a partir de sementes de *Moringa oleifera* puro e combinado com sulfato de alumínio, para a clarificação de águas superficiais.

2. Material e Métodos

As amostras de água bruta utilizadas neste trabalho foram coletadas em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), localizada na cidade de Campo Mourão, Paraná, Brasil. A água superficial é proveniente da bacia do rio do Campo. A caracterização da água antes e após o tratamento foi realizada por meio dos seguintes parâmetros: cor (Colorímetro Digimed DM-Cor), turbidez (turbidímetro Policontrol Ap 2000), pH (pHmetro Kasvi K39-1014B) e condutividade (Condutivímetro Digimed DM-32), seguindo a metodologia de *Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater*.^{43,44}

2.1. Obtenção dos coagulantes orgânicos

As sementes foram trituradas em um moinho de faca tipo Willy (micro) Solab®, e posteriormente passadas em uma peneira com

diâmetro de 0,59 mm. A extração do óleo das sementes foi realizada por ultrassom, em banho ultrassônico Ultrasonic Cleaner modelo DC200H, na frequência de 40 kHz, tempo de extração de 60 minutos, temperatura igual a 25 °C, e a massa da amostra/volume de solvente de 1:10. Os solventes utilizados foram hexano e etanol, por terem apresentado rendimentos consideráveis de extração anteriormente.^{45,46} A metodologia empregada foi adaptada da literatura.⁴⁷

O método de ultrassom foi escolhido por apresentar maior rendimento de extração do óleo em um tempo mais curto quando comparado com os processos clássicos, como o Soxhlet.^{45,48,49}

Para obtenção do coagulante de moringa, utilizou-se 1, 3 e 5 g da semente desengordurada em 10, 30 e 50 mL de solvente, respectivamente

(Figura 1a). Também foi utilizada a semente *in natura* para fins de comparação. Para a extração do coagulante, as sementes desengorduradas e *in natura* foram submetidas à turbólise por 3 min em para 0,1 L de água destilada (Figura 1b), e o material obtido foi filtrado a vácuo em papel de filtro comum (Figura 1c), resultando nos coagulantes em solução aquosa (Figura 1d), de acordo com a metodologia descrita por Baptista *et al.* (2015).⁵⁰

Com o objetivo de aumentar a capacidade de extração dos agentes coagulantes, além da extração em água destilada, também foram utilizadas soluções de NaCl nas concentrações de 0,5 e 1,5 M, resultando nos coagulantes em solução salina. Na literatura, o NaCl é apontado como um agente extrator importante.^{25,50,51}



Figura 1. a - Semente de moringa separada em cadinhos com 1, 3 e 5 gramas; b - Semente de moringa sendo triturada em solução aquosa; c - Processo de filtração a vácuo; d - Coagulantes orgânicos com concentrações distintas

2.2. Preparo do coagulante químico

Como coagulante químico foi escolhido o sulfato de alumínio, $Al_2(SO_4)_3$, por ser amplamente empregado no tratamento de água.^{2,3}

A solução de sulfato de alumínio foi preparada a partir da adição de 1g de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ da marca Dinâmica Contemporânea Ltda em 1 L de água.

2.3. Ensaios de coagulação/floculação

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados no equipamento de *Jar-Test* da marca Nova Ética. Os ensaios ocorreram com pH entre 7 e 8, uma vez que o pH próximo da neutralidade é o ideal para a ação coagulante da semente de *Moringa oleifera*.²⁸

A temperatura foi mantida próxima à temperatura ambiente, variando entre 25 a 30 °C.

A combinação entre as diferentes massas utilizadas nos extratos de sementes, os diferentes solventes empregados com as diferentes concentrações de NaCl utilizadas estão apresentadas na Tabela 1, em que (N) representa a semente *in natura*, (H) representa a semente desengordurada em hexano e (E) representa a semente desengordurada em etanol. A nomenclatura utilizada, Cx representa o número do coagulante e a última letra o solvente utilizado.

As soluções foram inseridas em jarros com um litro de água bruta, e 1 mL de solução de coagulante. Um controle sem adição de coagulante também foi realizado, sendo este o teste em branco.

As condições operacionais compreenderam uma mistura rápida de 1 min com gradiente de velocidade de 120 rpm e mistura lenta de 15 min com gradiente de velocidade de 60 rpm, seguido de 15 min de decantação no final do processo. Cada ensaio foi realizado em duplicata, totalizando 20 ensaios.

Após a sedimentação, foi realizada a leitura de cor, pH, turbidez e condutividade para comparação com os valores da água bruta.

A eficiência da remoção de turbidez e cor, foi calculada por meio da Equação 1.

$$(\%) = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

C_i : concentração inicial;

C_f : concentração final.

Os dados obtidos a partir destas combinações foram submetidos a um teste para comparação de médias em cada uma das amostras afim de verificar a existência de diferença significativa entre as mesmas. Para tanto aplicou-se a Análise da Variância – Anova.

2.4. Ensaios combinados

Após analisar a melhor eficiência dos coagulantes obtidos a partir das sementes de *Moringa oleifera*, foram realizados ensaios combinados com o coagulante químico sulfato de alumínio. As condições operacionais de coagulação/floculação e sedimentação foram as mesmas utilizadas anteriormente.

Tabela 1. Combinação entre as diferentes massas solventes e concentrações de NaCl para a obtenção dos coagulantes, com as sementes *in natura*, desengorduradas com hexano e com álcool etílico

		Concentração Salina (M)		
		0	0,5	1,5
Massa da Semente (g)	1	C1N	C4N	C7N
		C1H	C4H	C7H
		C1E	C4E	C7E
	3	C2N	C5N	C8N
		C2H	C5H	C8H
		C2E	C5E	C8E
	5	C3N	C6N	C9N
		C3H	C6H	C9H
		C3E	C6E	C9E

O volume de cada coagulante adicionado em cada jarro de 1 litro de água está descrito na Tabela 2.

Os coagulantes orgânicos utilizados para a combinação com o coagulante orgânico foram os coagulantes C7H (massa de semente: 1g; solvente: hexano; concentração de NaCl: 1,5 M) e C2E (massa de semente: 3g; solvente: etanol; concentração de NaCl: 0,0 M). (Figura 2). Esses foram escolhidos por terem melhores resultados, ou seja, maiores porcentagem de remoção dos parâmetros avaliados.

Da mesma forma que realizado para os ensaios de coagulação/floculação realizados com os coagulantes orgânicos, os dados dos ensaios combinados foram submetidos a um teste para comparação de médias em cada uma das amostras afim de verificar a existência de diferença significativa entre as mesmas. Para tanto aplicou-se a Análise da Variância – Anova.

3. Resultados e Discussões

3.1. Resultados dos ensaios com os coagulantes orgânicos

Após a extração do coagulante de *Moringa oleifera* foram realizados os ensaios de coagulação/floculação seguida de sedimentação com 1 mL de

coagulante por litro de água bruta, e os resultados estão apresentados na Tabela 3 para a semente *in natura*, Tabela 4 para a semente desengordurada com hexano, e Tabela 5 para a semente desengordurada com etanol.

A partir das Tabelas 3, 4 e 5 é possível observar que os coagulantes extraídos da *Moringa oleifera* não afetam significativamente o pH da água, que permanece entre 7 e 8 para todas as dosagens testadas. Estes resultados estão de acordo com a literatura, pois já foi apontado anteriormente que o uso de *Moringa oleifera* como coagulante tem pouco efeito no pH da água.^{19,21,36} O pH estável do coagulante extraído da *Moringa oleifera* se apresenta como uma vantagem em relação aos coagulantes químicos no tratamento de água, devido à redução na quantidade de reagentes químicos necessários para o ajuste de pH nas próximas etapas do tratamento de água.^{52,53}

A semente *in natura* apresentou valores menores de eficiência de cor e turbidez, com aumento destes parâmetros para a maioria dos coagulantes avaliados. Dezfooli *et al.* (2016) relataram que a presença de lipídios e carboidratos no extrato da moringa reduz a eficiência da coagulação, e para evitar isto, é indicado fazer a remoção do óleo das sementes antes do preparo do coagulante com o extrato da semente.⁵⁴

Tabela 2. Ensaio Combinado de coagulante extraído de semente de moringa e sulfato de alumínio

Coagulante	Volume de Coagulante Utilizado (mL)		
<i>Moringa oleifera</i>	1	3	5
Sulfato de Alumínio	1	1	1

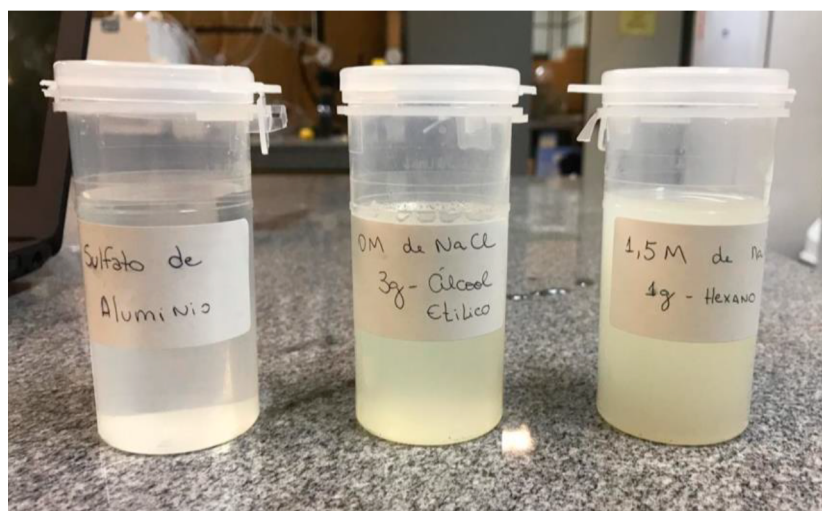


Figura 2. Coagulantes obtidos para os ensaios combinados

Tabela 3. Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando semente de moringa in natura como coagulante

Coagulante	Parâmetros			
	pH	Cor (mg/L Pt-Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)
Água bruta	7,24	55,8	15,7	44,5
Branco	7,44	58,0	16,4	44,89
C1N	7,62	58,3	16,8	58,92
C2N	7,51	60,3	18,7	49,22
C3N	7,47	50,1	15,7	47,14
C4N	7,39	57,1	16,0	100,01
C5N	7,76	56,7	19,2	51,68
C6N	7,46	64,0	22,3	106,75
C7N	7,50	58,0	19,2	114,50
C8N	7,35	65,1	15,7	112,03
C9N	7,40	73,2	24,2	111,58

Tabela 4. Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando semente de moringa desengordurada com hexano como coagulante

Coagulante	Parâmetros			
	pH	Cor (mg/L Pt-Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)
Água bruta	7,26	42,8	9,8	33,06
Branco	7,27	42,8	9,6	42,04
C1H	7,60	42,3	9,6	40,41
C2H	7,18	43,5	11,2	40,54
C3H	7,56	43,1	12,7	41,75
C4H	7,39	34,9	8,0	94,42
C5H	7,35	44,9	12,4	102,46
C6H	7,31	49,9	19,7	99,50
C7H	7,18	34,1	7,9	103,38
C8H	7,41	46,8	13,5	104,79
C9H	7,20	56,6	19,7	108,42

Tabela 5. Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando semente de moringa desengordurada com etanol como coagulante

Coagulante	Parâmetros			
	pH	Cor (mg/L Pt-Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)
Água bruta	7,75	29,7	7,1	71,82
Branco	7,25	27,5	6,0	78,76
C1E	7,43	27,0	4,9	72,17
C2E	7,51	25,2	4,8	74,06
C3E	7,69	26,8	5,7	75,39
C4E	7,31	29,7	7,0	149,46
C5E	7,68	31,2	10,0	134,31
C6E	7,53	37,7	14,6	141,01
C7E	7,60	28,3	7,3	147,65
C8E	7,69	37,6	11,8	158,55
C9E	7,62	39,0	13,1	152,57

Para a semente desengordurada com hexano, a eficiência de remoção de cor variou entre 0 a 20,3%, sendo o melhor resultado encontrado para o coagulante C7H. E para a remoção de turbidez pode-se observar um valor máximo de 18,6% para o mesmo coagulante. Com isso, nota-se que a remoção de cor com a *Moringa oleifera* é semelhante ao seu comportamento com relação à turbidez, estando de acordo com a literatura consultada.^{25,56}

Para os coagulantes obtidos com a semente desengordurada em etanol, as melhores eficiências foram em solução aquosa, variando entre 9,8 a 15,2% para remoção de cor e 19,7 a 32,4% para turbidez.

Paterniani *et al.* (2009), utilizaram água bruta com turbidez inicial de 100 NTU e obtiveram uma eficiência de remoção de turbidez superior a 90% com coagulante de moringa em concentração de 500 mg/L.⁵⁶ Cardoso *et al.* (2008), usando uma solução aquosa de extrato de moringa, com concentração de 100mg/L, obtiveram uma remoção de 91,4% em água bruta com turbidez inicial de 247 NTU.⁵⁷ Segundo estes autores, as diferenças na remoção cor e turbidez podem ser explicadas pela diferença das características iniciais da água bruta, sendo que neste trabalho, a turbidez inicial média foi de 10,9 NTU. Diante destes resultados, observou-se que o coagulante orgânico não é tão eficiente para clarificação de águas superficiais com turbidez baixa. Estes dados, também foram evidenciados por Madrona *et al.* (2012).²⁵

Em processos efetivos de tratamento de água, monitorar a dosagem do coagulante é essencial. A dosagem que apresenta a maior porcentagem de remoção de cor e turbidez é denominada dosagem ótima, e dosagens diferentes desta podem aumentar a turbidez devido à restabilização de carga.⁵⁷

As dosagens ótimas para remoção de cor e turbidez foram observadas para os seguintes coagulantes: C7H e C2E. O coagulante C7H apresentou redução da cor de 42,8 mg/L Pt-Co para 34,1 mg/L Pt-Co e da turbidez de 9,7 NTU para 7,9 NTU, o que implica em remoção de 20,3% para cor e 18,6% para turbidez. Já o coagulante C2E reduziu a cor de 29,7 mg/L Pt-Co para 25,2 mg/L Pt-Co e a turbidez de 7,1 NTU para 4,8 NTU, que representam porcentagens de remoção de 15,2% para cor e 32,4% para turbidez.

Os resultados podem ter sido influenciados pela turbidez relativamente baixa da água bruta,

pois os coagulantes naturais são mais eficientes em água de turbidez elevada, conforme reportado anteriormente na literatura.^{58,59} Tempos maiores de sedimentação também poderiam promover maior remoção de cor e turbidez, conforme reportado para a proteína coagulante extraída da for *M. stenopetala*.⁶⁰

Também é importante salientar que o uso das soluções salinas para a obtenção dos coagulantes não seriam prejudiciais para consumo humano, uma vez que água com condutividade menor que 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ apresentam concentrações baixas de sais dissolvidos, e podem ser ingeridas, e as amostras água tratada com as soluções de maior potencial coagulante, C7H e C2E, apresentaram condutividade de 103,38 e 74,06 $\mu\text{S}/\text{cm}$.⁶¹

Considerando então, que o coagulante C7H e o coagulante C2E, obtiveram os melhores resultados, foram estes coagulantes selecionados para os ensaios combinados.

Para os ensaios combinados com o coagulante químico, optou-se por utilizar os coagulantes orgânicos que apresentaram menores valores para parâmetros avaliados, pois para o teste estatístico aplicado para comparação de médias em cada uma das amostras afim de verificar a existência de diferença significativa elas, resultou em um p-valor maior que 0,05, desta forma observa-se não haver diferença significativa entre as amostras.

3.2. Resultados dos ensaios combinados

Durante os nove ensaios combinando coagulante orgânico do extrato de *Moringa oleifera* com o coagulante químico sulfato de alumínio, foram avaliados os mesmos parâmetros utilizados anteriormente, pH, cor, turbidez e condutividade, que apresentaram os resultados de acordo a Tabela 6, 7 e 8 quando aplicados 1, 3 e 5 mL de coagulante orgânico combinados com 1 mL de coagulante químico por litro de água bruta.

Observou-se novamente que o valor de pH manteve variações mínimas em relação ao valor da água bruta para todos testes de coagulantes empregados. Para o coagulante orgânico este resultado já era esperado, pois como demonstrado anteriormente, o uso de *Moringa oleifera* como coagulante tem pouco efeito no pH da água.^{19,36,52} Entretanto, a utilização de sulfato de alumínio deveria consumir alcalinidade da água, e, portanto, diminuir o pH da água, conforme descrito na literatura.^{26,36,62} Este efeito não foi observado

Tabela 6. Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando 1 mL de coagulante orgânico combinado com 1 mL de coagulante químico

Coagulante	pH	Cor (mg/L Pt-Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)
Água bruta	7,03	133	41,6	94,12
Branco	6,89	138	44	95,34
1mL C7H + 1 mL Sulfato de Alumínio	7,43	54,1	13,4	96,8
1 mL C2E + 1 mL Sulfato de Alumínio	7,12	49,1	10,6	99,9

Tabela 7. Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando 3 mL de coagulante orgânico combinado com 1 mL de coagulante químico

Coagulante	pH	Cor (mg/L Pt-Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)
Água bruta	7,03	133	41,6	94,12
Branco	6,89	138	44	95,34
3 mL C7H + 1 mL Sulfato de Alumínio	7,44	41,1	7,3	97,7
3 mL C2E + 1 mL Sulfato de Alumínio	7,12	13,2	2,7	108,9

Tabela 8. Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando 5 mL de coagulante orgânico combinado com 1 mL de coagulante químico

Coagulante	pH	Cor (mg/L Pt-Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)
Água bruta	7,03	133	41,6	94,12
Branco	6,89	138	44	95,34
5 mL C7H + 1 mL Sulfato de Alumínio	7,25	57,5	10,8	97,9
5 mL C2E + 1 mL Sulfato de Alumínio	7,02	42,1	10,1	109,1

neste trabalho provavelmente devido à baixa concentração de sulfato de alumínio utilizada.

Em relação a remoção de cor e turbidez dos ensaios combinados, os resultados foram melhores que aqueles encontrados quando se aplicou apenas o coagulante orgânico nos ensaios de coagulação/floculação, sendo que a cor da água bruta diminuiu de 133 mg/L Pt-Co para valores entre 13,2 e 57,5 mg/L Pt-Co, respectivamente para as combinações de 3mL de C2E com 1mL da solução de sulfato de alumínio e 5 mL de C7H com 1mL da solução de sulfato de alumínio. Já a turbidez da água bruta diminuiu de 41,6 NTU para valores entre 2,7 e 13,4 NTU, para as combinações de 3mL de C2E com 1mL da solução de sulfato de alumínio e 1 mL de C7H com 1mL da solução de sulfato de alumínio, respectivamente. Como já demonstrado anteriormente na literatura, a aplicação do coagulante orgânico obtido a partir da *Moringa oleifera* leva a menores remoções de cor e turbidez, porém seu uso como adjuvante de coagulantes químicos pode levar a resultados mais interessantes.^{38,41}

Em relação à condutividade, todas as combinações produziram água tratada com condutividade menor que 200 $\mu\text{S/cm}$, ou seja, com baixa quantidade de sais dissolvidos e podem ser ingeridas segundo as recomendações da FUNASA (2014).⁶¹

As porcentagens de remoção de cor e turbidez para as combinações de coagulante orgânico e coagulante químico são apresentadas nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

Em comparação com os dados obtidos para o tratamento realizado com 1 mL do coagulante obtido a partir das sementes de *Moringa oleifera*, observa-se que a combinação de 1mL do coagulante orgânico com 1mL da solução de sulfato de alumínio aumentou a remoção de cor e turbidez do coagulante C7H de 20,3% para 59,7% e de 18,6% para 67,8%, respectivamente, enquanto que para o coagulante C2E, este aumento foi de 15,2% para 63,1% e de 32,4% para 74,5%, respectivamente. Estes resultados confirmam que o emprego do coagulante natural obtido a partir de *Moringa oleifera* apresenta melhores resultados quando combinados com coagulantes químicos como o

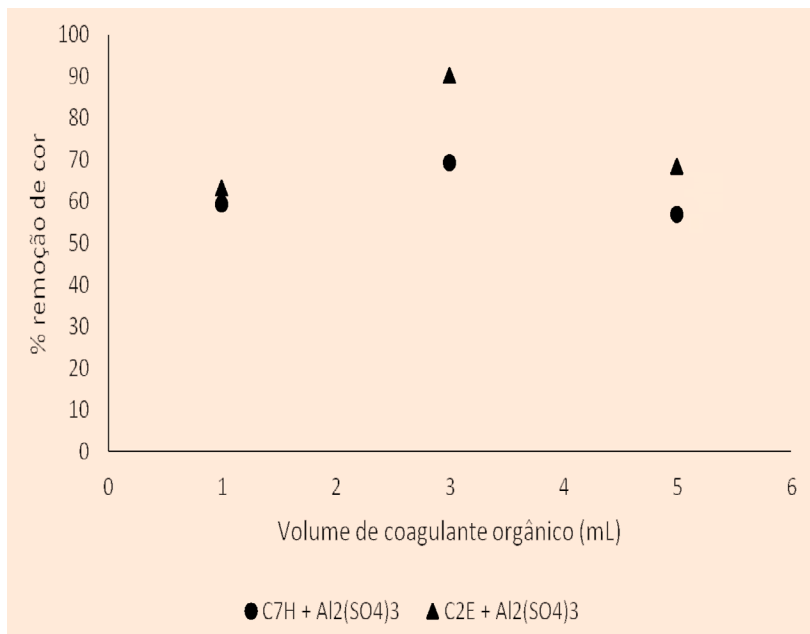


Figura 3. Porcentagens de remoção de cor obtidas com os coagulantes combinados

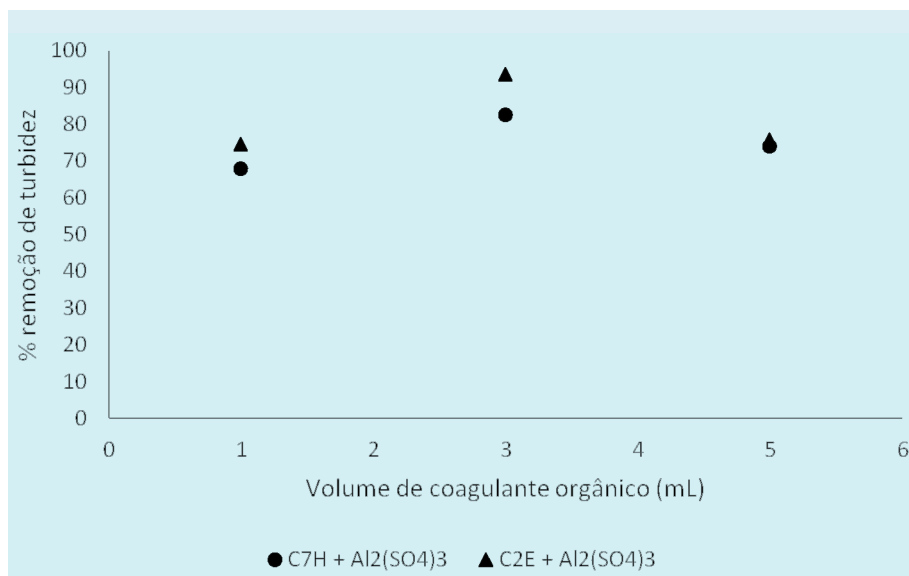


Figura 4. Porcentagens de remoção de turbidez obtidas com os coagulantes combinados

sulfato de alumínio, podendo ser utilizado como excelente adjuvante nos processos de coagulação/floculação, conforme descrito na literatura.^{36,38} Este comportamento também foi observado para outros polímeros naturais, sobretudo quando a turbidez da água bruta é baixa.⁶

Quando o volume de coagulante orgânico combinado com o coagulante químico aumentou de 1 mL para 3 mL, foram atingidas porcentagens de remoção ainda mais altas, 69,1% e 82,5%, respectivamente para cor e turbidez com 3 mL do coagulante C7H e 1 mL da solução de sulfato de

alumínio e 90,1% e 93,5%, respectivamente para cor e turbidez com 3 mL do coagulante C2E e 1 mL da solução de sulfato de alumínio. Os resultados obtidos estão de acordo com a literatura apresentada anteriormente.

Valverde *et al.* (2018) aplicaram diferentes combinações de coagulante orgânico obtido a partir de *Moringa oleifera* com PAC e observaram 92% de remoção de cor e 77% de remoção de turbidez para uma relação semelhante à empregada neste trabalho para 3 mL do coagulante C2E e 1 mL da solução de sulfato de alumínio.³⁸

O trabalho de Nonfodji *et al.* (2020) apresentou remoção máxima de turbidez de 90,45% utilizando *Moringa oleifera* e PAC, também para uma relação semelhante à empregada neste trabalho para 3 mL do coagulante C2E e 1 mL da solução de sulfato de alumínio.³⁶

Freitas *et al.* (2016) observaram remoção máxima de turbidez de 91,3% fazendo o tratamento simultâneo com sulfato de alumínio e proteína extraída de *Moringa oleifera* e de 96,8% para o tratamento utilizando sulfato de alumínio seguido do tratamento utilizando a proteína extraída de *Moringa oleifera*.⁴¹

Os resultados indicam que um aumento no volume empregado de coagulante orgânico pode levar a melhores resultados.³⁶ Contudo, não é isso que se observa quando são avaliados os resultados obtidos da combinação de 5mL de coagulante orgânico com 1 mL da solução de coagulante químico. Foram atingidas porcentagens de remoção de 56,8% e 74,0% respectivamente para cor e turbidez com o coagulante C7H, e 68,3% e 75,7% respectivamente para cor e turbidez com o coagulante C2E.

Apesar do sulfato de alumínio ser o sal mais comum e mais economicamente viável empregado como coagulante no tratamento de água,⁵ a necessidade de maiores remoções de turbidez requer quantidades maiores deste coagulante químico, resultando em grandes quantidades de alumínio residual presente na água. No cenário do presente estudo, o uso do coagulante orgânico extraído da *Moringa oleifera* se mostra importante, pois evita a necessidade do uso de quantidades cada vez maiores de sulfato de alumínio para o tratamento de água.

Os resultados indicam que a dosagem ótima foi atingida com 3mL de coagulante orgânico, sendo que o coagulante C2E apresentou melhor desempenho na remoção de cor e turbidez. Quando esta dosagem foi ultrapassada, a cor e a turbidez podem ter aumentado devido à restabilização de cargas.⁵⁷

A aplicação de 1mL do coagulante orgânico C2E, que corresponde ao coagulante de 3g de semente desengordurada em etanol extraído em 100 mL de água, combinado com 1 mL da solução 1 g/L de sulfato de alumínio, em 1 L de água bruta resultou em água tratada com cor de 13,2 mg/L Pt-Co e turbidez de 2,7 NTU, valores que estão de acordo com os padrões organolépticos de potabilidade do Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 2017.⁶³

Assim como demonstrado para os ensaios apenas com os coagulantes orgânicos, para os ensaios combinados com o coagulante químico, os melhores resultados foram escolhidos de acordo com as combinações que apresentaram menores valores para parâmetros avaliados, pois para o teste estatístico aplicado para comparação de médias em cada uma das amostras afim de verificar a existência de diferença significativa elas, resultou em um p-valor maior que 0,05, desta forma observa-se não haver diferença significativa entre as amostras.

4. Conclusão

Diante dos resultados encontrados neste trabalho, percebe-se que o método ultrassônico utilizado para desengordurar a semente de *Moringa oleifera* foi eficiente, uma vez que os coagulantes obtidos da semente *in natura* obtiveram resultados inferiores de remoção de parâmetros quando comparado com os coagulantes obtidos de sementes desengorduradas.

Verificou-se que para remoção de cor e turbidez, o coagulante obtido das sementes de *Moringa oleifera* desenvolvido com 3 gramas de semente desengordurada em etanol extraído em 100 mL de água apresentou os melhores resultados, tendo a porcentagem de remoção de 15,2% para cor e 32,4% para turbidez. Estes resultados podem ser consequência do baixo valor de turbidez inicial.

Uma solução para este tipo de situação é a combinação dos coagulantes, em que quando os ensaios foram realizados combinando o coagulante orgânico de melhor resultado com o coagulante químico, a porcentagem de remoção foi de 90,1% para cor e 93,5% para turbidez. Os dos parâmetros valores para a água tratada foram de 13,2 mg/L Pt-Co para cor e 2,7 NTU para turbidez, estando de acordo com os padrões organolépticos da legislação brasileira.

Referências Bibliográficas

¹Sítio da Organização das Nações Unidas. O Direito Humano à Água e Saneamento. 2015. Disponível em: <http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf>. Acesso em: 18 abril 2018.

- ²Iwamura, V. C.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016. [[Link](#)]
- ³Pavanelli, G.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, 2001. [[Link](#)]
- ⁴Bongiovani, M. C.; Camacho, F. P.; Valverde, K. C.; Santos, T. R. T.; Nishi, L.; Bergamasco, R. Evaluation of trihalomethanes formation using combined process coagulation/floculation/membranes in water treatment. *Chemical Engineering Transactions* **2015**, *43*, 6. [[CrossRef](#)]
- ⁵Sahu, O. P.; Chaudhari, P. K. Review on chemical treatment of industrial waste water. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* **2013**, *17*, 241. [[CrossRef](#)]
- ⁶Buenaño, B.; Vera, E.; Aldás, M. B. Study of coagulating/flocculating characteristics of organic polymers extracted from biowaste for water treatment. *Ingeniería e Investigación* **2019**, *39*, 24. [[CrossRef](#)]
- ⁷Bhuptawat, H.; Folkard, G. K.; Chaudhari, S. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating Moringa oleifera seed coagulant. *Journal of Hazardous Materials*, **2007**, *142*, 477. [[CrossRef](#)]
- ⁸Tukki, O. H.; Barminas, J. T.; Osemeahon, S. A.; Onwuka, J. C.; Donatus, R. A. Adsorption of colloidal particles of Moringa oleifera seeds on clay for water treatment applications. *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua* **2016**, *65*, 75. [[CrossRef](#)]
- ⁹Ramavandi, B. Treatment of water turbidity and bacteria by using a coagulant extracted from *Plantago ovata*. *Water Resources and Industry* **2014**, *6*, 36. [[CrossRef](#)]
- ¹⁰Tirado, D. F.; Herrera, A. P.; Acevedo Correa, D. Evaluation of the coagulant capacity of starch obtained from *Topocho pelipita* plantain clone (*Musa abb*) for turbidity and color removal in raw waters. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* **2017**, *33*, 125. [[CrossRef](#)]
- ¹¹Gaikwad, V. T.; Munavalli, G. R. Turbidity removal by conventional and ballasted coagulation with natural coagulants. *Applied Water Science*, 2019, *9*, 130. [[CrossRef](#)]
- ¹²Lima, B. C.; Pinguelo, G. C. B.; Vernasqui, L. G.; Teixeira, G. G.; Silva Medeiros, F. V. Influência do tempo de mistura lenta no uso de quiabo como floculante aplicado associado ao policloreto de alumínio. *Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos* **2017**, *8*, 13. [[CrossRef](#)]
- ¹³Jung, Y.; Jung, Y.; Kwon M.; Kye, H.; Abrha, Y. W.; Kang, J. W. Evaluation of *Moringa oleifera* seed extract by extraction time: effect on coagulation efficiency and extract characteristic. *Journal of Water and Health* **2018**, *16*, 904. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁴Anwar, F.; Latif, S.; Ashraf, M.; Gilani, A. H. *Moringa oleifera*: a food plant with multiple medicinal uses. *Phytother Research* **2007**, *21*, 17. [[CrossRef](#)]
- ¹⁵Meneghel, A. P.; Gonçalves Jr., A. C.; Strey, L.; Rubio, F.; Schwantes, D.; Casarin, J. Biosorption and removal of chromium from water by using moringa seed cake (*Moringa oleifera* Lam.). *Química Nova* **2013**, *36*, 1104. [[CrossRef](#)]
- ¹⁶Poumaye, N.; Mabingui, J.; Lutgen, P.; Bigan, M. Contribution to the clarification of surface water from the *Moringa oleifera*: Case M'Poko River to Bangui, Central African Republic. *Chemical Engineering Research and Design* **2012**, *90*, 2346. [[CrossRef](#)]
- ¹⁷Ndabigengesere, A.; Narasiah, K. S.; Talbot, B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Research* **1995**, *29*, 703. [[CrossRef](#)]
- ¹⁸Awad, M.; Wang, H.; Li, F. Preliminary study on combined use of Moringa seeds extract and PAC for water treatment. *Research Journal of Recent Sciences* **2013**, *2*, 52. [[Link](#)]
- ¹⁹Ndabigengesere, A.; Narasiah, K. S. Quality of water treated by coagulation using Moringa oleifera seeds. *Water Research* **1998**, *32*, 781. [[CrossRef](#)].
- ²⁰Muyibi, S. A.; Evison, L. M. Coagulation of turbid water and softening of hardwater with *Moringa oleifera* seeds. *International Journal of Environmental Studies* **1996**, *49*, 247. [[CrossRef](#)]
- ²¹Okuda, T.; Baes, A. U.; Nishijima, W.; Okada, M. Improvements of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. *Water Research* **1999**, *33*, 3373. [[CrossRef](#)]
- ²²Ali, E.; Muyibi, S.; Salleh, H.; Alam, M.; Salleh, R. Production of natural coagulant from Moringa oleifera seed for application in treatment of low turbidity water. *Journal of Water Resource and Protection* **2010**, *2*, 259. [[CrossRef](#)]
- ²³Lea M. Bioremediation of turbid surface water using seed extract from Moringa oleifera Lam. (drumstick) tree. *Current protocols in microbiology* **2010**, *16*, 1G.2.1. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

- ²⁴Sánchez-Martín, J.; Ghebremichael, K.; Beltrán-Heredia, J. Comparison of single-step and two-step purified coagulants from *Moringa oleifera* seed for turbidity and DOC removal. *Bioresource Technology* **2010**, *101*, 6259. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²⁵Madrona, G. S.; Branco, I. G.; Seolin, V. J.; Alves Filho, B. A.; Fagundes-Klen, M. R.; Bergamasco, R. Evaluation of extracts of *Moringa oleifera* Lam seeds obtained with NaCl and their effects on water treatment. *Acta Scientiarum* **2012**, *34*, 289. [[CrossRef](#)]
- ²⁶Santos, A. F. S.; Paiva, P. M. G.; Teixeira, J. A. C.; Brito, A. G.; Coelho, L. C. B. B.; Nogueira, R. Coagulant properties of *Moringa oleifera* protein preparations: application to humic acid removal. *Environmental Technology* **2013**, *33*, 69. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²⁷Sudarmin, S.; Kurniawan, C.; Puji, N.; Musyarofah, A.; Nurul, I. The Implementation of Chemical Project Learning Model Integrated with Ethno-Stem Approach on Water Treatment Topic Using Kelor (*Moringa oleifera*) Seed Extract As Bio-Coagulant, UNNES International Conference on Research Innovation and Commercialization, 2018. [[CrossRef](#)]
- ²⁸Beltrán-Heredia, J.; Sánchez-Martín, J. Removal of sodium lauryl sulphate by coagulation/flocculation with *Moringa oleifera* seed extract. *Journal of Hazardous Materials* **2009**, *164*, 713. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²⁹Beltrán-Heredia, J.; Sánchez-Martín, J.; Delgado-Regalado, A. Removal of dyes by *Moringa oleifera* seed extract. Study through response surface methodology. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* **2009**, *84*, 1653. [[CrossRef](#)]
- ³⁰Prasad, R. K. Color removal from distillery spent wash through coagulation using *Moringa oleifera* seeds: use of optimum response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials* **2009**, *165*, 804. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ³¹Bhatia, S.; Othman, Z.; Ahmad, A. L. Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using *Moringa oleifera* seeds as natural coagulant. *Journal of Hazardous Materials* **2007**, *145*, 120. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ³²Olanrewaju, O. O.; Jegede, O. J.; Adeoye, I. A. Comparison of the Coagulating Efficiency of *Moringa Oleifera* (Linnaeus) on Wastewater at Lower and Application. *International Journal of Engineering Science and Application* **2018**, *2*. [[Link](#)]
- ³³Fahmi, M. R.; Najib, N. W. A. Z.; Ping, P. C.; Hamidin, N. Mechanism of turbidity and hardness removal in hard water sources by using *Moringa oleifera*. *Journal of Applied Sciences* **2011**, *11*, 2947. [[CrossRef](#)]
- ³⁴Bazrafshan, E.; Farid, H.; Mostafapour, F. K.; Mahvi, A. H. Removal of Arsenic from Aqueous Environments Using *Moringa peregrina* Seed Extract as a Natural Coagulant. *Asian Journal of Chemistry* **2013**, *25*, 3557. [[CrossRef](#)]
- ³⁵Shan, T. C.; Matar, M. A.; Makky, E. A.; Ali, E. N. The use of *Moringa oleifera* seed as a natural coagulant for wastewater treatment and heavy metals removal. *Applied Water Science* **2017**, *7*, 1369. [[CrossRef](#)]
- ³⁶Nonfodji, O. M.; Fatombi, J. K.; Ahoyo, T. A.; Osseni, S. A.; Aminou, T. Performance of *Moringa oleifera* seeds protein and *Moringa oleifera* seeds protein-polyaluminum chloride composite coagulant in removing organic matter and antibiotic resistant bacteria from hospital wastewater. *Journal of Water Process Engineering* **2020**, *33*, 101103. [[CrossRef](#)]
- ³⁷Mohammed, T. J.; Shakir, E. Effect of settling time, velocity gradient, and camp number on turbidity removal for oilfield produced water. *Egyptian Journal of Petroleum* **2018**, *27*, 31. [[CrossRef](#)]
- ³⁸Valverde, K. C.; Coldebella, P. F.; Silva, M. F.; Nishi, L.; Bongiovani, M. C.; Bergamasco, R. *Moringa oleifera* Lam. and Its Potential Association with Aluminium Sulphate in the Process of Coagulation/Flocculation and Sedimentation of Surface Water. *International Journal of Chemical Engineering* **2018**, *2018*, 6. [[CrossRef](#)]
- ³⁹Valverde, K. C.; Coldebella, P. F.; Nishi, L.; Santos, T. R. T.; Santos, O. A. A.; Bergamasco, R. Otimização dos parâmetros de operação no processo de coagulação/floculação e sedimentação no tratamento de água com a associação PAC e *Moringa oleifera* Lam. *Engevista* **2015**, *17*, 8. [[CrossRef](#)]
- ⁴⁰David, C.; Narlawar, R.; Arivazhagan, M. Performance Evaluation of *Moringa oleifera* Seed Extract (MOSE) in Conjunction with Chemical Coagulants for Treating Distillery Spent Wash. *Indian Chemical Engineer* **2016**, *58*, 189. [[CrossRef](#)]
- ⁴¹Freitas, J. H. E. S.; De Santana, K. V.; Do Nascimento, A. C. C.; De Paiva, S. C.; De Moura, M. C.; Coelho, L. C. B. B.; De Oliveira, M. B. M.; Paiva, P. M. G.; Do Nascimento, A. E.; Napoleão, T. H. Evaluation of using aluminum sulfate and water-soluble *Moringa oleifera* seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water. *Chemosphere* **2016**, *163*, 133. [[CrossRef](#)]

- ⁴²Valverde, K. C.; Nishi, L.; Salcedo Vieira, A. M.; Bongiovani, M. C.; Coldebella, P. F.; Madrona, G. S.; Santos, O. A. A.; Bergamasco, R. Optimization of process conditions in water treatment through coagulation diagrams, using *Moringa oleifera* Lam and aluminium sulphate. *Desalination and Water Treatment* **2015**, *56*, 1787. [CrossRef]
- ⁴³Rice, E. W.; Baird, R. B.; Eaton, A. D.; Clesceri, L. S.; *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater*, 22a. ed., APHA-American Public Health Association: Washington DC, 2012.
- ⁴⁴Eaton, A. D.; Clesceri, L. S.; Greenberg, A. E.; Franson, M. A. H.; *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater*, 20a. ed., APHA-American Public Health Association: Washington DC, 1999.
- ⁴⁵Goh, B.H.H.; Ong, H. C.; Chong, C. T.; Chen, W. H.; Leong, K. Y.; Tan, S.X.; Lee, X. J. Ultrasonic assisted oil extraction and biodiesel sybthesis of Spent Coffee. *Fuel* **2020**, *261*, 1. [CrossRef]
- ⁴⁶Stevanato, N.; Silva, C. Radish seed oil: Ultrasound-assisted extraction using ethanol as solvent and assessment of its potential for ester production. *Industrial Crops and Products* **2019**, *132*, 283. [CrossRef]
- ⁴⁷Siqueira, N. W.; Pereira, N. C.; *Anais do 24^o Encontro Anual de Iniciação Científica*, Maringá, Brasil, 2015.
- ⁴⁸Mohammad, H.; Sadrameli, S. M.; Eslami, F.; Assodeh, A. Optimization of ultrasound-assisted extraction of *Moringa peregrina* oil with response surface methodology and comparison with Soxhlet method. *Industrial Crops and Products* **2019**, *131*, 106. [CrossRef]
- ⁴⁹Zhong, J.; Wang, Y.; Yang, R.; Liu, X.; Yang, Q.; Qin, X. The application of ultrasound and microwave to increase oil extraction from *Moringa oleifera* seeds. *Industrial Crops and Products* **2018**, *120*, 1. [CrossRef]
- ⁵⁰Baptista, A. T. A.; Coldebella, P. F.; Cardines, P. H. F.; Gomes, R. G.; Vieira, M. F.; Bergamasco, R.; Vieira, A. M. S. Coagulation-Flocculation process with ultrafiltered saline extract of *Moringa oleifera* for the treatment of surfasse water. *Chemical Engineering Journal* **2015**, *276*, 166. [CrossRef]
- ⁵¹Nkurunziza, T.; Nduwayezu, J.B.; Banadda, E.N.; Nhapi, I. The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *Water Science and Technology* **2009**, *59*, 1551. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵²Camacho, F. P.; Sousa, V. S.; Bergamasco, R; Teixeira, M. R. The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal* **2017**, *313*, 226. [CrossRef]
- ⁵³Ledo, P. G. S.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008. [Link]
- ⁵⁴Dezfooli, S. M.; Uversky, V. N.; Saleem, M.; Baharudin, F. S.; Hitam, S. M. S.; Bachmann, R. T. A simplified method for the purification of an intrinsically disordered coagulant protein from defatted *Moringa oleifera* seeds. *Process Biochemistry* **2016**, *51*, 1085. [CrossRef]
- ⁵⁵Cardoso, K. C.; Bergamasco, R.; Cossich, E. S.; Morais, L. C. K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. *Acta Scientiarum Technology* **2008**, *30*, 193. [CrossRef]
- ⁵⁶Paterniani, J. E. S.; Mantovani, M. C.; Sant'anna, M. R. Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2009**, *13*, 765. [CrossRef]
- ⁵⁷Yuliasri, I.; Rohaeti, E.; Effendi, H.; Darusman, L. The use of *Moringa oleifera* seed powder as coagulant to improve the quality of wastewater and groundwater. *Earth Environmental Science* **2016**, *31*, 1. [CrossRef]
- ⁵⁸Taiwo, A. S.; Adenike, K.; Aderonke, O. Efficacy of a natural coagulant protein from *Moringa oleifera* (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water, Ile-Ife. *Heliyon* **2020**, *6*, e03335. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵⁹Asrafuzzaman, M.; Fakhruddin, A. N. M.; Hossain, M. A. Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *International Scholarly Researches Notices* **2011**, *2011*, 1. [CrossRef]
- ⁶⁰Megersa, M.; Beyene, A.; Ambelu, A.; Triest, L. Comparison of purified and crude extracted coagulants from plant species for turbidity removal. *International Journal of Environmental Science and Technology* **2019**, *16*, 2333. [CrossRef]
- ⁶¹Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde; *Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS*, 1a. ed., Funasa: Brasília, 2014.
- ⁶²Pereira, E. R.; Francisco A. A.; Theodoro, J. D. P.; Bergamasco, R.; Fidelis, R. Comparação entre a aplicação do coagulante natural *Moringa oleifera* e do coagulante químico sulfato de alumínio no tratamento de água com diferentes níveis de turbidez. *Enciclopédia Biosfera* **2015**, *11*, 3010. [Link]
- ⁶³Sítio do Ministério da Saúde. Disponível em <<https://portalquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolidacao-n-5-de-28-de-setembro-de-2017.pdf>> Acesso em 16 abril 2020.