

II-033 – ANÁLISE DO POTENCIAL COAGULANTE DO EXTRATO AQUOSO DE MORINGA OLEÍFERA LAM: AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO TEMPO DE EXTRAÇÃO E SALINIDADE

Bruna Souza dos Santos⁽¹⁾

Tecnóloga em Gestão Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira. Mestre em Tecnologias Ambientais – PPGTAMB - UTFPR. Doutoranda em Engenharia Química – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE – Câmpus Toledo.

Eduardo Eyng⁽²⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE - Câmpus Toledo. Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Docente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira. Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais – PPGTAMB – UTFPR.

Paulo Rodrigo Stival Bitencourt⁽³⁾

Químico pela Universidade Estadual de Maringá – UEM. Doutor em Química pela Universidade Estadual de Maringá – UEM. Docente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira. Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais – PPGTAMB – UTFPR.

Isabela Solana⁽⁴⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.. Mestranda do Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais – PPGTAMB – UTFPR.

Claudia Luiza Manfredi Gasparovic⁽⁵⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.. Mestranda do Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais – PPGTAMB – UTFPR.

Endereço⁽¹⁾: Av. Brasil, 4232 – Parque Independência – Medianeira – PR – CEP: 85.884-000 – Tel: (45) 3240-8000 – email: brusouzasantos@hotmail.com

Endereço⁽²⁾: Av. Brasil, 4232 – Parque Independência – Medianeira – PR – CEP: 85.884-000 – Tel: (45) 3240-8000 – email: eduardoe yng@utfpr.edu.br

Endereço⁽³⁾: Av. Brasil, 4232 – Parque Independência – Medianeira – PR – CEP: 85.884-000 – Tel: (45) 3240-8000 – email: paulob@utfpr.edu.br

Endereço⁽⁴⁾: Av. Brasil, 4232 – Parque Independência – Medianeira – PR – CEP: 85.884-000 – Tel: (45) 3240-8000 – e-mail: isabela_solana@hotmail.com

Endereço⁽⁵⁾ : Av. Brasil, 4232 – Parque Independência – Medianeira – PR – CEP: 85.884-000 – Tel: (45) 3240-8000 – e-mail: claudia_luizamg@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o potencial do coagulante do extrato aquoso de Moringa oleífera Lam, avaliando os efeitos do tempo de extração e salinidade, visando à produção de solução coagulante natural a ser empregada no tratamento de água com turbidez obtida sinteticamente. Após o preparo do extrato de Moringa oleífera em diferentes tempos de extração e salinidade, e da água turva sintética preparada com kaolin, diferentes concentrações do extrato aquoso natural foram adicionadas para avaliação do potencial do coagulante após ensaios de coagulação/floculação em equipamento Jar Test. Aliado a estes ensaios, foram realizados cinco em branco, a fim de avaliar a água turva sintética sem a adição do coagulante. Os ensaios apresentaram um percentual de remoção da turbidez que variou de 66,45 a 95,15%, já para os ensaios do branco o percentual médio de remoção foi de 81,5%, o que confirmou a eficiência do coagulante natural de Moringa oleífera para algumas amostras. A melhor remoção de turbidez ocorreu nas seguintes condições: 4,1% de NaCl, tempo de agitação magnética de 30,2 minutos e 164,5 mg/L de coagulante natural adicionado à água turva sintética utilizada. Porém, a partir das análises estatísticas realizadas nenhum dos fatores estudados (tempo de extração e salinidade) foi significativo na extração do componente ativo da Moringa oleífera, somente o coagulante natural utilizado foi significativo a 95% de confiança. Aliado a estes ensaios, foram realizados alguns testes adicionais aumentando-se a concentração de coagulante natural a base de Moringa oleífera e os resultados confirmam a tendência do aumento da remoção da turbidez mesmo quando extrapolada a faixa estudada no presente trabalho, porém a melhor faixa de remoção se encontra em valores próximos a 200 mg/L, acima desse valor a redução de turbidez não aumentou significativamente.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulantes naturais, Tratamento de água, redução de turbidez, redução de cor aparente.

INTRODUÇÃO

Na busca por tecnologias alternativas de tratamento de efluentes algumas iniciativas merecem destaque. Um dos produtos que tem encontrado campo para estudos em coagulação/floculação é a semente de Moringa oleífera Lam, seja na sua forma *in natura* ou ainda como extrato.

Os estudos científicos iniciais relacionados a utilização desta planta como coagulante, foram desenvolvidos na Alemanha e na Inglaterra, na década de 80 (ARANTES, RIBEIRO e PATERNIANI, 2012). Pesquisas realizadas na década de 90 (NDABIGENGESERE *et al.*, 1995; OKUDA *et al.*, 1999) demonstraram que proteínas com alto peso molecular presentes nas sementes de Moringa oleífera são responsáveis pelo processo de coagulação, cujas constatações são confirmadas em estudos mais recentes (GHEBREMICHAEL *et al.*, 2005; AGRAWAL *et al.*, 2007).

A utilização do agente coagulante da Moringa oleífera apresentou resultados significativos como coagulante natural, podendo ser considerada como uma técnica alternativa para o tratamento de água (SANTANA, 2009). Na literatura a obtenção de solução coagulante à base de sementes de Moringa oleífera, é reportada de diferentes maneiras não havendo padronização para o procedimento (ARANTES, RIBEIRO e PATERNIANI, 2012).

Os coagulantes naturais têm demonstrado diversas vantagens em relação aos químicos, especificamente no que se refere à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodo residual (MORAES, 2004). A capacidade de coagulação do extrato aquoso de sementes de Moringa oleífera é equivalente ao sulfato de alumínio, podendo atuar também como coadjuvante de coagulação, em associação com sais de ferro e alumínio (FRIGHETO *et al.*, 2007; GUEDES, 2004).

Desta forma, a proposta apresentada busca por tecnologias mais limpas de tratamento, pois visa avaliar a influência do tempo de extração e da salinidade para a o preparo de solução coagulante a base de Moringa oleífera, sendo avaliada a remoção de turbidez de água turva sintética padronizada, mediante adição do extrato coagulante obtido.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Águas, Efluentes e Emissões da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus de Medianeira. Foram utilizadas sementes de Moringa oleífera (MO) procedentes dos municípios de Medianeira-Pr e de Marechal Cândido Rondon-Pr, as quais foram selecionadas conforme uniformidade, tamanho e coloração.

EXTRAÇÃO DO COMPONENTE ATIVO DAS SEMENTES DE MORINGA OLEÍFERA

Inicialmente removeram-se as cascas das sementes de MO e em seguida elas foram maceradas manualmente em um gral com pistilo, de forma que um material homogêneo fosse obtido. Utilizou-se esta torta produzida para o preparo da solução coagulante na proporção de 5g de MO para 100 mL de solução salina (concentrações de NaCl de acordo com a matriz do delineamento experimental – Tabela 1). Posteriormente a solução foi colocada sob agitação magnética para extração do princípio ativo, de acordo com os diferentes tempos determinados pelo planejamento experimental. Ao término do tempo de extração a solução foi submetida a uma filtração a vácuo com o uso de papel filtro de poro 3 micras. Encerrando esse procedimento a solução pode ser utilizada nos ensaios de coagulação/floculação, apresentando uma razão MO de 50.000 mg/L⁻¹ (solução matriz do coagulante).

PREPARAÇÃO DA ÁGUA TURVA SINTÉTICA

Para os ensaios de coagulação/floculação foi preparada uma solução de água turva sintética a fim de poder comparar os resultados obtidos com outros trabalhos que utilizaram argila simulando um efluente com turbidez moderada.

A água turva sintética utilizada para os testes de coagulação/floculação foi preparada adicionando-se 10g de Kaolin (Argila Branca) em um litro de água destilada. A solução foi agitada para dispersão das partículas e em seguida permaneceu por 1 hora em decantação. Amostras do material sobrenadante foram retiradas após a decantação para utilizar como água turva sintética padronizada nos testes de coagulação/floculação (Água Bruta).

ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Um Jar Test foi utilizado para a realização dos ensaios de Coagulação/Floculação. Colocou-se a água turva sintética em béqueres de 500 mL e para cada teste foram adicionadas diferentes concentrações do coagulante natural, definidas através do planejamento experimental (Tabela 1). As amostras foram agitadas a 250 RPM para um tempo de mistura rápida de 1 minuto e em seguida 30 RPM para um tempo de mistura lenta de 20 minutos. Após sedimentação de 1 hora, uma alíquota de 5 mL foi amostrada do material sobrenadante para análises de turbidez. Não foi necessário o ajuste de pH pois a faixa de atuação do coagulante a base de MO é bem ampla. Também foram realizados 5 ensaios em branco, em triplicata, somente com a água turva sintética sem adição de coagulante.

PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Utilizou-se como estratégia de Planejamento Experimental o Delineamento Composto Central Rotacional - DCCR, tendo como fatores estudados: a concentração de Cloreto de Sódio (percentual em massa) adicionada a solução extratora, tempo de extração e concentração do coagulante adicionada a água turva sintética padronizada. A variável-resposta empregada foi a remoção percentual de turbidez.

De acordo com o planejamento experimental DCCR, foram executados 2³ ensaios fatoriais, somados a quatro repetições no ponto central e seis ensaios nos pontos axiais, totalizando-se 18 ensaios, que foram realizados em triplicata.

Os valores reais, correspondentes à faixa de estudo das variáveis foram determinados por testes preliminares. Estes valores podem ser observados na Tabela 1:

Tabela 1 – Valores reais correspondentes aos codificados					
	-1,68	-1	0	1	+1,68
NaCl (%)	0	4,05	10	15,95	20
MO (mg L ⁻¹)	25	60,4	112,5	164,6	200
Tempo (min)	15	30,8	52,5	74,2	90

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 observa-se os valores codificados dos 18 ensaios, e na Tabela 3 observam-se os 3 ensaios do branco, com os respectivos percentuais de remoção da turbidez. Através da turbidez bruta de cada ensaio, foi possível calcular a eficiência de remoção da turbidez (%). Cabe salientar que os dados apresentados são valores médios, pois os 18 ensaios foram realizados em triplicata e os 5 ensaios do branco em quintuplicata. A turbidez média da água bruta sintética utilizada nos testes ficou em torno de 226,0 ± 62,4 NTU.

Tabela 2 - Matriz do delineamento experimental e resultado de remoção da turbidez (%)

ENSAIO	NaCl (%)	MO (mg L ⁻¹)	TEMPO (min)	REMOÇÃO TURBIDEZ (%)
1	4,05 (-1)	164,6 (1)	74,2 (1)	74,33 ± 4,17
2	15,95 (1)	164,6 (1)	74,2 (1)	90,67 ± 1,62
3	4,05 (-1)	60,4 (-1)	74,2 (1)	72,81 ± 6,12
4	15,95 (1)	60,4 (-1)	74,2 (1)	66,45 ± 8,56
5	4,05 (-1)	164,6 (1)	30,8 (-1)	95,15 ± 0,52
6	15,95 (1)	164,6 (1)	30,8 (-1)	88,50 ± 4,15
7	4,05 (-1)	60,4 (-1)	30,8 (-1)	79,03 ± 1,63
8	15,95 (1)	60,4 (-1)	30,8 (-1)	75,64 ± 5,39
9	10 (0)	112,5 (0)	52,5 (0)	89,54 ± 1,04
10	10 (0)	112,5 (0)	52,5 (0)	87,38 ± 3,81
11	10 (0)	112,5 (0)	52,5 (0)	90,10 ± 1,71
12	10 (0)	112,5 (0)	52,5 (0)	91,94 ± 1,47
13	20 (1,68)	112,5 (0)	52,5 (0)	93,49 ± 0,72
14	0 (-1,68)	112,5 (0)	52,5 (0)	75,71 ± 6,89
15	10 (0)	200 (1,68)	52,5 (0)	88,83 ± 3,40
16	10 (0)	25 (-1,68)	52,5 (0)	78,54 ± 2,03
17	10 (0)	112,5 (0)	90 (1,68)	91,67 ± 2,89
18	10 (0)	112,5 (0)	15 (-1,68)	93,94 ± 1,70

Tabela 3 - Remoção da turbidez (%) ensaios do Branco

ENSAIO	REMOÇÃO DA TURBIDEZ (%)
1	79,58 ± 6,02
2	82,07 ± 4,43
3	87,38 ± 2,56
4	86,73 ± 3,17
5	71,76 ± 6,29

Estes ensaios são considerados como branco, pois avalia-se a remoção da turbidez sem a adição de coagulante. Eles foram realizados com o intuito de verificar a real remoção da turbidez através da ação do coagulante natural de Moringa oleífera.

De acordo com as Tabelas 2 e 3, é possível observar que a remoção da turbidez final variou de 66,45 a 95,15%, já a média de remoção dos 5 ensaios do branco foi de 81,5%, o que reforça a eficiência do coagulante para algumas amostras.

A partir da análise dos resultados da Tabela 2, foi possível calcular os efeitos das três variáveis estudadas, os quais estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Efeitos dos fatores estudados para remoção de turbidez em água turva sintética padronizada

Fatores	Efeito ^a	Erro Padrão	t (8)	p - valor
Média	90,06827	3,588811	25,09697	0,000000
NaCl (L)	4,36976	3,892351	1,12265	0,294145
NaCl (Q)	-6,48908	4,048611	-1,60279	0,147648
MO (L)	10,55349	3,892351	2,71134	0,026603*
MO (Q)	-7,13291	4,048611	-1,76182	0,116125
Tempo (L)	-5,54964	3,892351	-1,42578	0,191762
Tempo (Q)	-0,67039	4,048611	-0,16559	0,872592
1L by 2L	4,85743	5,083357	0,95556	0,367276
1L by 3L	5,00611	5,083357	0,98480	0,353563
2L by 3L	-0,81319	5,083357	-0,15997	0,876869

^a Os efeitos são apresentados em %; * $p \leq 0,05$; L-linear; Q-quadrático

Pode-se verificar que no intervalo de confiança de 95%, a única variável significativa foi a concentração de Moringa oleífera, a qual mostrou um efeito positivo sobre a resposta de remoção de turbidez. Na Figura 1 observa-se o Gráfico de Pareto para os parâmetros estudados. Este gráfico permite verificar o efeito de cada parâmetro, bem como quais termos são estatisticamente significativos. Pela análise da figura é possível verificar que, considerando o intervalo de confiança de 95%, somente o termo linear da Moringa oleífera se mostrou significativo.

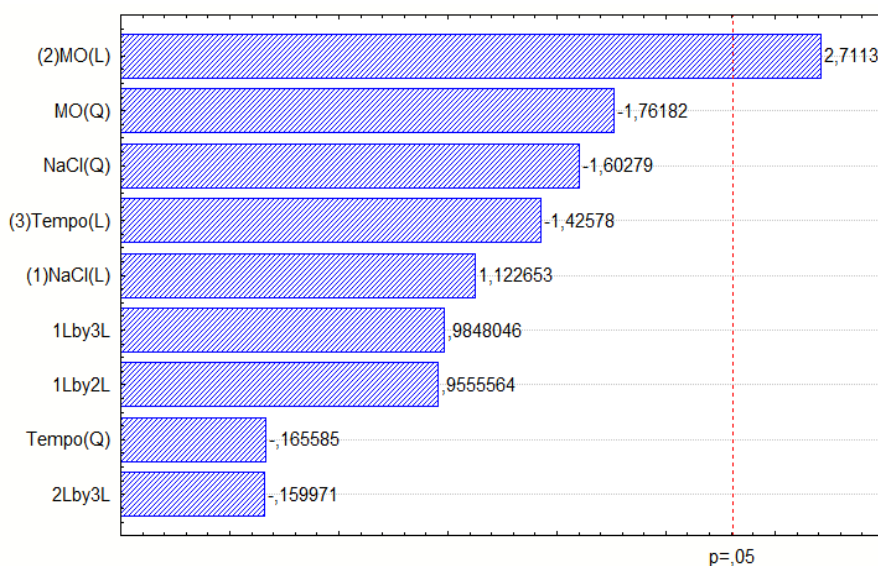


Figura 1 - Diagrama de Pareto para o processo de remoção da turbidez em água sintética, com 95% de confiança

Os coeficientes de regressão foram calculados considerando-se apenas o termo estatisticamente significativo, como mostra a tabela 5.

Tabela 5 - Coeficientes de regressão para remoção de turbidez em água sintética

	Coeficientes de Regressão	Erro Padrão	t (16)	p - valor
Média	84,65114	1,801581	46,98713	0,000000
MO (L)	5,27674	2,069219	2,55011	0,021398*

Os parâmetros não significativos foram incorporados aos resíduos para o cálculo da análise de variância (ANOVA), apresentada na tabela 6. Este modelo de análise é o mais utilizado para se avaliar numericamente a qualidade do ajuste de um modelo, fazendo um exame dos resíduos.

Tabela 6 - Análise de variância (intervalo de confiança de 95%)

Fonte de Variação	SQ ^a	GL ^b	QM ^c	F _{calculado}	p-valor
Regressão	379,926	1	379,926	6,503	0,0109
Resíduos	934,760	16	58,423		
Total	1314,686	17			

% variação explicada (R^2) = 29% $F_{1; 16; 0,05} = 4,49^a$ = soma de quadrados; ^b = graus de liberdade; ^c = quadrados médios.

Considerando somente o termo linear da concentração do extrato de Moringa oleífera, o valor de F_{calculado} é maior que o F_{tabelado} determinando a validade do modelo a 95% de confiança, o que também pode ser observado pelo fato do p-valor ser menor que 0,05. Porém, o valor do coeficiente de determinação da regressão foi consideravelmente baixo, $R^2=29\%$, o que justifica não ser utilizado como modelo de predição.

Como o modelo foi validado, foi possível construir uma superfície de resposta, através dela pode-se analisar se existe uma tendência de uma região ótima com maiores concentrações de extrato de Moringa oleífera, visando novos estudos. A superfície de resposta obtida é apresentada na Figura 2.

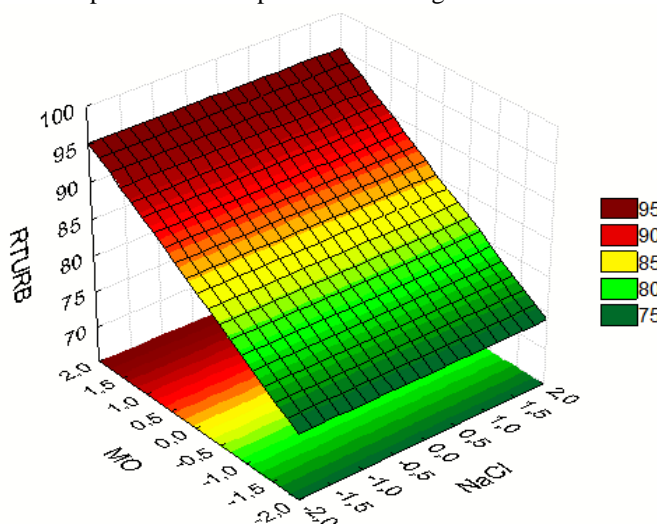


Figura 2 - Superfície de resposta para análise da tendência de melhor remoção de turbidez em água sintética

Foram realizados mais alguns ensaios para verificar se utilizando maiores valores de concentração de Moringa oleífera removeria mais a turbidez. Para tanto, fixou-se as variáveis tempo e salinidade nas menores faixas estudadas (15 minutos e 0,0%, respectivamente), pois não foram significativas e utilizou-se as concentrações de 200, 500 e 1000mg/L. Os resultados desses ensaios encontram-se na tabela 7.

Tabela 7 - Remoção de turbidez em água sintética para novas concentrações de coagulante à base de Moringa oleífera

MO ^a	RTURB ^b
200,00	80,84± 2,40
500,00	82,56± 1,56
1.000,00	84,33± 0,97

^aconcentração do coagulante adicionado a água sintética (mg/L); ^bRemoção percentual de turbidez ± erro padrão - os resultados representam a média de 3 determinações.

Com os novos ensaios realizados, a tendência de aumento da remoção de turbidez se confirma, porém, não se justifica aumentar tanto a dosagem do coagulante para um incremento tão pequeno na remoção.

CONCLUSÕES

Este trabalho buscou analisar o potencial do coagulante a base de Moringa oleífera, avaliando-se as condições de preparo do extrato aquoso: salinidade e tempo de extração. A partir das análises estatísticas pode-se concluir que esses fatores não são significativos na extração dos componentes coagulantes da moringa.

O modelo encontrado foi de primeira ordem, tendo como variável a concentração de extrato de MO, e apesar de não poder ser utilizado como modelo de predição, pode-se analisar os efeitos do coagulante. O ensaio que apresentou a melhor remoção da turbidez, 95,15%, foi nas seguintes condições: 4,1% de NaCl na solução extratora, um tempo de agitação magnética de 30,2 minutos e 164,5 mg/L de coagulante de MO adicionados na água turva sintética.

Alguns testes adicionais foram realizados aumentando-se a concentração de coagulante (variável cujo efeito foi positivo na remoção da turbidez), mantendo-se a salinidade e tempo de extração nas condições mínimas, uma vez que estes termos não foram significativos. Os resultados confirmam a tendência do aumento da remoção da turbidez mesmo quando extrapolada a faixa estudada no presente trabalho, mas a resposta não foi considerada significativamente superior à dos ensaios anteriores. Apenas a concentração do extrato de Moringa se mostrou significativa, sendo que a melhor faixa de remoção se encontra em valores próximos a 200 mg/L, acima desse valor a redução de turbidez não aumentou significativamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGRAWAL, H.; SHEE, C.; SHARMA, A. K. Isolation of a 66 KDa protein with coagulation activity from seeds of Moringa oleífera. *Global Journal of Biotechnology & Biochemistry*. v.2, p.36-39, 2007.
2. ARANTES, C. C.; RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S. Processamento de sementes de Moringa oleífera utilizando-se diferentes equipamentos para obtenção de solução coagulante. *Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande*, v. 16, n. 6, jun. 2012. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000600011&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 18 ago. 2014.
3. FRIGHETO, R. S.; FRIGHETO, N.; SCHNEIDER, R. P.; LIMA, P. C. L. O potencial da espécie Moringa oleífera (Moringaceae). A planta como fonte de coagulante natural no saneamento de águas e como suplemento alimentar. *Revista Fitos*, 3 (2), 2007.
4. GHEBREMICHAEL, K. A.; GUNARATN, K.R.; HENRIKSSON, H.; BRUMER, H.; DALHAMMAN, G. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa oleífera seed. *Water Research*, v.39, p.2338-2344, 2005.
5. GUEDES, C. D. Coagulação/floculação de águas superficiais de minerações de ferro de turbidez elevada. Tese de Doutorado, p.159, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - MG, 2004.
6. MORAES, L. C. K. Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável. Dissertação de Mestrado, Pós Graduação em Química, Universidade Estadual do Paraná, Maringá - PR, 2004.

7. NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S.; TALBOT, B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera. Water Research, v.29, p.703-710, 1995.
8. OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seed. WaterResearch, v.33, p.3373-3378, 1999.
9. SANTANA, C. R. Tratamento de Água Produzida Através do Processo de Flotação Utilizando a Moringa oleífera Lam. como Coagulante Natural. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, São Cristovão - SE, 2009.