

Aproveitamento da torta da *Moringa oleifera* Lam para tratamento de água produzida

Utilization of Moringa oleifera Lam in the treatment of produced water

Daiane Farias Pereira

Mestre em Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe. Aracaju, SE [Brasil]
daiane.engenharia@hotmail.com

Nicolis Amaral Araújo

Graduanda em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe Aracaju, SE [Brasil]
nicolis.amaral@yahoo.com.br

Tayanara Menezes Santos

Graduanda em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe. Aracaju, SE [Brasil]
tayanara@hotmail.com

Claudia Ramos Santana

Mestre em Engenharia Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe. Aracaju, SE [Brasil]
claudia@ufs.br

Gabriel Francisco da Silva

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe. Aracaju, SE [Brasil]
gabriel@ufs.br

Resumo

O uso de coagulantes ambientalmente corretos apresenta-se como uma alternativa viável na separação água/óleo. A polpa da semente do polímero natural conhecido como *Moringa oleifera* Lam atua como agente clarificante de águas devido à presença de uma proteína catiônica que desestabiliza as partículas contidas na água. O objetivo neste trabalho foi estudar o tratamento de água produzida, obtida na extração de petróleo, utilizando o coagulante extraído das sementes moringa em meio salino e em aquoso. Os resultados mostraram que se obteve 96% de eficiência na remoção de óleo, utilizando 0,5 mL/L do coagulante extraído em meio salino; e 76%, usando 2,5 mL do coagulante extraído em meio aquoso. Isso indica que o extrato da moringa pode ser uma excelente alternativa para o tratamento da água produzida na extração do petróleo.

Palavras-chave: Água produzida. Extratos. *Moringa oleifera* Lam. Petróleo. Tratamento de efluente.

Abstract

The use of environmentally friendly coagulants presents a feasible alternative over other methods for water/oil separation. The pulp of the seed of the natural polymer known as *Moringa oleifera* Lam acts as a clarifying agent for water due to the presence of a cationic protein that destabilizes the particles contained in the water. The objective of this paper is to study the treatment of produced water obtained in the extraction of oil, using the coagulant extracted from the seeds of *moringa* in salt media and aqueous media. The results showed an oil removal efficiency of 96% using 0.5 mL/L of coagulant extracted in a salt medium and an efficiency of 76% using 2.5 mL/L of coagulant extracted in an aqueous medium. This indicates that *moringa* extract can be an excellent alternative for the treatment of produced water generated in the extraction of oil.

Key words: Effluent treatment. Extracts. *Moringa oleifera* Lam. Oil. Produced water.

1 Introdução

Em formações subsuperficiais, as rochas naturais são geralmente permeadas com fluidos, tais como a água, o óleo e o gás (ou combinações desses). Acredita-se que as rochas na maioria das formações produtoras de óleo estejam completamente saturadas com água antes da invasão e trapecamento do petróleo (AMYX et al., 1960). Os hidrocarbonetos menos densos migram para as posições trapecadas, deslocando água da formação dos reservatórios. Assim, as rochas reservatórios contêm normalmente hidrocarbonetos de petróleo. Essa água é frequentemente referida como “água conata” ou “água de formação” e torna-se água produzida quando do reservatório é produzido juntamente com o hidrocarboneto, e esses líquidos são trazidos à superfície. A composição desse líquido produzido é dependente do óleo cru ou o gás natural que estão sendo produzidos e inclui geralmente uma mistura de hidrocarbonetos líquidos ou gasosos, água, sólidos dissolvidos ou suspensos, tais como a areia ou de sedimentos finos, e aditivos injetados colocados na formação em consequência das atividades da exploração e da produção.

O volume de água produzida é crescente durante a exploração de petróleo. Isso porque, conforme o óleo é exaurido, ou seja, à medida que o campo de produção envelhece o volume de água necessário a recuperação do óleo aumenta. Estima-se que durante a vida econômica de um poço de petróleo, o volume dessa água pode chegar a exceder dez vezes o volume de produção de óleo (em campos novos: 5 a 15% do fluido trazido à superfície é água produzida, enquanto que, em campos maduros, esse percentual sobe para 90%) (EKINS et al. 2007). Em relação ao tratamento desse efluente, há sempre uma busca de mecanismos que permitam reduzir a estabilidade de sistemas dispersos. No caso de água produzida, a re-

dução da estabilidade é fundamental para se obter a separação das duas fases líquidas – água/óleo.

A *Moringa oleifera* Lamarck é uma espécie perene, da família *Moringaceae*, originária do nordeste indiano, amplamente distribuída na Índia, Egito, Filipinas, Sri Lanca, Tailândia, Malásia, Myanmar, Paquistão, Singapura, Jamaica e Nigéria (PIO CÓRREA, 1984; DUKE, 1987). Ela cresce em regiões desde as subtropicais secas e úmidas, até tropicais secas e florestas úmidas. É tolerante à seca, florescendo e produzindo frutos (DUKE, 1978). Adapta-se a uma ampla faixa de solos, porém se desenvolve melhor em terra preta bem drenada ou em terra preta argilosa, preferindo um solo neutro a levemente ácido (DALLA ROSA, 1993).

A literatura do tratamento de água tem registrado alguns trabalhos com o uso de coagulantes e/ou auxiliares de coagulação de origem orgânica, constituídos a base de polissacarídeos, proteínas e principalmente, os amidos, entre os quais se têm destacados: farinha de mandioca, araruta e fécula de batata (DI BERNARDO, 1993).

O gênero *moringa*, e particularmente as espécies *oleifera* Lam e *stenopetala*, destacam-se como um dos mais promissores coagulantes naturais, apesar de sete espécies terem demonstrado o efeito coagulante (ALMEIDA NETO, 2005).

Segundo Jahn (1989), foi isolado o produto coagulante presente nas sementes de *Moringa oleifera* Lam e, dessa forma, foi identificado seis polipeptídios, que são formados por várias unidades de aminoácidos. A fração ativa desse coagulante se deve à presença de uma proteína catiônica de alto peso molecular, que desestabiliza as partículas contidas na água, geralmente partículas coloidais de carga negativa, e floculam os coloides. O mecanismo de coagulação/floculação provocado pela proteína existente na polpa da *Moringa oleifera* Lam assemelha-se ao mecanismo provocado pelos polieletrólitos (DAVINO, 1976). De um modo

geral, os polieletrólitos são compostos, orgânicos ou inorgânicos, naturais ou sintéticos, caracterizados como compostos químicos polimerizados que apresentam grandes cadeias carbônicas, constituídas de unidades que se repetem.

A *Moringa oleifera* Lam vem sendo difundida devido, principalmente, a sua utilização no tratamento de efluentes. Um fator interessante é que as sementes podem ser primeiramente utilizadas para a extração do óleo, para depois serem usadas no tratamento de água, sem que isso diminua a eficiência de seu princípio coagulante.

De acordo com Pritchard (2010), o uso de sementes de é uma alternativa viável de agente coagulante junto com a filtragem e oferece melhorias significativas no tratamento de água para consumo humano para países em vias de desenvolvimento.

Os sais férricos e de alumínio são utilizados no tratamento de água em todo o mundo. O coagulante extraído das sementes da moringa se destaca desses coagulantes químicos por ser natural e biodegradável, além de não alterar significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento e não causam problemas de corrosão.

Estudos realizados por Pritchard et al. (2010) investigaram o desempenho de *Moringa oleifera* em comparação com o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), indicando que a moringa possui capacidade de remoção de turbidez e *Escherichia coli* suficiente para incentivar a sua utilização para o tratamento de águas turvas, em países em desenvolvimento.

De acordo com Cardoso et al. (2008) o tempo para propiciar a mistura rápida e lenta, o tempo de decantação, assim como a concentração de *Moringa oleifera* Lam influenciam na remoção de cor e turbidez, durante o processo de coagulação/floculação.

Vieira et al. (2010) utilizaram as sementes de moringa como adsorvente natural para o tra-

tamento das águas residuais da indústria de laticínios. Os efeitos do tempo de agitação, pH, doses de *Moringa oleifera* (MO) e concentração das águas residuais da indústria de laticínios foram avaliados. Os resultados obtidos mostraram que as sementes MO mantém seu poder de adsorção em uma faixa de pH entre 5 e 8. Segundo os autores, houve uma capacidade de adsorção significativa de biomassa MO, que sugeriu uma boa afinidade entre os componentes das águas residuais da indústria de laticínios. Conclui-se que a biomassa MO tem potencial para ser usado no tratamento de efluentes da indústria de leiteira de uma forma eficiente e com baixo custo.

Diante do exposto, neste trabalho, objetiva-se estudar o tratamento de água produzida utilizando o coagulante extraído da torta das sementes moringa em meio salino e em meio aquoso, avaliando a eficiência de separação óleo/água.

2 Materiais e métodos

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Alternativas (LTA) do Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Federal de Sergipe. As sementes de moringa foram obtidas em árvores plantadas na cidade de Aracaju, nordeste brasileiro.

2.1 Preparo da matriz sintética

O preparo da água produzida sintética (matriz sintética) foi realizado utilizando-se 50 gotas de óleo (petróleo) e 35 gramas de cloreto de sódio para cada litro de água destilada. A emulsão foi gerada por meio de um liquidificador industrial.

2.2 Preparo do coagulante

Inicialmente, foi realizada a extração mecânica das sementes de moringa, obtendo o óleo

como produto e a torta (coproduto), que foi utilizada para preparar os coagulantes naturais.

Para o preparo do extrato de moringa em meio aquoso, adicionou-se em um béquer 50 mL de água destilada, e 1 g de torta de moringa. Em seguida, a solução foi homogenizada por um misturador a uma rotação de 1000 rpm durante 30 minutos. A mistura obtida foi separada por meio de filtração a vácuo, em que o filtrado obtido foi o extrato de moringa em meio aquoso, utilizado como coagulante natural para tratamento de água produzida.

Para o preparo do extrato de moringa em meio salino, colocou-se, em um béquer, 50 mL de solução salina 1 mol/L, e 1 g de torta de moringa. Em seguida, a solução foi homogenizada por um misturador a uma rotação de 1000 rpm durante 30 minutos. A mistura obtida foi separada por meio de filtração a vácuo, e o filtrado foi o extrato de moringa em meio salino, utilizado como coagulante natural para tratamento de água produzida.

2.3 Ensaios de coagulação/floculação

Colocou-se 1000 mL de água produzida na extração de petróleo que se desejava testar nos seis reatores do aparelho *Jar-Test*. Em seguida, foi adicionado a cada um deles, quantidades pré-determinadas do coagulante. Ligou-se o aparelho, primeiramente numa velocidade máxima de 120 rpm, durante 10 minutos, para propiciar a mistura rápida, e na sequência, em velocidade de 60 rpm, por 20 minutos, com o objetivo de consolidar a coagulação/floculação. O tempo de decantação foi durante 90 minutos.

Na determinação do teor de óleos e graxas (TOG) em água, não há medição quantitativa absoluta de uma substância específica, e sim de um grupo de substâncias com características físicas similares determinadas quantitativamente com base em sua solubilidade comum em um solvente de

extração orgânico. Neste trabalho, foi utilizado, para determinação do TOG, o analisador, modelo CVH da *Wilks Enterprise*, e o tetracloroetileno, como solvente.

3 Resultados e discussão

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados inicialmente com água produzida sintética (APS), com o coagulante extraído em meio salino e em meio aquoso. Após determinar a eficiências desses coagulantes na separação óleo/água, os experimentos foram realizados com água produzida real (APR).

3.1 Ensaios de coagulação/floculação utilizando a matriz sintética

Os ensaios de coagulação/floculação, utilizando a matriz sintética, foram realizados variando as concentrações do coagulante de moringa extraído em meio salino e em meio aquoso.

3.1.1 Extrato de moringa em meio salino

A Tabela 1 apresenta os resultados do TOG (Teor de óleo e Graxas) nas concentrações do extrato de moringa, entre 0,5 e 3,0 mL/L, após a decantação. O branco indica o TOG inicial (antes do tratamento).

Tabela 1: Análise do TOG - coagulante extraído em meio salino

Concentração do coagulante (mL)	TOG (ppm)	Remoção (%)
Branco	250	
0,5	10	96
1,0	50	80
1,5	98	60,8
2,0	84	66,40
2,5	115	54
3,0	120	52

Observa-se na Tabela 1, que na concentração de 0,5 mL do extrato de moringa em meio salino, obteve-se uma melhor remoção de óleo em água. Contudo, como esse ponto foi no extremo, realizou-se outro ensaio de coagulação/floculação, utilizando concentrações abaixo de 0,5 (Tabela 2), para assim, determinar a melhor concentração de moringa para remoção de óleo em água com coagulante em meio salino.

Tabela 2: Análise do TOG - coagulante extraído em meio salino

Concentração do coagulante (mL)	TOG (ppm)	Remoção (%)
Branco	550	
0,1	128	76,7
0,2	171	69
0,3	210	61,8
0,4	127	76,9

Diante dos resultados mostrados na Tabela 2, pode-se confirmar que a melhor concentração do extrato de moringa em meio salino foi a de 0,5mL/L, com a qual se obteve uma remoção de óleo em água de 96%.

Com o objetivo de comparar as amostras de APS nos dois ensaios realizados acima, já que se trabalhando com óleo é praticamente impossível manter uma mesma concentração inicial (branco) para todas as amostras, traçou-se um gráfico de normalização (C/C_0) versus a concentração do coagulante, mostrado na Figura 1.

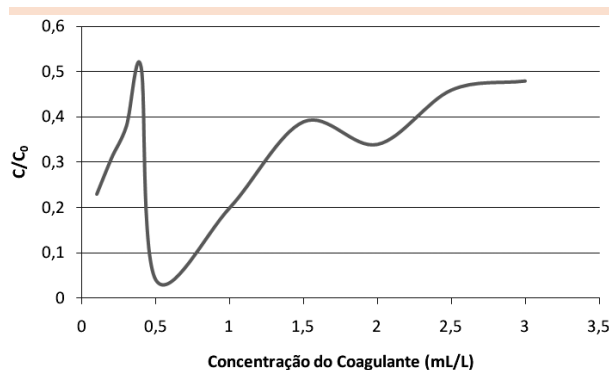


Figura 1: Normalização (C/C_0) dos ensaios com APS em meio salino versus a concentração do coagulante

Pode-se observar, na Figura 1, que a melhor concentração do coagulante extraído em meio salino foi 0,5 mL/L, em que se obteve uma excelente remoção de óleo em água através do processo de coagulação/floculação.

A Figura 2 mostra os ensaios de coagulação/floculação antes e após o processo de decantação.

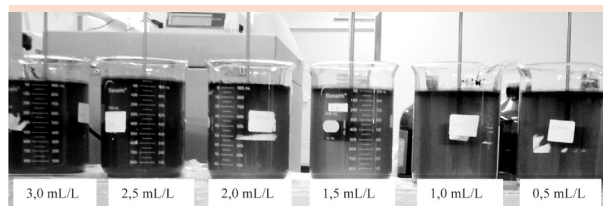


Figura 2: Ensaios de coagulação/floculação

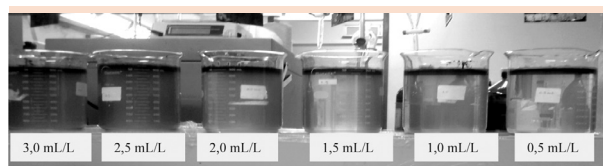


Figura 3: Processo de decantação

Comparando as Figuras 2 e 3, pode-se verificar a clarificação da água, indicando uma alta remoção de óleo. A concentração ótima para promover a separação óleo/água da água produzida sintética foi 0,5 mL/L.

3.1.2 Extrato de moringa em meio aquoso

A Tabela 3 apresenta os resultados do TOG nas concentrações do extrato de moringa, entre 0,5 e 3,0 mL/L, após a decantação.

Tabela 3: Análise TOG - coagulante extraído em meio aquoso

Concentração do coagulante (mL)	TOG (ppm)	Remoção (%)
Branco	153	
0,5	121	24,37
1,0	115	28,12
1,5	49	69,37
2,0	68	57,5
2,5	37	76,87
3,0	149	6,87

Pode-se observar, na Tabela 3, que a concentração ótima do coagulante natural extraído em meio aquoso para remoção de óleos e graxas em água foi 2,5 mL/L. Contudo, quando se utilizou 3,0 mL/L do coagulante, o percentual de separação óleo-água diminuiu consideravelmente, indicando um excesso de coagulante.

A Figura 4 apresenta os ensaios de coagulação/floculação em *jar test* com o extrato de moringa em meio aquoso em diferentes concentrações. Após 90 minutos, houve decantação em todos os ensaios, como mostra a Figura 5.



Figura 4: Ensaios de coagulação/floculação



Figura 5: Processo de decantação

Comparando as Figuras 4 e 5, verifica-se uma considerável remoção de óleo em água, indicando que esse coagulante também foi eficiente no tratamento de água produzida.

3.1.3 Comparação dos ensaios de coagulação/floculação em APS do coagulante extraído em meio salino e em meio aquoso

Os testes de coagulação/floculação realizados com o coagulante natural extraído em meio

salino e em aquoso apresentaram um alto percentual de separação óleo/água, mostrando a eficiência de ambos no tratamento de água produzida na extração de petróleo. Entretanto, o coagulante extraído em meio salino mostrou-se mais eficiente, pois foi neste ensaio em que se utilizou uma menor concentração do coagulante natural, 0,5 mL/L, obtendo-se um percentual de remoção de óleo em água de 96%.

A Figura 7 mostra a comparação dos coagulantes extraídos em diferentes meios, a saber: Coagulante Extraído em Meio Salino (CEMS) e Coagulante Extraído em Meio Aquoso (CEMA). O gráfico apresentado nessa Figura mostra a normalização (C/C_0) versus concentração de coagulante para melhor visualização dos resultados, já que a concentração inicial da emulsão foi diferente em ambos os ensaios.

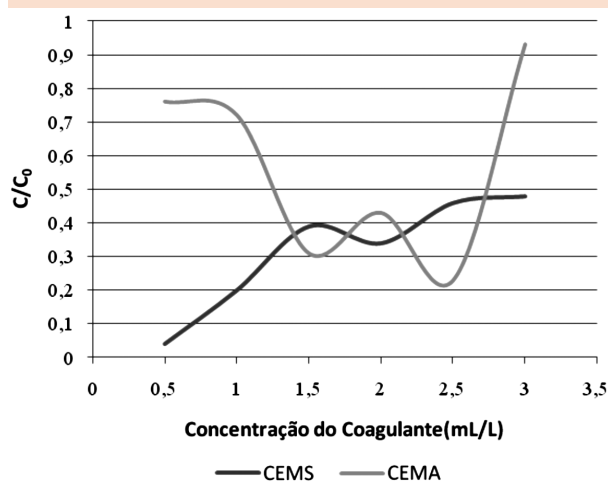


Figura 7: Normalização (C/C_0) dos ensaios com APS em meio aquoso e em meio salino versus a concentração do coagulante

Conforme mostrado na Figura 7, o coagulante extraído em meio salino foi mais eficiente na separação óleo-água do que o extraído em aquoso, provavelmente, devido à melhor extração da proteína coaguladora das sementes de moringa.

A Figura 8 apresenta a APS tratada na concentração de 0,5 mL do extrato de moringa em

meio salino, e a Figura 9 mostra o branco (APS sem adição de coagulante, após 90 minutos).



Figura 8: Amostra APS após decantação



Figura 9: Branco

Nas Figuras 8 e 9, pode-se visualizar a excelente separação óleo/água, quando se utiliza 0,5 mL/L do coagulante extraído em meio salino.

3.1.4 Ensaios de coagulação/floculação com APR

Os ensaios de coagulação/floculação com APR (Tabela 4) foram realizados com o coagulante de moringa extraído em meio salino, pois foi esse que obteve a melhor eficiência na remoção de óleos e graxas em água. A concentração inicial de óleo

em água (considerando o branco) foi 359 ppm. Esse efluente foi cedido gentilmente pela Petróleo Brasileiro S. A. (PETROBRAS) de Sergipe.

Tabela 4: Análise do TOG - coagulante extraído em meio salino

Concentração do coagulante (mL)	TOG (ppm)	Remoção (%)
0,5	149	58,50
1,0	31	91,36
1,5	60	83,87
2,0	89	75,20
2,5	112	68,80
3,0	154	57,10

Como pode ser observado na Tabela 4, com 1,0 mL/L do coagulante obteve-se uma remoção de óleo em água de 91,36%. No entanto, quando se utilizou 3,0 mL/L do coagulante, o percentual de separação óleo-água, indicou um excesso de coagulante.

A Figura 10 apresenta os ensaios de coagulação/floculação em *jar test* com o extrato de moringa em meio salino em diferentes concentrações. Após 90 minutos, houve decantação em todos os ensaios, como mostra a Figura 11.

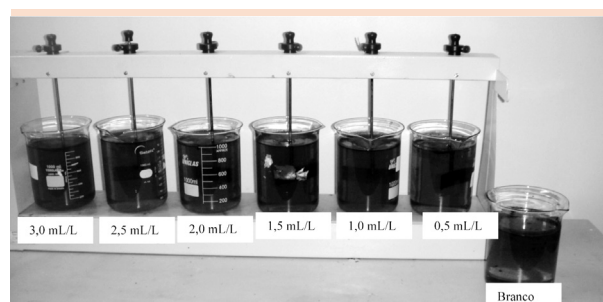


Figura 10: Ensaios de coagulação/floculação

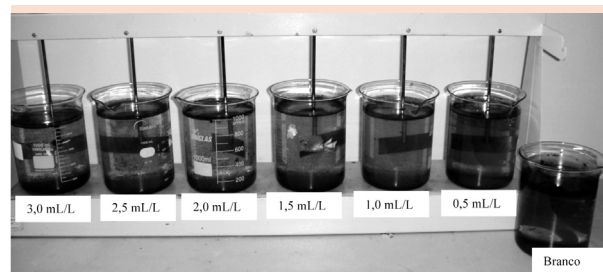


Figura 11: Processo de decantação

Nas Figuras 10 e 11, observa-se a clarificação da água após decantação de 90 minutos, indicando a separação óleo/água.

A Figura 12 mostra um gráfico de normalização (C/C_0) versus concentração do coagulante extraído em meio salino aplicado em amostras de APR E APS.

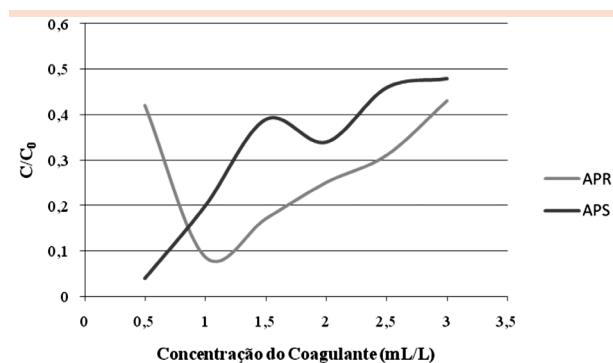


Figura 12: Normalização (C/C_0) dos ensaios com APS, utilizando coagulante extraído em meio salino versus a concentração do coagulante

De acordo com a Figura 12, os ensaios realizados em amostras de APR necessitaram de maior quantidade de coagulante para melhor eficiência de separação óleo-água, quando comparado com ensaios realizados em amostras de APS. Isso pode ter ocorrido em razão de outros componentes encontrados na APR (tais como sólidos dispersos, compostos radioativos, produtos químicos) que podem ter inibido a ação de uma menor quantidade de coagulante. Contudo, as concentrações ótimas do coagulante na remoção de óleos e graxas em água, aplicado em amostras de APR e APS, 1,0 e 0,5 mL/L, respectivamente, estão bem próximas.

Pode-se observar, na Figura 13, que apenas na concentração de 0,5 mL/L se obteve uma maior separação de óleo em amostras de APS. A partir dessa concentração, as maiores remoções de óleo em água foram observadas em amostras de APR, apesar dessas amostras de APR precisarem de uma maior concentração de coagulante (1,0 mL/L)

para um maior percentual de remoção de óleo em água, como visualizado na Figura 12.

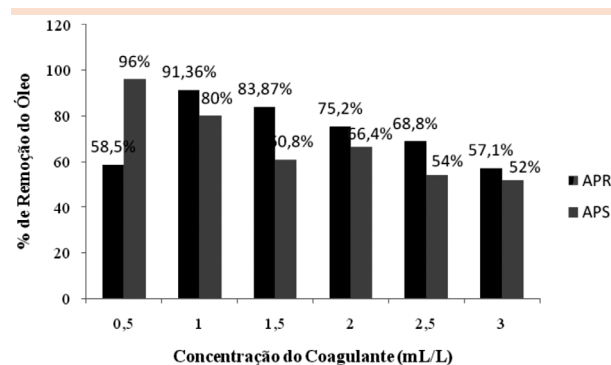


Figura 13: Variação do percentual de remoção do óleo versus concentração de moringa para a APS e APR

4 Conclusão

Neste trabalho, introduziu-se e mostrou-se a potencialidade da *Moringa oleifera* Lam como agente coagulante na separação óleo/água.

Nos ensaios realizados de coagulação/flocculação, utilizando extratos de moringa em meio salino e em aquoso, pôde-se concluir que o meio salino foi mais eficiente na extração da proteína coagulante da torta da moringa, apresentando um percentual de remoção de óleo em água 96%, utilizando apenas 0,5 mL/L desse coagulante.

Dessa forma, ficou demonstrado que as sementes de moringa são coagulantes eficientes na remoção de óleo em água e podem ser utilizadas no tratamento desse poluente nos diversos desastres ecológicos, como os ocorridos recentes em uma plataforma marítima carioca.

Referências

ALMEIDA NETO, M. A. *Uso da semente do gênero moringa*, 2005. Disponível em: <http://www.cpatia.embrapa.br/catalogo/doc/posters/12_1_Mario_Augusto.doc>. Acesso em: out. 2010.

AMIX, J.; Bass, D.; Whiting, R. L. *Petroleum reservoir engineering*. New York: Mc Graw-Hill Company, 1960.

CARDOSO, K. C. et al. *Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleifera* Lam. Acta Sci. Tech. Maringá, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.

DALLA ROSA, K. R. *Moringa oleifera: a perfect tree for home gardens*. Hawai: NFTA, Agroforestry Species Highlights, v. 1, p. 2-3, 1993.

DAVINO, F. Água na indústria. In: *Tecnologia de tratamento de água*. Rio de Janeiro: Almeida Neves, p. 251, 1976.

DI BERNARDO, L. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1, 1993.

DUKE, J. A. *Moringaceae: Horseradish-tree, Drumstick-tree, Sohnja, Moringa, murunga-kai, mulungay*. In: BENGE, M. D. (Ed.). *Moringa a Multipurpose tree that purifies water*. Science and Technology for Environment and Natural Resources, Boston, p. 19-28, 1987.

DUKE, J. A. The quest of tolerant germplasm. In: YOUNG, G. Crop tolerance to subtropical land conditions. Madison. *American Society Agronomical Special Symposium*, v. 32, p. 1-16, 1978.

EKINS, P.; VANNER, R.; FIREBRACE, J. Zero emissions of oil in water from offshore oil and gas installations: economic and environmental implications. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, p. 1302-1315, 2007.

JAHN, S. A. A. *Monitored water coagulation with moringa seeds in village households*. Eschborn: GTZ Gate, n. 1, p. 40-41, 1989.

PIO CORRÉA, M. *Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas*. Rio de Janeiro: IBDF, v. 5, p. 276-283, 1984.

PRITCHARD, M. et al. A comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulants in the purification of drinking water – an alternative sustainable solution for developing countries. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 35, p. 798-805, 2010.

VIEIRA, A. et al. Use of *Moringa oleifera* seed as a natural adsorbent for wastewater treatment. *Water Air Soil Pollut*, p. 273-281, 2010.

Recebido em 14 set. 2011 / aprovado em 12 dez. 2011

Para referenciar este texto

PEREIRA, D. F. et al. Aproveitamento da torta da *Moringa oleifera* Lam para tratamento de água produzida. *Exacta*, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 323-331, 2011.

