



# ANALISE DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS EM ÁGUA PRODUZIDA COM UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA COMBINADA FLOCULAÇÃO/FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO APLICANDO DOIS TIPOS DE FLOCULANTES NATURAIS DE MORINGA OLEÍFERA

José Wagner Alves Garrido<sup>1</sup>; Kássia Larissa Pinheiro de Lima<sup>2</sup>; Emilianny Rafaely Batista Magalhães<sup>3</sup>; Saulo Henrique Gomes de Azevêdo<sup>4</sup>; João Bosco de Araújo Paulo<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – [josewagnerag@gmail.com](mailto:josewagnerag@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de Química – [kassialarissa@yahoo.com.br](mailto:kassialarissa@yahoo.com.br)

<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – [emybatista\\_eq@hotmail.com](mailto:emybatista_eq@hotmail.com)

<sup>4</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – [henrique.saulo@bol.com.br](mailto:henrique.saulo@bol.com.br)

<sup>5</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – [jbosco@eq.ufrn.br](mailto:jbosco@eq.ufrn.br)

## RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi analisar a eficiência de remoção do teor de óleos e graxas em água produzida, utilizando a técnica combinada floculação/flotação por ar dissolvido com aplicação de floculantes naturais de moringa oleífera. Foram utilizados dois tipos de floculantes naturais produzidos a partir das sementes da planta Moringa Oleífera: primeiro foi disponibilizado pela empresa Claeff Engenharia e Produtos Químicos-FNMOL e o segundo desenvolvido na escala de laboratório-FNMOL. O equipamento, consistindo de vaso saturador e três colunas de flotação, para realização da técnica floculação/flotação foi montado no Laboratório de Monitoramento, Tratamento e Reúso de Resíduos da Indústria de Petróleo–LAMTRE/UFRN. Na primeira coluna foi utilizado o FNMOL, na segunda o FNMOL e na terceira não foi inserido floculante. Estudaram-se o efluente em três condições de pH's tal qual, ácido e básico. Observou-se que a variação de pH teve influência na remoção de TOG, o que o torna um parâmetro de controle importante, influenciando nas cargas elétricas superficiais das gotículas de óleo. Quando foi aplicada apenas a técnica de FAD, na ausência de floculante, observou-se em alguns casos a maior remoção de TOG, concluindo que o sistema é eficiente no tratamento de água produzida.

**Palavras-chave:** Floculante; Moringa Oleífera; TOG; Flotação.

## 1. INTRODUÇÃO

Na indústria petrolífera, vários segmentos impactam negativamente o meio ambiente. No segmento representado pela extração do petróleo, o poluente mais relevante, particularmente pelo volume considerável, é a “água produzida” ou “água de produção”.

Segundo o relatório Cenpes [2005] a água produzida se caracteriza pela presença compostos orgânicos tóxicos presentes em água de produção são os hidrocarbonetos voláteis (BTEX), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), fenóis, e ácidos carboxílicos; dentre os compostos inorgânicos, vários metais podem ser encontrados na água



produzida, como cádmio, cobre, níquel, chumbo e zinco, dentre outros compostos nocivos como sulfetos, N-amoniacal, óleos e graxas, caracterizando-se como um efluente de difícil descarte.

O descarte inadequado deste efluente implica em efeitos nocivos ao meio ambiente, repercussão negativa da empresa, penalidades e um custo elevado com ações corretivas e mitigadoras, contrariando a legislação ambiental vigente, assegurada pelas Resoluções CONAMA 393 [BRASIL, 2007] e 430 [BRASIL, 2011].

Porém, para essa disposição, faz-se necessário o adequado tratamento deste efluente de modo a se extrair a máxima quantidade de óleo possível e diminuir a concentração dos demais constituintes de acordo com o atendimento da legislação ambiental em vigor.

Então, o desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento da água produzida ou ainda o aperfeiçoamento das existentes é de extrema importância para que a indústria de petróleo continue a se expandir, minimizando os impactos ao meio ambiente.

Nesse contexto, uma técnica que desperta interesse no tratamento de efluentes industriais, principalmente os oleosos, é a flotação [CRESPILHO & RESENDE, 2004; GE *et al.*, 2004; GAO *et al.*, 2005; SANTANA, 2009]. Segundo Santos *et al.* [2007], essa técnica tem sido bastante empregada na indústria de petróleo, no sentido de reduzir o teor de óleos e graxas em suspensão na água produzida a níveis adequados de acordo com as exigências legais.

O rendimento do processo de flotação é aprimorado quando se associa a operação de floculação na etapa de pré-tratamento, segundo Spinelli [2001], quando a água a ser tratada necessita do processo de floculação, essa etapa passa a ser um ponto importante, em qualquer tecnologia de tratamento, que nos processos convencionais utilizam polieletrólitos (floculantes) comerciais, os

quais são fornecidos à indústria com poucos detalhamentos de suas propriedades, e apesar de que em muitos países em desenvolvimento dificilmente podem suportar os elevados custos dos produtos químicos importados para o tratamento de águas residuais.

Sendo assim, em vários países, inúmeras plantas estão sendo utilizadas como coagulantes/floculantes naturais, aonde alguns biopolímeros vêm sendo investigados mais intensamente que outros, como é o caso da Moringa Oleífera Lam, da quitosana e do tamarindo [SILVA *et al.*, 2003; LÉDO, 2008; MAGALHÃES, 2014].

Em face ao exposto, o objetivo do presente trabalho foi analisar a eficiência de remoção do teor de óleos e graxas em água produzida, utilizando a técnica combinada floculação/flotação por ar dissolvido com aplicação de dois tipos de floculantes naturais de moringa oleífera.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Origem da água produzida

Na Figura 1, identifica a localização da área de origem da água produzida na zona de exploração e produção da Petrobras (UO–RNCE), cuja é derivada de campos onshore e offshore.

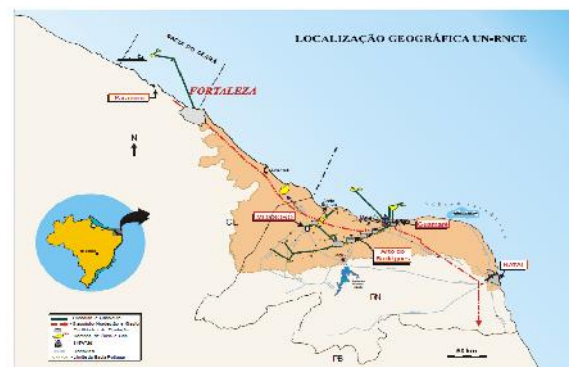


Figura 1: Localização da área de origem da água produzida utilizada neste estudo.

Fonte: Adaptados de Preda; Alencar Filho; Borba [2008].



A água produzida foi coletada após o sistema de pré-tratamento por separador água óleo (SAO) existente em uma estação de tratamentos de efluentes da Petrobras da unidade operacional Rio Grande do Norte e Ceará (UO-RNCE).

## 2.2. Caracterização físico química da água produzida

Após transporte e chegada no Laboratório de Monitoramento e Tratamento de Resíduos da Indústria do Petróleo – LAMTRE da Universidade Federal do Rio Grande do Norte foram realizadas imediatamente as análises físico químicas.

Para a realização da caracterização da água produzida foram utilizados basicamente dois equipamentos: sonda multiparamétrica, marca IN SITU, modelo MP TROLL 9500 (Figura 2) e o Infracal TOG/TPH da Wilks Enterprise Corp.- Modelo HATR-T2 (Figura 3).



Figura 2: Sonda Multiparamétrica em conjunto com o palmtop (A), sensores (B) e eletrodos (C).



Figura 3: Infracal TOG/TPH.

A relação dos parâmetros físico químicos avaliados e dos respectivos equipamentos que foram utilizados para a caracterização da água produzida estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Relação dos equipamentos e parâmetros físico químicos medidos.

Parâmetro	Equipamento utilizado
Temperatura (°C)	Sonda multiparamétrica
Condutividade (mS/cm)	
Cloreto (mg/L)	
Turbidez (FTU)	
pH	
TOG (mg/L)	Infracal

## 2.3. Floculantes Naturais

### 2.3.1. Floculante Natural de Moringa Oleífera Industrial - FNMOI

O Floculante Natural de Moringa Oleífera industrial já é produzido na escala industrial e foi fornecido pela empresa Claeff Engenharia e Produtos Químicos.

### 2.3.1. Floculante Natural de Moringa Oleífera (Laboratório) – FNMOL

Este foi preparado na escala de laboratório de acordo com alguns estudos [OKUDA *et al.*, 1999; PAULO *et al.*, 2013; MAGALHÃES, 2014]. Após a coleta das sementes de vagens secas de Moringa oleífera, as mesmas foram descascadas manualmente, trituradas até se obter um pó fino e submetidas a um processo de extração para a retirada do óleo.

O pó seco obtido a partir dessas etapas foi misturado à água destilada na proporção de 1g para 50 mL de água. A





mistura obtida foi batida em um mixer por cinco minutos e levada à filtração a vácuo através de um papel filtro de 8  $\mu\text{m}$ . O filtrado obtido foi utilizado como floculante.

#### 2.4. Operação do Flotateste

O equipamento para realização da técnica floculação/flotação por ar dissolvido foi montado no Laboratório de Monitoramento, Tratamento e Reúso de Resíduos da Indústria de Petróleo–LAMTRE/UFRN em escala de bancada, foi construído com modificações de acordo com Lacerda et al. [1997] do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB). Este foi previamente utilizado por Lédo [2008] e Magalhães [2014].

É composto, de forma geral, por três colunas de flotação, onde ocorrem às etapas de mistura rápida, mistura lenta, floculação e flotação por ar dissolvido. Tais colunas estão conectadas a uma câmara de saturação pressurizada. Na primeira coluna foi utilizado o FNMOL, na segunda o FNMOL e na terceira não foi inserido floculante, executado em três condições de pH's tal qual, ácido e básico. A Figura 4 mostra um esquema geral do flotatestes que foi utilizado.

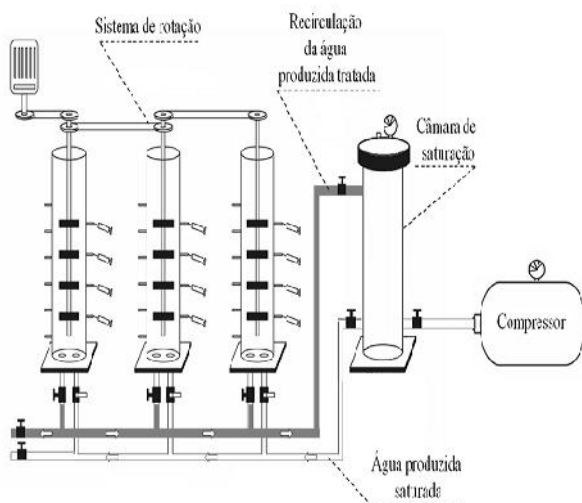


Figura 4: Esquema geral do flotatestes.  
Fonte: Adaptado de Lacerda *et al.* [1997].

A saturação com ar da água de recirculação corresponde à primeira etapa do processo, na qual a câmara de saturação é cheia com água produzida tratada (TOG < 20mg/L) cerca de 2/3 do seu volume, e o compressor é acionado para atingir a pressão de 5kgf/cm<sup>2</sup> em seu interior para a saturação da água que foi realizada por cerca de 20 min.

Para os ensaios de floculação e flotação as colunas de flotação foram cheias com a água produzida e os floculantes foram dosados a partir de seringas localizadas na lateral das colunas. Para o início da rotação, referente à etapa de mistura rápida do processo, as paletas foram fixadas nos mandris e a rotação ajustada no variador de frequência. O tempo referente a esta etapa foi constante (3 min.) e cronometrado a partir da adição do floculante numa rotação de 226 rpm. Após este tempo, a rotação foi reduzida a 90 rpm, onde se deu início a etapa de mistura lenta (floculação) e cronometrada por 5 minutos.

Ao término desta etapa, a agitação foi desligada e as hastes retiradas dos mandris. De forma imediata, as válvulas de cada coluna de flotação foram totalmente abertas, permitindo a injeção da água saturada com ar com a taxa de recirculação de 20%, iniciando o processo de flotação por ar dissolvido. Terminada a injeção, o tempo de flotação foi de 20 minutos, posteriormente se deu a coleta da amostra de água tratada.

#### 2.5. Eficiência do sistema

A eficiência foi avaliada a partir das análises dos teores de óleos e graxas antes do tratamento (água produzida bruta - APB) e depois do tratamento (água produzida tratada - APT). A equação (1) define a eficiência de separação.



$$y(\%) = \left(1 - \frac{TOG_f}{TOG_i}\right) * 100 \quad [1]$$

Em que,  $TOG_i$  é a concentração de óleo e graxas inicial da água produzida bruta-APB (mg/L) e  $TOG_f$  é a concentração de óleo e graxas da água produzida tratada-APT (mg/L).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização da água produzida

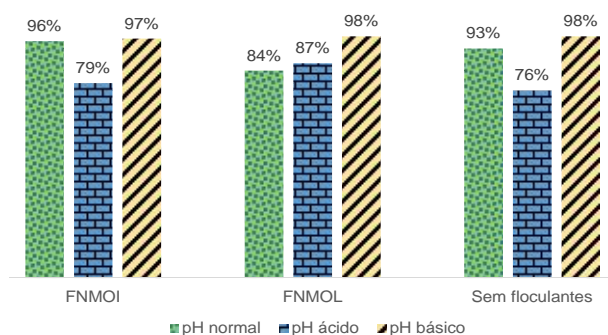
Na Tabela 2 apresentam os valores da caracterização físico-química da água produzida bruta.

Tabela 2: Resultados da caracterização físico-química da água produzida bruta.

Parâmetro	Medição 1	Medição 2	Média
Temperatura (°C)	35,07	33,46	34,265
Turbidez (NTU)	249,7	279,4	264,55
pH	6,27	6,61	6,44
Cloretos (ppm)	12536,4	7871,4	10203,9
Nitrato (ppm)	898,02	552,2	725,11
Condutividade (mS/cm)	22,63	22,01	22,32
TOG (ppm)	126	125	125,5

Na Figura 5 identifica as eficiências de remoção de TOG quando aplicados os FNMOI e FNMOL, juntamente com a técnica de flotação por ar dissolvido.

Figura 5: Eficiências de remoção de TOG quando aplicados os dois tipos de floculantes naturais.



Conforme a Figura 5 as eficiências de remoção de TOG quando aplicados as três condições de pH's tal qual, ácido e básico, apresentaram os valores para o FNMOI a remoção do TOG foram de 96%, 79%, e 97%, respectivamente; para o FNMOL foram 84%, 87%, e 98%, respectivamente e na ausência de

qualquer dos floculantes, apenas com a aplicação das condições do sistema de flotação a remoção de TOG foi de 93%, 76% e 98%, respectivamente.

Observa-se na Figura 5 com as aplicações dos floculantes naturais apresentaram elevadas eficiências, quando comparado com o estudo de Magalhães [2014] que apresentou uma eficiência em média de 70% de remoção de óleo e graxas da água produzida. Outros estudos desenvolvidos com a aplicação de floculante de moringa, nesse caso no tratamento de efluentes da indústria alimentícia Lenhari e Hussar [2010] observaram ótimas eficiências no tratamento físico químico desse tipo de efluente.

Observa-se que a variação de pH teve influência na remoção de TOG, o que o torna um parâmetro de controle importante, apresentando eficiência de média de 97,7% em ambas condições básicas, devido a desestabilização das cargas elétricas superficiais das gotículas de óleo pelo hidróxido de sódio.



Pode-se observar que quando aplicada apenas a técnica de FAD, na ausência de floculante, na condição de pH normal, a eficiência foi superior comparado com a aplicação do FNMOL, podendo dizer que o sistema é eficiente no tratamento de água produzida, não sendo necessário a utilização de produtos químicos para correção de pH's.

#### 4. CONCLUSÕES

O FNMOI foi mais eficiente de que o FNMOL na condição de pH normal e básico.

A técnica de FAD juntamente com o FNMOI foi a que apresentou maior eficiência 96% de remoção de TOG na condição de pH normal, concluindo que o sistema é eficiente no tratamento de água produzida.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química/UFRN, FUNPEC/CNPq e a PETROBRAS/CENPES/UO-RNCE pelo suporte financeiro e material para desenvolvimento deste trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA n. 393, de 8 de agosto de 2007. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CENPES. Caracterização do Efluente da Plataforma de Curimã PCR-1. Relatório Técnico Parcial. Jul. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/C657C5D3/GTCONAMAApresPetr obras.pdf>>. 12 janeiro 2015.

CRESPILHO, F. N., RESENDE, M. O. O. **Eletroflotação - Princípios e Aplicações**. São Paulo: RiMa Editora. 74p. 2004.

GAO, P.; CHEN, X.; SHEN, F.; CHEN, G. **Removal of chromium (IV) from wastewater by combined electrocoagulation-electroflotation without a filter**. Separation and Purification Technology, v.43, p.117-123, 2005.

GE, J.; QU, J.; LEI, P.; LIU, H. **New bipolar electrocoagulation-electroflotation process for the treatment of laundry wastewater**. Separation and Purification Technology, v.36, p.33-39, 2004.

LACERDA, M. R. S.; MARQUES, S. F. S.; BRANDÃO, C. C. S. **A influência do pH de coagulação e do tempo de floculação na flotação por ar dissolvido no tratamento de água com baixa turbidez e presença de algas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 1997.

LÉDO, P. G. S. **Flotação por ar dissolvido na clarificação de águas com baixa turbidez utilizando sulfato de alumínio e sementes de Moringa Oleífera como coagulantes**. 2008, 123p. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Pós Graduação em Engenharia Química. Natal-RN.

LENHARI, J. L. B.; HUSSAR, G. J. **Comparação entre o uso da moringa oleífera lam e de polímeros industriais**



**no tratamento fisicoquímico do efluente de indústria alimentícia.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v.7, n.4, p.033-042, 2010.

MAGALHÃES, E. R. B. **Avaliação de floculante natural à base de Moringa Oleífera no tratamento de água produzida na indústria do petróleo: aplicação da técnica combinada floculação/flotação.** 2014, 95p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Natal-RN.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. **Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seeds.** Wat. Res., v.33, n.15, p. 3373 – 3378, Elsevier Science Ltd, 1999.

PAULO, J. B. A.; LEDO, P. G. S.; SOUSA, E. M. B. D.; AZEVEDO, S. H. G.; MAGALHÃES, E. R.B. **Tratamento de águas residuais da indústria do petróleo utilizando floculante não-convencional e flotação por ar dissolvido.** In: XXV ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA & VIII MEETING OF THE SOUTHERN HEMISPHERE ON MINERAL TECHNOLOGY, Goiânia – GO, 2013.

PREDA, W. N.; ALENCAR FILHO, M. Q.; BORBA, G. L. **Características gerais dos projetos de injeção de água nos reservatórios produtores de petróleo da formação açu na bacia potiguar.** In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2008, Natal. Anai...Natal-RN, 2008.

SANTANA, C. R. **Tratamento de água produzida através do processo de flotação utilizando a Moringa Oleífera Lam como coagulante natural.** 2009. 153f. Dissertação de Mestrado,

Universidade Federal de Sergipe, Pós Graduação em Engenharia Química. São Cristovão, Sergipe.

SANTOS, A. C. S.; CRUZ, S. M.; SOLETTI, J. I.; CARVALHO, S. H.; TONHOLO, J.; ZANTA, C. L. P. S.; MIRAPALHETA, A. **Tratamento de efluentes sintéticos da indústria de petróleo utilizando o método da eletroflotação.** In: 4º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 4, 2007, Campinas. Anais... Campinas: ABPG, 2007.

SILVA, F. J. A.; SOUZA, L.M.M.; MAGALHÃES, S. L. **Uso potencial de biopolímeros de origem vegetal na descolorização de efluente têxtil índigo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville, Anais... Joinville, 2003.

SPINELLI, V. A. **Quitosana: polieletrólito natural para o tratamento de água potável.** 2001. 134f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, Santa Catarina.