

II-261 - ALTERNATIVA DE FLOCULANTE NATURAL NA ETAPA DE FLOCULAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL

José Wagner Alves Garrido⁽¹⁾

Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Especialista em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Mestre e Doutorando em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Técnico de Laboratório / Meio Ambiente da Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (ETE-UFRN).

Emilianny Rafaely Batista Magalhaes

Bacharel, Mestre e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Magna Angélica dos Santos Bezerra Sousa

Bacharel, Mestre e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professora do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Eduardo Lins de Barros Neto

Bacharel e Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Doutor em Engenharia Química pela Ecole National Supérieur D'ingenieurs de Genie Chimique Institut National. Professor do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Joao Bosco de Araújo Paulo

Bacharel em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Doutor em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Toulouse na França. Professor aposentado do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Senador Salgado Filho, 3000 - Lagoa Nova, Natal - RN, 59078-970. Tel.: (84) 3215-3161 / 9474-6788 - e-mail: josewagnerag@gmail.com.

RESUMO

O descarte inadequado de efluentes industriais implica em danos ambientais, penalizações e repercussão negativa as empresas produtoras, contrariando a legislação ambiental. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi verificar a eficiência de floculante natural de Moringa Oleífera, no tratamento de água produzida visando a remoção do teor de óleos e graxas com a técnica combinada floculação/flotação por ar dissolvido. Para isso, foram utilizados três tipos de floculantes: floculante natural de Moringa Oleífera e dois floculantes comerciais, em que estes foram utilizados com a técnica combinada de floculação/flotação por ar dissolvido. O floculante natural proporcionou uma maior eficiência de remoção de TOG de 94%, relativo a um TOG final de 12 mg/L e os floculantes comerciais tipos (A) e (B) proporcionaram eficiências de 81% e 77%, respectivamente, apresentando os respectivos TOG's finais de 37,5 mg/L e 45 mg/L.

PALAVRAS-CHAVE: Floculante, Moringa Oleífera, Flotação, Água produzida, Efluente.

INTRODUÇÃO

O descarte inadequado de efluentes industriais implica em danos ambientais, penalizações e repercussão negativa as empresas produtoras, contrariando a legislação ambiental vigente, as resoluções CONAMA 393/2007 (Brasil, 2007) e CONAMA 430/2011 (Brasil, 2011). Por exemplo, na indústria do petróleo vários segmentos impactam negativamente o meio ambiente. No segmento representado pela extração do petróleo, o efluente mais relevante é a “água produzida” ou “água de produção”, associada com o petróleo, pela sua complexa composição química e quantidade gerada que pode variar consideravelmente (Stewart & Arnold, 2011).

Assim sendo, 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 expandir-se, minimizando os impactos negativos no meio ambiente.

A partir dos anos 60 a Flotação por Ar Dissolvido (FAD) foi introduzida no tratamento de água de abastecimento e de águas residuais, apresentando ao longo do tempo um crescente desenvolvimento. Atualmente, a consolidação dos parâmetros para a técnica de FAD vem tornando este processo economicamente viável e com grande confiabilidade ambiental ao se comparar com outros processos de separação sólido-líquido e líquido-líquido, se firmando como um processo largamente empregado em vários campos de tratamento de águas e de efluentes em todo o planeta (Coutinho, 2007).

No que se refere ao tratamento de águas produzidas para retirada do óleo finamente disperso, utiliza-se as operações de floculação na etapa de pré-tratamento, com adição de produtos químicos ou naturais aprimorando o rendimento do processo de flotação, tornando essa etapa um ponto importante (Spinelli, 2001).

Sabe-se que os coagulantes químicos comerciais geralmente são disponíveis para as indústrias sem a apresentação dos mecanismos de fenômenos de formação dos flocos, que quando aplicados, dependendo da dosagem poderá acarretar sérios problemas à saúde do ser humano e ao meio ambiente por não ser biodegradável (Hamid et al., 2014). Diante disso, estudos realizados com aplicação de coagulantes naturais para o tratamento de água produzida têm sido bastante abordados, por serem biodegradáveis e seguros para a saúde humana (Pritchard et al., 2010).

Em face ao exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar a eficiência de floculante natural de Moringa Oleífera, no tratamento de água produzida visando a remoção do teor de óleos e graxas com a técnica combinada floculação/flotação por ar dissolvido.

METODOLOGIA

EFLUENTE INDUSTRIAL

O efluente industrial utilizadas no trabalho, consiste de amostras de água produzida, estas foram obtidas após o sistema de pré-tratamento por separador água óleo (SAO) existente em uma ETE da Petrobras (UO – RNCE), localizada no município de Guamaré-RN.

De acordo com Magalhães (2014), o tempo decorrido entre a coleta e o transporte da amostra influenciam na redução do TOG presentes na água de produção a ser tratada. Por este motivo, a água produzida recebida no laboratório apresenta comumente TOG não condizente com a realidade da indústria, tornando-se necessário, portanto, realizar uma semisintetização desta água produzida (APSS).

A semisintetização consistiu na mistura de água produzida com óleo bruto (cedido pela Petrobras), com objetivo de deixar esta água com TOG em torno de 170 (± 25) mg/L. Para isso adicionou-se 0,2 ml de óleo para cada litro de água produzida, mantendo a mistura sob agitação de 226 rpm por 2 h para a devida homogeneização. A agitação mecânica foi realizada com agitador mecânico digital TE-039 da TECNAL.

FLOCULANTE NATURAL

O floculante natural utilizado nesta pesquisa foi derivado das sementes da planta Moringa Oleífera (FNMO), o mesmo foi cedido pela Empresa Claeff Engenharia, a qual não passou nenhuma característica físico-química desse floculante.

FLOCULANTE COMERCIAL

Os floculantes comerciais foram cedidos pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES), não foram identificados por exigência de confidencialidade da Petrobras, os quais foram identificados neste trabalho com o sendo Tipo (A) e Tipo (B).



TÉCNICA COMBINADA FLOCULAÇÃO/FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO

O equipamento para realização da técnica FAD foi construído de acordo com Lacerda et al. (1997), no Laboratório de Monitoramento, Tratamento e Reuso de Resíduos da Indústria de Petróleo (LAMTRE) na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) em escala de bancada (Figura 1).

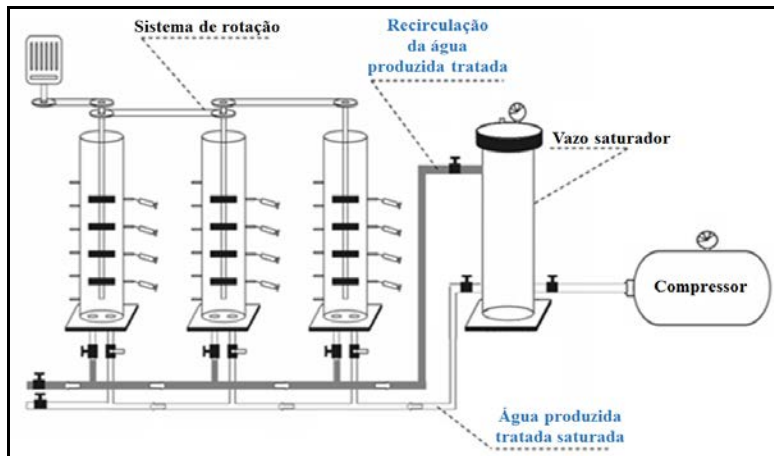


Figura 1. Esquema geral do flotateste.

Fonte: Adaptado de Lacerda et al. (1997).

Conforme pode observar na Figura 1, o flotateste é constituído, 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 floculante natural de Moringa Oleífera, na segunda os floculantes comerciais e na terceira não foi inserido floculante em batelada.

A câmara de saturação foi preenchida com água produzida tratada (cerca de 2/3 do seu volume) e o compressor foi acionado para atingir a pressão de 5 kgf/cm² em seu interior. O tempo de saturação da água foi de duração mínima de 20 min., conforme recomendações do fabricante JBF-Aquaflot.

Para os ensaios de floculação e flotação colocou-se o volume de 1 litro do efluente industrial a ser tratado em cada coluna de flotação. Posteriormente, foi acionado o sistema de rotação para atingir a velocidade rotacional indicada para mistura rápida, o que representa 226 rpm por 3,0 minutos. Neste momento adicionou-se os floculantes nas concentrações de 10 mg/L de ambos os floculantes, nas respectivas colunas, utilizando as seringas localizadas na lateral dessas colunas.

A seguir, por meio de um cronômetro digital, registrou-se o tempo de mistura rápida de 3,0 minutos a partir da adição do floculante. Terminado esse tempo, a rotação foi reduzida ao valor de 90 rpm durante 6,5 minutos, correspondente à etapa de mistura lenta, para favorecer a formação de flocos (floculação).

Em sequência, o sistema de rotação foi desligado e as hastes foram retiradas dos mandris e, de forma imediata, as válvulas de cada coluna de flotação foram abertas para a injeção da água saturada com ar mantendo-se a taxa de recirculação constante (20% do volume da coluna). Terminada a recirculação, o tempo de flotação de 6,5 minutos foi cronometrado e posteriormente seguiu-se a coleta de amostra de água tratada para análise de TOG.

ANÁLISE DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS (TOG)

Para a determinação do TOG, utilizou-se o analisador Infracal TOG/TPH (da Wilks Enterprise Corp - Modelo HATR-T2), que determina o TOG, através de espectrometria de absorção na região do infravermelho (Figura 2).



Figura 2. Infracal TOG/TPH.

Essa metodologia foi baseada conforme as recomendações do fabricante do equipamento de análise, que determina que as amostras sejam coletadas diretamente em frascos âmbar, as quais foram acidificadas ($\text{pH} \leq 2$) com ácido sulfúrico P.A – ACS da marca Synth. Em seguida as amostras foram transportadas para um funil de decantação, para etapa de extração do óleo.

Após inserir as amostras no funil, foi adicionado uma quantidade de N-Hexano 97% (grau UV/HPLC – ESPECTR) na proporção 10:1 (base volumétrica 10 partes de amostra para 1 parte de H-Hexano) no frasco âmbar, que foi agitado com o objetivo de desprender de suas paredes o óleo que, porventura, estivesse agregado. Em seguida, esta mistura foi colocada no funil.

No funil, o líquido foi vigorosamente agitado, logo após, deixou-se o funil em repouso por um minuto, quando se tem a completa separação entre fase orgânica e a fase aquosa. Terminado esse período de separação de fases a fase orgânica é recuperada, a fim de realizar a análise do TOG.

O procedimento de obtenção de TOG no analisador infrascal deu-se após a etapa da extração da fase orgânica. Com o auxílio de uma micropipeta (marca Digipet) coletava-se 50 μL desta fase orgânica e distribuía-se esta quantidade coletada na plataforma de cristal do Infracal (Figura 2).

Esta plataforma era sempre limpa com hexano antes de iniciar as medições e no intervalo de cada uma delas, para garantir que o óleo presente seja apenas o da amostra avaliada. Sendo, que a limpeza do equipamento era confirmada quando o display indicava 00 ou o registro entre -02 e +02, caso contrário repetia-se o procedimento de limpeza.

Foram realizadas as coletas de 200 mL de água produzida antes da aplicação do tratamento (efluente semissintético) e depois do tratamento (efluente tratado), a fim de calcular a eficiência do sistema de tratamento.

EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS (TOG)

A eficiência do tratamento desse efluente industrial foi avaliada a partir das análises dos TOG's antes do tratamento (água produzida semissintética - APSS) e depois do tratamento (água produzida tratada - APT). Para realização desta análise utilizou-se o equipamento Infracal TOG/TPH da Wilks Interprise. A Equação (1) define a eficiência de remoção do TOG.

$$\eta (\%) = \left(1 - \frac{\text{TOG}_f}{\text{TOG}_i} \right) \times 100$$

onde,

TOG_i é a concentração de óleo e graxas inicial (antes do tratamento) (mg/L ou ppm);

TOG_f é a concentração de óleo e graxas final (depois do tratamento) (mg/L ou ppm).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 esboça a comparação das médias das eficiências de remoção de TOG e respectivos valores de TOG's finais, quando se aplica cada flocculante de forma isolada, seguida da técnica de floculação/flotação por ar dissolvido no tratamento de água produzida.

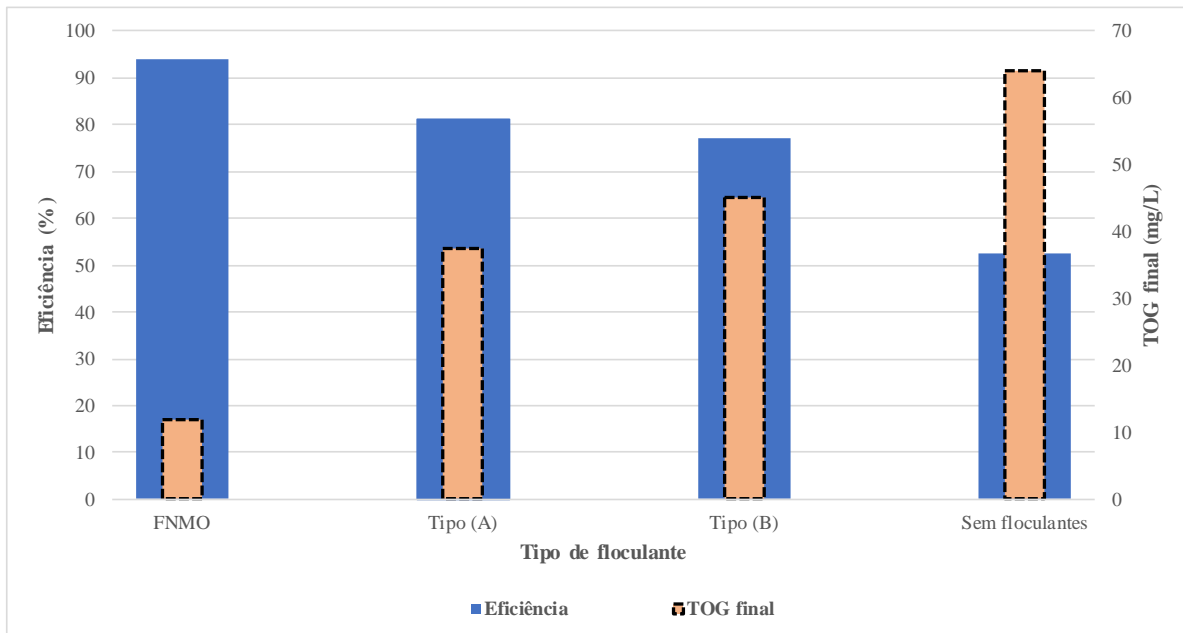


Figura 3 - Comparação das médias das eficiências de remoção e dos valores finais dos TOG's da água produzida tratada quando aplicado cada flocculante.

Analisando a Figura 3, observa-se que o FNMO proporcionou uma maior eficiência de remoção de TOG ($\eta=94\%$), relativo a um TOG final de 12 mg/L e os flocculantes comerciais tipos (A) e (B) proporcionaram eficiências de 81% e 77%, respectivamente, apresentando os respectivos TOG's finais de 37,5 mg/L e 45 mg/L.

Assim sendo, observa-se que para uma concentração de 10 mg/L de flocculante, o único flocculante capaz de obedecer as condições e padrões ambientais requeridos foi o FNMO. É importante observar que a Resolução CONAMA 430/2011 (Brasil, 2011) determina um limite máximo de 20 mg/L de TOG para a qualidade do efluente descartado em corpos receptores naturais.

É necessário considerar o seguinte aspecto prático, a composição global do flocculante natural não foi disponibilizada pelo fornecedor, podendo este apresentar alguma outra substância e/ou conservantes que possam influenciar na desestabilização das gotículas de óleos e graxas, promovendo assim maior remoção do TOG, quando aplicado a técnica de FAD.

A Figura 3 ainda mostra que a técnica combinada floculação/flotação por ar dissolvido pode prescindir do uso de flocculantes. É importante observar, que o valor absoluto do TOG final pode não representar a qualidade final exigida para o efluente, ou seja, em termos de descarte. Por exemplo, o valor de 79% de remoção de TOG, operando-se o sistema sem flocculante, não se mostrou satisfatório para especificar a água produzida para descarte, uma vez que o TOG final nesta condição foi de 64,0 mg/L, valor acima do máximo permitido de 20 mg/L (operação onshore), conforme Resolução CONAMA nº 430/2011 (Brasil, 2011).

Deste modo, a utilização de FNMO é uma alternativa possível para a substituição de flocculantes tradicionais utilizados pelas indústrias. Outros estudos desenvolvidos com a aplicação de flocculante de Moringa, nesse caso no tratamento de efluentes da indústria alimentícia Lenhari & Hussar (2010), concluíram que este flocculante foi satisfatório mostrando-se eficiente, podendo substituir os flocculantes de origem química no tratamento físico-químico de efluentes.

De acordo com Pritchard et al. (2010), a Moringa Oleífera se mostra competitiva com os tradicionais produtos empregados para floculação, com a vantagem de ser completamente biodegradável, o que permite a sua total degradação quando houver etapas biológicas no processo. Devido a sua versatilidade, a Moringa Oleífera apresenta ação efetiva sobre vários tipos de água, assim como diversos tipos de efluentes industriais.

CONCLUSÕES

Em face ao exposto, o floculante natural de Moringa Oleífera mostrou potencialidade com a técnica combinada floculação/flotação por ar dissolvido na separação óleo/água.

Apesar desse estudo ter sido realizado de maneira a verificar a eficiência de floculante natural de Moringa, este floculante juntamente com a técnica de flotação por ar dissolvido é uma alternativa para substituir coagulantes químicos convencionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 393 de 08 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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 de agosto de 2007, 2007.
2. BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 de maio de 2011, 2011.
3. COUTINHO, W. Emprego da flotação a ar dissolvido no tratamento de cursos d'água avaliação de desempenho da estação de tratamento dos Córregos Ressaca e Sarandi afluentes à represa da Pampulha. 104f. Dissertação (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
4. HAMID, S. H. A., LANANAN, F., KHATOON, H., JUSOH, A., ENDUT, A. A study of coagulating protein of Moringa Oleífera in microalgae bioflocculation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v.113, p.310-317, 2016.
5. 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.
6. LENHARI, J. L. B., HUSSAR, G. J. Comparação entre o uso da *Moringa Oleífera Lam* e de polímeros industriais no tratamento físico químico do efluente de indústria alimentícia. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v.7, n.4, p.33-42, 2010.
7. 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. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2014.
8. PRITCHARD, M., CRAVEN, T., MKANDAWIRE, T., EDMONDSON, A. S., O'NEILL, J. G. A comparison between Moringa Oleífera 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.
9. SPINELLI, V. A. Quitosana: polieletrólito natural para o tratamento de água potável. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis-SC, 2001.
10. STEWART, M., ARNOLD, K. Produced water treatment field manual. Part-1. *Produced Water Treating Systems*, p.1-134, 2011.