

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO APLICADO AO
TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA**

AUTORES:

LIMA, J. O; ROSA, L. P. S.; LICONA, K. P. M.; MARQUES, J.J.; PEREIRA, Z. O.

INSTITUIÇÃO:

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO APLICADO AO TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA

Abstract

Produced water is the wastewater resulting from primary processing of petroleum. A suitable alternative for its disposal is the reinjection into oil wells, after treatment at the level required by the process. Filtration is a unit operation of much use widespread in the industry, with the conventional filtration the study object of this work. The filtration system consisted of a reservoir connected to the filter, a graduated cylinder with capacity of 2000 mL (filtered container), a kitassato, a vacuum pump and lines interconnection of components. The operation was conducted in a conventional vacuum. The flocculated suspensions were subjected to a conventional filtration, where, what was filtered supernatant, followed by physical-chemical treatment of water produced. The filter performance was measured in the turbidity of the filtrate and the removal efficiency of oil and grease. The results were satisfactory with 83% removal of total solids and 87% of oils and greases.

Keywords: produced water, conventional filtration, water injection.

Introdução

O Meio Ambiente tem sido cotidianamente agredido por atividades antrópicas. A busca pela melhoria na qualidade dos processos, materiais e técnicas resultam prioritariamente da necessidade de adequação das atividades poluentes às exigências legais. Nas atividades de exploração e produção de petróleo e gás são gerados resíduos e efluentes, dentre os quais se destaca a água produzida juntamente com o óleo e o gás, que consiste na combinação da água naturalmente presente na formação geológica do reservatório de petróleo com a água de injeção - aquela injetada no reservatório para aumento da produção (GABARDO, 2007).

Para ÇAKMAKCI *et al* (2008), o poluente mais relevante no tocante à extração do petróleo, particularmente pelo volume e composição envolvidos, é a água produzida. Dados fornecidos pela Petrobras indicam que, para cada m³ de óleo produzido, produz-se 1,1 m³ de água salgada (SCHUHLLI, 2007).

Água Produzida

A água produzida contém geralmente alta salinidade, partículas de óleo em suspensão, produtos químicos adicionados nos diversos processos de produção, metais pesados e, por vezes, alguma radioatividade. Isto a torna um poluente de difícil descarte, agravando-se pelo expressivo volume envolvido (LIMA *et al*, 1998).

O descarte inadequado deste tipo de efluente implica em diversos efeitos nocivos ao meio ambiente, penalidades legislativas e elevados custos com ações corretivas e/ou mitigadoras de impactos ambientais.

Para GARCIA (1985) *apud* Santos *et al.* (2007), uma opção eficaz para disposição da água produzida é a sua reinjeção, uma vez que isso aumenta a recuperação de óleo dos reservatórios e reduz os impactos ambientais, sobretudo à biota marinha e aos corpos receptores. Porém, se realizada sem tratamento, alguns inconvenientes podem ser observados como a contaminação e/ou incompatibilidade entre a água que está sendo injetada e a água do aquífero, provocando a

formação de sais e comprometendo a injetividade.

Água de Injeção

A água de injeção, ao ser comprimida no horizonte produtor, através dos poços injetores, tende a aumentar ou manter a produção de uma determinada zona produtora. Esse objetivo é atingido por meio da manutenção da pressão ou por deslocamento do petróleo, na direção dos poços produtores. Uma vez injetada na zona produtora, a água de injeção deve ser a mais inerte possível, de modo a evitar danos ao reservatório. Pode-se utilizar como água de injeção: água proveniente do mar, águas superficiais ou de aquíferos rasos e a própria água produzida (LIMA et al 1998).

Em função das exigências legais para descarte, a tendência é optar por injeção da água produzida após tratamento específico. Um procedimento básico de tratamento de água produzida inclui: remoção de óleo residual, remoção de gases, remoção de sólidos suspensos e dissolvidos e eliminação de bactérias.

Filtração

É uma operação unitária extensivamente utilizada na indústria, e consiste na separação sólido-fluido através de um meio filtrante contendo material poroso (COULSON e RICHARDSON, 1991).

De acordo com MCCABE *et al.* (2003), quando se força a suspensão através do leito, o sólido da suspensão fica retido sobre o meio filtrante, formando a denominada torta. O líquido que se desloca permeando o leito é o filtrado.

As aplicações são bastante numerosas, podendo-se citar desde a separação de pequenas quantidades de materiais em laboratórios de química, usando filtração simples ou filtração a vácuo em funil de Büchner, até a separação de grandes quantidades de material como na mineração e no tratamento de água e efluentes. (GOMIDE, 1980).

A filtração é também utilizada na separação de misturas sólido-gás, a exemplo do desempoeiramento de ar e de outras aplicações similares. A finalidade da operação pode ser a recuperação da fase sólida, da fase líquida ou de ambas. Os principais fatores que determinam a escolha do tipo de filtro e a definição das condições operacionais, além do custo, são (KYLLÖNEN et al., 2006):

- As propriedades do fluido, principalmente a viscosidade, a densidade e a corrosividade;
- As propriedades do sólido, destacando-se o tamanho, a forma e a granulometria das partículas;
- A concentração de sólidos na suspensão;
- A quantidade de suspensão a ser manipulada;
- Se o produto de interesse é o sólido ou o fluido, ou ambos;
- Se é necessário lavar os sólidos filtrados;
- Se o filtrado pode ou não ser aquecido;
- Se há alguma forma de pré-tratamento aplicável, a exemplo da coagulação-floculação.

Teoria da Filtração

A teoria da filtração foi desenvolvida nas escolas de Frank M. Tyller (Universidade de Houston, EUA) e Mompei Shirato (Universidade de Nagoya, Japão). Partindo dessa teoria, surgiu a “teoria simplificada”, base para o projeto e análise de desempenho de filtros” (MASSARANI, 2002).

A filtração, por qualquer que seja o equipamento, leva ao acúmulo de sólidos, causada pela percolação do fluido. Este material retido no meio filtrante, doravante denominado de torta, forma uma camada cuja espessura cresce com o tempo, aumentando gradualmente a resistência hidráulica do filtro e afetando a taxa de filtração (SONDHI e BHAVE, 2001.).

Segundo MCCABE *et al.* (2003), os estágios de formação de torta são importantes, pois: 1) para qualquer pressão, a taxa de filtração é máxima no início do processo uma vez que a resistência é mínima; 2) altas taxas de filtração podem resultar no bloqueio dos poros do filtro, causando o aumento de resistência ao fluxo; 3) a orientação das

partículas nas camadas iniciais da torta pode influenciar significativamente toda a estrutura do filtro.

Metodologia

Sistema de Filtração

O sistema de filtração consistiu num reservatório acoplado ao filtro, um cilindro graduado com capacidade de 2000 mL (recipiente do filtrado), um kitassato, uma bomba de vácuo, marca PRIMAR, modelo BCP15VC e as linhas de interligação dos componentes, conforme esquema da Figura 1.

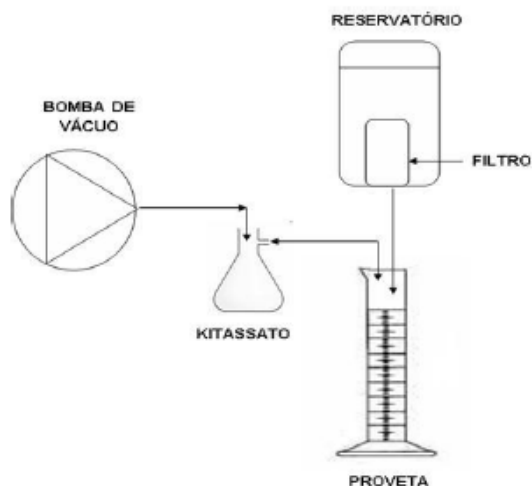


Figura 1- Sistema de Filtração Convencional.

O meio filtrante utilizado foi um cilindro de polietileno sinterizado oco (diâmetro externo 35,8 mm; diâmetro interno: 30,1 mm; altura: 26,3 mm; profundidade: 22,2 mm) com tamanho de poro médio de 1 μm , área de $3,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ e volume de $2,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3$, fornecido pela Dragon Shine Rotocasting Co. Ltd. (Taiwan, República da China).

Neste mecanismo de filtração a alimentação era feita na parte superior do reservatório de suspensão, onde estava instalado o meio filtrante. A partir do acionamento da bomba de vácuo, o filtrado escoava para o reservatório onde seu volume era medido ao longo do tempo. A taxa de filtração foi calculada a partir do quociente entre o volume acumulado num dado período

(ΔV) e o valor do respectivo período de tempo (Δt).

Sistema de Retrolavagem

A regeneração é feita em fluxo contrário ao da filtração, utilizando-se o sistema da Figura 2, composto por um vaso de pressão (reservatório do líquido de retrolavagem) dotado de um medidor de nível; duas válvulas (uma para a alimentação de líquido de retrolavagem e a outra para a entrada de ar comprimido); um manômetro e uma saída solvente. O sistema operava conectado a um compressor de ar e as retrolavagens foram realizadas sob pressão manométrica de 1 bar.

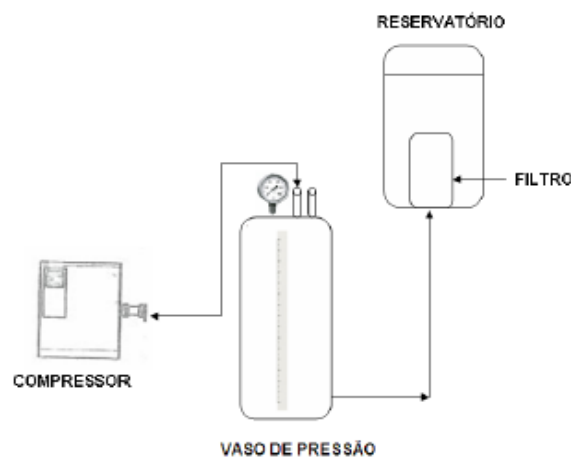


Figura 2- Sistema de Retrolavagem

Preparação da água produzida sintética e condições Experimentais estudadas

A suspensão de água produzida sintética foi preparada segundo ROCHA (2009), misturando-se em água, cloreto de sódio, petróleo e argila próximas às encontradas em água produzida, de modo a

produzir uma mistura semelhante à água produzida real, como mostra na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições usadas no preparo da água produzida sintética

Parâmetros	Concentração (mg/L)
Argila (60 mesh)	1000
Teor de Óleo	100
NaCl	60000
Sulfato de Alumínio (Al_2SO_3)	50

A incorporação do petróleo ao meio exigia a geração de uma emulsão óleo – água, a qual foi proporcionada por um agitador de hélices marca Black & Decker, modelo SB40. Em seguida, a água produzida era colocada no *jar test*, onde, era conduzida a um processo de coagulação – floculação com sulfato de alumínio, corrigindo-se previamente o pH do meio, quando necessário. Portanto, a filtração era aplicada ao sobrenadante do ensaio de floculação, o qual continha sólidos em suspensão e óleo, a serem separados na filtração.

Determinação dos Sólidos Dissolvidos

Os sólidos dissolvidos totais (SDT) ou salinidade são os sólidos filtráveis que atravessam a membrana filtrante. Para determinação do teor de SDT em uma amostra é necessário, de acordo com o método 2540 C do SMEWW, a secagem do filtrado a 180°C por 2 h, após filtração da amostra em meio filtrante com poros de 0,45 µm.

Determinação do Teor de Óleos e Graxas

Para a determinação do teor de óleos e graxas foi utilizado o método de espectroscopia de infravermelho, usando-se um espectrofotômetro Infracal da Wilks Enterprise (USA), modelo TOG/TPH

Analyzer, de acordo com a norma ASTM D 1129.

Resultados e Discussão

As suspensões floculadas foram submetidas a uma filtração convencional, onde se filtrou o sobrenadante, resultante do tratamento físico-químico da água produzida, como mostram as Figuras 3 e 4.



Figura 3 - Água Produzida Sintética.



Figura 4 - Coagulação-floculação no tratamento da água produzida sintética.

Foram realizados sete ensaios de filtração utilizando-se a aparelhagem experimental apresentada anteriormente, usando-se primeiramente água destilada - para a construção de uma curva de filtração ideal - , seguida da filtração do sobrenadante do tratamento da água produzida sintética, intercalando- as com as retrolavagens utilizando n- hexano

As Figuras 5 e 6 mostram resultados da filtração das suspensões floculadas pelo mecanismo convencional a vácuo, após serem

retrolavadas com n-hexano em tempos diferentes.

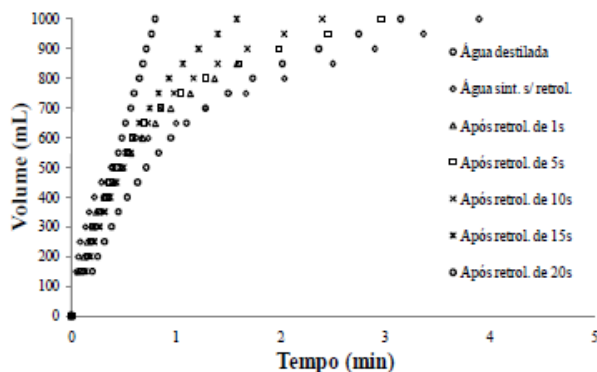


Figura 5 - Comparativo da regeneração do meio filtrante para todos os experimentos

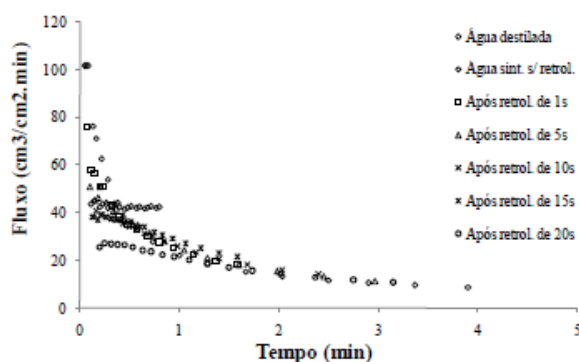


Figura 6 - Fluxo de filtrado para todos os experimentos.

Pode-se observar na Figura 5 que a curva da primeira filtração utilizando-se água destilada tem comportamento linear, enquanto as curvas de filtração da água produzida sintética apresentam formato semelhante ao de uma função tipo potência. Isso está diretamente relacionado à resistência, que aumenta com o bloqueio dos poros do meio filtrante e com o aumento da espessura da camada de torta, o que já era esperado nesse tipo de operação.

Observa-se na Figura 6 que o fluxo inicial foi reduzido à medida que se aumentou o tempo de passagem do solvente durante as retrolavagens. Provavelmente, isso foi provocado pela hidrofobia do meio filtrante adquirida pela passagem do solvente através

dos poros. Assim, provavelmente, quanto maior o tempo de aplicação do solvente, maior a rejeição do meio à passagem do filtrado após a retrolavagem. Evidentemente, esse aspecto precisa ser melhor estudado.

Análises físico-químicas da água produzida sintética

Na determinação da turbidez, obteve-se uma média de redução de 83%, conforme mostra a Figura 7.

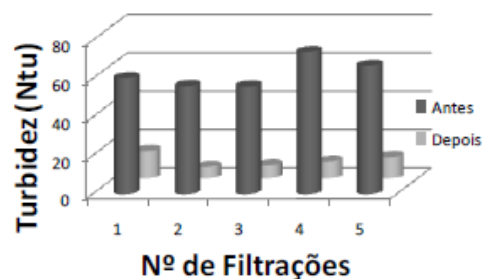


Figura 7 - Comparativo de turbidez antes e depois das filtrações realizadas com água produzida sintética.

Os resultados mostrados na Figura 8 correspondem a uma média de redução do TOG de 91%, devido à utilização do meio filtrante à base de plástico sinterizado, produzindo valores finais abaixo do limite especificado pela Resolução CONAMA 393/2007, revelando que esta operação é muito eficiente na remoção de óleos e graxas do efluente.

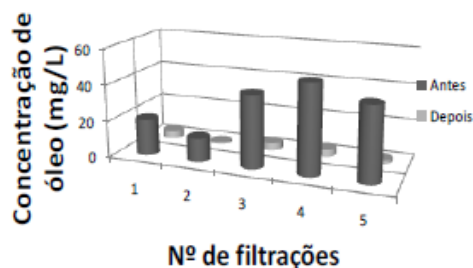


Figura 8 - Gráfico comparativo do TOG antes e depois das filtrações realizadas.

Conclusões

Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, pois obteve-se elevadas remoções de TOG e do teor de sólidos suspensos.

Observou-se que o teor de óleos e graxas prejudicou a filtração. A provável causa disto foi a deposição de um filme de óleo sobre a superfície filtrante ou a formação de lamas compostas por óleos e partículas suspensas, colmatando os poros do filtro.

Os resultados alcançados motivam estudos posteriores visando à otimização do consumo de solvente na limpeza do filtro, bem como o desenvolvimento de técnicas alternativas de limpeza, uma vez que o meio filtrante mostrou-se íntegro após as filtrações e limpezas sucessivas com solvente.

Agradecimentos

Ao LABITEC- Laboratório de Inovação Tecnológica.

Ao Programa de Bolsas de Iniciação Científica - COPES/UFS.

Referências Bibliográficas

COULSON, J. M.; RICHARDSON, J. F. *et al.* Chemical engineering: Particle technology and separation processes. 4ed. v.2. Pergamon Press, 1991.

KYLLÖNEN, H.; PIKONEN, P. *et al.* Experimental aspects of ultrasonically enhanced cross-flow membrane filtration of industrial wastewater. *Ultrasonics Sonochemistry*. v. 13, p.295-302, 2006.

LICONA, K. P. M. Desenvolvimento de um filtro de plástico sinterizado Para uso no tratamento de água produzida. Qualificação de Mestrado. Universidade Federal de Sergipe/ PEQ, São Cristóvão- SE, 2010.

MASSARANI, G. Fluidodinâmica em Sistemas Particulados. 2. ed. Rio de Janeiro: e-papers, 2002. v. 01. 152 p.

MCCABE, W. L.; SMITH, J. L.; HARRIOTT, P. Unit Operations of Chemical Engineering. 7.ed. New York: McGraw Hill, 2003.

ROCHA, I, C, C. Filtração Em Campo Ultrassônico. Dissertação de mestrado em Engenharia Química.. Sergipe, 2009.

SILVA, G. M. C. Desempenho de filtros ceramicos na filtração de gases a altas temperaturas. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, 2008.

SONDHI, R.; BHAVE, R. Role of backpulsing in fouling minimization in crossflow filtration with ceramic membranes. *Journal of Membrane Science*. v.186, p. 41-52, 2001.

VIDAL, C.M.S. Avaliação da microfiltração tangencial como alternativa de tratamento avançado de efluente gerado em sistema de tratamento de esgoto sanitário constituído de reator UASB (upflow anaerobic sludge blanket) seguido de tanque de aeração. Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento. São Paulo, 2006.