

ESTUDO SOBRE AS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA

Wendell Klismann Santana Campos¹ | Filipe Smith Buarque² |
Roberto Oliveira Macêdo Júnior³ | Daniel Pereira Silva⁴ | Denise Santos Ruzene⁵

Engenharia de Petróleo



ISSN IMPRESSO: 1980 - 1777
ISSN ELETRÔNICO: 2316 - 3135

RESUMO

Em tempos passados, a produção petrolífera tinha como principal objetivo e preocupação a produção e exploração apenas do óleo e do gás, porém, com o passar dos anos, surgiu uma preocupação também com a água produzida, considerada um efluente inerente ao processamento primário do petróleo e gás, onde sua disposição final é um fator importante principalmente pelo fato de que órgãos ambientais recentemente estabeleceram normas para o seu devido tratamento e o possível descarte. Assim, estudos e pesquisas para obter a melhor tecnologia ou conjunto de tecnologias para tratamento da água produzida estão em evidência visando não somente maior eficiência na remoção e recuperação de óleos e demais agentes tóxicos, mas também viabilidade financeira junto a estas tecnologias. Com isso, frente aos aspectos econômicos e ambientais, diversos fatores são considerados para planejar um sistema de gerenciamento de efluentes para exploração e produção de petróleo, a fim de cumprir a legislação. Dentre esses fatores a minimização de custos de construção, operação e manutenção das unidades de tratamento e agregação de valor ao efluente, como por exemplo, a reinjeção em reservatórios e a disposição final adequada, são os que apresentam maiores destaques. Neste sentido o presente trabalho foi realizado para que sejam apresentadas as principais tecnologias utilizadas para tratamento da água produzida.

PALAVRAS-CHAVE

Água produzida, Teor de Óleos e Graxas, Tratamento de Efluente.

In the past, the main objective and concern of oil production was the exploration and production of oil and gas, but, over the years, a concern with the water production has also emerged, and it has to be considered as an inherent effluent in the primary process of oil and gas, in which the final disposal is an important factor, especially due to the fact that environmental agencies have recently established rules for the proper treatment and the final disposal. Thus, studies to obtain the best technology or set of technologies for the treatment of the produced water are in evidence aiming at the greater efficiency in the removal and recovery of oil and other toxic agents, and the financial viability of these technologies as well. Due to the economic and environmental aspects, several factors have to be considered to plan a waste management system for oil exploration and production, in order to fulfill the legislation. Among these factors, the main ones are: the construction, operation and maintenance cost reduction, the re-injection into reservoirs and correct final disposal. In this sense, the present paper aims to present the main technologies used to treat the produced water.

KEYWORDS

Produced Water, Level of Oil and Grease, Wastewater Treatment.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o petróleo tem uma importância fundamental na vida da sociedade. O petróleo é constituído por centenas de substâncias químicas, embora a maioria dos constituintes sejam hidrocarbonetos, seus derivados estão ligados a várias manufaturas de inúmeros bens de consumo, além de estar presente como uma das principais fontes de energia (SILVA, 2008).

Na indústria petrolífera, durante o processo de extração do petróleo e gás, existe a extração também de água, conhecida como água produzida, também presente nos reservatórios de petróleo (BRAGA, 2008). Conforme Silva (2008) o impacto ambiental provocado pelo descarte da água produzida é, geralmente, avaliado pela toxicidade dos constituintes e pela quantidade de compostos orgânicos. Além destes agentes tóxicos, a água produzida ainda apresenta quantidades elevadas de produtos químicos tóxicos adicionados durante o processo de extração do petróleo como: inibidores de corrosão e incrustação, desmulsificantes, polieletrólitos, entre outros (ROCHA et al., 2012).

Portanto é necessário que as indústrias tenham processos eficientes de tratamento da água produzida. Para isso existem tecnologias diretas para o tratamento desse efluente, utilizando o conceito da química verde e tecnologia limpa, dentro dos processos de manufatura para proteger o meio ambiente.

2 INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

No Brasil a história do Petróleo iniciou em 1858, com o Decreto de nº 2.226 assinado pelo Marquês de Olinda, concedendo a José Barros Pimentel o direito de extrair o mineral para a fabricação de querosene em terrenos situados a margem do Rio Marau, na Bahia (SANTANA, 2009). Em Sergipe, as atividades da Petrobras iniciaram em 1961, no campo de Riachuelo. O ano de 1963 ficou marcado com a descoberta do campo de Carmópolis, que

de acordo com Pontes (2010), é o maior campo petrolífero terrestre do país. Na indústria do petróleo a geração de efluentes é inevitável, destacando a quantidade de águas residuais gerada em todas as etapas do processo de produção: extração, transporte e refino (SILVA *et al.*, 2005).

3 PETRÓLEO

A derivação da palavra "Petróleo" se origina do Latim *petra* (pedra) e *oleum* (óleo), ou seja, óleo que vem de pedra (THOMAS, 2001). Como descrito por Fonseca (1999) e Melo (2007), petróleo é um composto constituído por uma mistura de inúmeros grupos funcionais, sendo o principal, os hidrocarbonetos, substâncias que contêm em sua estrutura atômica carbonos e hidrogênio.

O petróleo bruto pode variar desde líquidos incolores até materiais viscosos e escuros, alguns dos quais são sólidos a temperatura ambiente (RYDER, 2002). Conforme Thomas (2001), o petróleo varia a sua cor entre negro e castanho escuro e tem o caráter oleoso, inflamável, menos denso que a água e com cheiro característico de hidrocarbonetos. Basicamente os vários tipos de petróleo variam de 83 a 87% de carbono em peso e 11 a 14% de hidrogênio, e pequenas frações de compostos como enxofre 0,06 a 8%, nitrogênio 0,11 a 1,7%, oxigênio 0,1 a 2% e metais até 0,3%. Por outro lado, os hidrocarbonetos podem ser classificados pela sua estrutura, como saturados, insaturados (olefinas) e aromáticos. Os saturados são aqueles que os átomos de carbonos são unidos por ligações simples e ao maior número de átomos possível de hidrogênio, os insaturados são aqueles que apresentam pelo menos uma dupla ou tripla ligação entre o carbono, enquanto que os aromáticos apresentam pelo menos um anel benzeno.

Na atualidade sabe-se que o petróleo é um produto que é formado ao longo de milhares de anos, resultante de processos físico-químicos sofrido pela matéria orgânica que se deposita juntamente com fragmentos no fundo de lagos e mares e que, lentamente, são cobertos por sedimentos. Devido ao efeito da alta temperatura e da pressão exercida sobre essa matéria orgânica reações químicas complexas ocorrem formando assim o petróleo (CURBELO, 2002; PONTES, 2010).

Segundo Gomes (2009), o acúmulo desse petróleo depende da existência de rochas geradoras que contenham a matéria-prima e a presença de rochas-reservatório, que possuem espaços vazios (poros), para armazenar o petróleo. Deste modo, Thomas (2001) sugere que para este acúmulo de petróleo existir, é necessário que, após o processo de geração, ocorra a migração e que esta tenha seu caminho interrompido pela existência de algum tipo de armadilha geológica.

4 ETAPAS DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

Para a exploração do petróleo é necessário um estudo geológico da região, através de observações de rochas, formações rochosas e interpretações geofísicas, que de forma conjunta determinaram a probabilidade da ocorrência de rochas reservatório (SILVA, 2008). A produção do campo petrolífero será desenvolvida se ficar comprovado à existência de petróleo e se a produção for viável industrialmente (CURBELO, 2002).

O produto obtido pós etapa de extração deve passar por processos de fracionamento existentes em setores industriais denominados refinarias. Assim, para fracionamento do

144 | óleo e do gás é necessário o processamento e refino da mistura de hidrocarbonetos proveniente da rocha reservatório obtendo componentes que serão utilizados nas mais diversas aplicações (combustíveis, lubrificantes, plásticos, fertilizantes, medicamentos, tintas, tecidos etc.). Entretanto, devido à distância em geral existente entre campos petrolíferos e as refinarias, o produto extraído é transportado por embarcações, caminhões, vagões, ou mesmo tubulações (oleodutos e gasodutos), permitindo assim a obtenção de uma gama de produtos com maior valor econômico. Produtos finais da refinaria como gás natural, gás residual, GLP, gasolina, nafta, querosene, lubrificantes, entre outros, são distribuídos por empresas de armazenamento, transporte e distribuição até os consumidores finais (SILVA, 2008; CURBELO, 2002).

4.1 PRINCIPAIS PROBLEMAS DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

No petróleo, existem substâncias que devem ser retiradas para que esse óleo chegue à refinaria em suas melhores condições e para que não danifique os equipamentos do processo de obtenção de produtos finais contidos nele. Dentre essas dificuldades podemos destacar a corrosão, o aumento da estabilidade da emulsão, a contaminação dos catalisadores. Esses problemas são encontrados em contaminantes como os compostos sulfurados, os nitrogenados, os oxigenados, entre outros (PONTES, 2010). Dentro deste contexto, temos ainda a água associada ao óleo (residual da água produzida ou água de produção) trazendo diversos problemas principalmente junto ao processamento.

5 ÁGUA PRODUZIDA

A origem básica da água produzida juntamente com o petróleo está relacionada às condições ambientais existentes durante a gênese deste óleo. Na formação do reservatório, água e óleo permaneceram em contato por longos períodos geológicos, propiciando a solubilidade de orgânicos (SILVA, 2008).

À medida que o poço petrolífero envelhece, a produção de água pode chegar até 100% em volume, em virtude do decaimento da produção de óleo e gás. A água é um dos principais efluentes ligados às atividades de extração e produção do petróleo (SILVA, 2008). Essa água é tratada, inclusive com o intuito de recuperar parte do óleo presente. Uma fração da água produzida tratada tem como principal aplicação na própria extração do petróleo, uma vez que é injetada nos poços para manter a pressão e auxiliar o fluxo do petróleo para a superfície aumentando sua produção e a fração restante é descartada no mar (BRAGA, 2008; SILVA, 2008; CERQUEIRA, 2010).

Deste modo, água produzida é o efluente resultante dos processos de separação existentes nas estações coletoras de tratamento na produção de petróleo, com o seu crescente volume resultante, constitui-se em um perigo potencial para o meio ambiente. Os riscos ambientais, associados à água produzida, podem variar em função da composição da água, das características do local em que ela ocorre e da sua disposição final. A água produzida apresenta composição variada, que depende das características e profundidade do campo produtor de óleo (SILVA, 2008). Na Tabela 01 observamos a composição físico-química da água produzida, na qual vale ressaltar que existem diferentes composições em virtude da região de formação do petróleo e água de formação.

Os contaminantes presentes nas águas produzidas podem causar diferentes efeitos sobre o meio ambiente. Esse efluente apresenta uma variedade considerável de poluentes

orgânicos tóxicos, metais pesados, além de quantidades exorbitantes de sais inorgânicos, sendo por algumas vezes radioativo. Isto a torna um poluente de difícil tratamento e descarte agravando-se pelo expressivo volume envolvido que precisa ser realizado de maneira bastante criteriosa (FONSECA, 1999).

Tabela 01: Análise físico-química com faixa de resultados das características da água produzida da bacia Sergipe Alagoas.

Característica	Faixa de resultado (mg/L)	
	Mínimo	Máximo
Salinidade	28.445	142.914
Densidade a 20/4	1.020	1.125
pH	6,4	7,2
Bário	10	868
Alcalinidade Total	72	638
Dureza Total	5.240	50.336
Cloretos	17.240	86.614
Ferro Total	0,2	46,2
Cálcio	1.318	17.808
Magnésio	459	1.440
Estrôncio	25	846
Sódio	13.009	60.348
Potássio	245	1.149
Bicarbonatos	88	684
Sulfatos	5	227
Alumínio Total	3,2	7,7
Cromo Total	<0,01	0,1
Manganês Total	0,6	20,5
Cádmio	<0,01	0,01
Chumbo	<0,01	0,07
Cobre Total	<0,01	0,20
Níquel	<0,01	0,04
Zinco	<0,01	2,42
TOG	100	500

Fonte: Petrobras, 2009.

As principais causas potenciais de perigo atribuídas à água produzida podem ser: alta salinidade, sólidos suspensos, presença de metais pesados, presença de orgânicos insolúveis, presença de orgânicos solúveis, presença de produtos químicos e radioatividade. Dentre os poluentes, destaca-se o teor de óleos e graxas (TOG), sendo considerado um dos principais parâmetros para disposição final da água produzida (THOMAS, 2001).

O teor de óleos e graxas é a quantidade de hidrocarbonetos presentes na água produzida. Rodrigues (2008) afirmou que, mesmo em pequenas quantidades, os contaminantes orgânicos (TOG) são difíceis de serem removidos, pois são estáveis à luz, ao calor e biologicamente não degradáveis; diminuem a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico impedindo, assim, a transferência de oxigênio da atmosfera para a água.

Os procedimentos analíticos para mensurar o TOG podem ser: espectroscopia de infravermelho (IV), colorimetria e fluorescência, cromatografia gasosa, cromatografia gasosa combinada com espectrometria de massa e cromatografia líquida de alta eficiência (MINTY *et al.*, 2000).

O TOG na água de injeção analisado pelo CENPES (Centro de pesquisas da Petrobras) determinou sugestões para sua classificação em: óleos e graxas de 0,0 – 2,40 ppm numa classificação boa, óleos e graxas de 2,50 – 5,00 ppm em tolerável e de classificação ruim > 5,00 ppm. Um dos motivos para a existência desta classificação deve-se ao fato do óleo remanescente poder bloquear os espaços porosos da rocha, especialmente os de baixa permeabilidade. Isto pode ocorrer pelo fato das frações de óleo pesado e ultrapesadas que permanecem na água poderem formar borras ou fixar partículas inorgânicas nas paredes dos espaços porosos, que em outras condições fluiriam sem obstáculos (CURBELO, 2002).

Em geral, as unidades adotam o valor de até 5 ppm para esse índice, independentemente da natureza do óleo em questão e da permeabilidade do intervalo receptor. Em reservatórios de alta permeabilidade aquele valor para o índice pode ser bem mais elevado mesmo em se tratando de óleo polar. Portanto, para que o índice relativo à quantidade de óleo presente na água a ser injetada não seja desnecessariamente rigoroso, é essencial, em todos os casos, considerar o valor da polaridade relativa do óleo e o da permeabilidade do receptor. Quanto maior a permeabilidade e menor a polaridade menos rigor deve ser exigido à quantidade de óleo presente na água a injetar (CURBELO, 2002).

O processo de separação entre o óleo e a água produzida não é tão simples quanto parece. Ao ser separada a água apresenta gotículas de óleo disperso na água, sendo necessários tratamentos para que o seu descarte ou mesmo reuso estejam de acordo com as normas estabelecidas pelos órgãos ambientais. Deste modo, toda a água produzida obtida é em geral gerenciada como um material de alto risco pela indústria do petróleo, ou seja, de maneira segura e inteligente (SILVA, 2008).

A fiscalização dos órgãos públicos em relação ao impacto ambiental tem sido bastante intensa e as indústrias tem se preocupado com o tratamento de efluentes, como por exemplo, a indústria petrolífera. Além disso, parâmetros de despejo de efluentes estão cada vez mais exigentes, com o intuito de evitar um impacto danoso aos corpos receptores. Com a preocupação em tornar essa atividade menos degradante possível, pesquisas são realizadas com objetivo de monitorar e solucionar problemas relacionados à contaminação e remoção de contaminantes presentes no processo de produção (BRAGA, 2008).

O TOG é o único parâmetro a ser regulamentado por órgãos de legislação. O valor do TOG varia de acordo com cada país, porém na maioria deles a média mensal é de 40 mgL⁻¹ e no máximo de 100 mgL⁻¹. No Brasil o órgão que atua fiscalizando esse parâmetro é o CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. No Art. 5º estabelece que para o des-

7 PRINCIPAIS TRATAMENTOS DA ÁGUA PRODUZIDA

Atualmente diversos tipos de tratamentos estão empregados na indústria do petróleo e outros em fase de pesquisas, visando remover a maior quantidade possível de óleos e graxas associadas à água. Dentre os tratamentos utilizados podemos destacar: flotação, filtração, hidrociclones, adsorção, eletroquímico, entre outros. A seguir apresentamos alguns estudos sobre essas tecnologias.

7.1 ADSORÇÃO

Segundo Gomes *et al.* (2007), a adsorção baseia-se no princípio de que uma superfície sólida, em contato com um fluido, tem tendência a acumular uma camada superficial de moléculas de soluto, devido ao desequilíbrio de forças superficiais existentes. De acordo com Braga (2008), o fenômeno da adsorção está intimamente ligado à tensão superficial das soluções e a sua intensidade depende da temperatura, da natureza e da concentração da substância adsorvida (o adsorbato), da natureza e estado de agregação do adsorvente (o sólido finamente dividido) e do fluido em contato com o adsorvente. O fluido, a superfície e os componentes retidos pela superfície são os principais elementos da adsorção.

Esse método de tratamento por adsorção foi utilizado como método de purificação há vários séculos, porém, quando passou a ser aplicado em processo de purificação e separação o seu uso teve maior estímulo, pois o seu emprego está associado não só a purificação, mas também na separação de produtos de alto valor agregado, como por exemplo, o óleo da água (CURBELO, 2002; BRAGA, 2008).

Os adsorventes mais utilizados em escala industrial são o carvão ativado, a sílica-gel, a alumina ativada, as peneiras moleculares etc. Entretanto métodos alternativos vêm sendo estudados devido ao elevado valor de alguns adsorventes (SANTOS *et al.*, 2007). Os filtros de casca de noz têm sido utilizados comercialmente para remover o óleo livre e sólidos suspensos a partir de água em refinarias. Estes tipos de filtros são, tipicamente, utilizados como parte de uma cadeia de tratamento global como uma peça de separação terciário. Em filtros de casca de noz, a água é introduzida em um fluxo descendente onde o óleo é adsorvido e sólidos suspensos são filtrados (LORGE *et al.*, 2011).

Cascas de nozes, especificamente negros, possuem uma propriedade única em que eles têm uma afinidade igual para óleo e água. Isto torna possível que o óleo seja capturado na superfície das conchas e então limpo durante um ciclo de lavagem, permitindo que o óleo seja capturado para reutilização. Durante as operações de fluxo para a frente onde o óleo e sólidos estão sendo filtrados, o sistema é pressurizado tipicamente, e a água é forçada através de uma profundidade do leito de cascas de noz suficientes para atingir o desempenho desejado. Um filtro redesenhado é agora capaz de ser adaptado para aplicações onshore e offshore (LORGE *et al.*, 2011).

Conforme Silva e outros (2011) e Thomas (2004), a flotação é um dos processos mais utilizados para recuperação de óleo na água produzida através da separação gravitacional. Este processo, além de bastante eficiente, tem um custo menor em relação aos outros métodos de separação e por esse motivo sua aplicação se expandiu em diversos campos de aplicação, como por exemplo, para separação da tinta do papel reciclado ou de proteínas e partículas coloidais da água (SILVA, 2008). Basicamente esse processo segue as seguintes etapas: geração de bolhas de gás, contato entre a bolha de gás e as gotas de óleo, ascensão das gotas de óleo e por fim a remoção do óleo. Essa ascensão ocorre por diferencial de densidade entre as fases (GOMES, 2009).

A eficiência da remoção do óleo é influenciada pelo tamanho das bolhas formadas. Essa variação do tamanho da bolha torna dependente do pH e do material do eletrodo, como é o caso da eletroflotação (GOMES, 2009). Dentre os métodos da flotação, o método de eletroflotação se destaca entre os demais processos de flotação por ser um processo que flota poluentes para a superfície da água por uso de minúsculas bolhas de gases geradas por eletrolise da água na base de um reator eletroquímico. Essa tecnologia é bastante eficiente na remoção de óleos, graxas e poluentes orgânicos. A eletroflotação tem despertado bastante interesse devido as suas unidades serem pequenas e compactas e requererem pouca manutenção e custos operacionais menores quando comparados a outras unidades de flotação (RODRIGUES, 2008; GOMES, 2009).

7.3 ELETROQUÍMICA

Outro processo bastante estudado e promissor na atualidade é o eletroquímico, onde através da ação do próprio elétron as substâncias tóxicas e nocivas ao meio ambiente são removidas ou transformadas através de reações de oxido-redução em substâncias menos tóxicas. Neste contexto, métodos eletroquímicos pode ser uma alternativa promissora para os processos tradicionais para o tratamento de efluentes petroquímicos. A tecnologia eletroquímica apresenta as seguintes vantagens: relativa disponibilidade de energia elétrica, as condições energéticas reacionais reduzidas (processos a frio), sistemas altamente reprodutíveis e facilmente controláveis permitindo a automação e facilidade de montagem de plantas relativamente compactas (RAMALHO, 2008; PONTES, 2010).

A aplicação da tecnologia eletroquímica sempre foi limitada pela estabilidade do material eletródico. Hoje em dia, com a evolução de novos materiais, a utilização de eletrodos estáveis como os Ânodos Dimensionalmente Estáveis (ADE), proporciona uma ampla aplicação sem o desgaste dos eletrodos. Os ADE's apresentam excelentes propriedades eletroquímicas o que tem incentivado estudos sobre a aplicação destes materiais no tratamento de efluentes e águas industriais (COMNINELLIS e PULGARI, 1991; COMNINELLIS e NERINI, 1995; FÓTI et al., 1999).

A densidade de corrente não influencia na eficiência do processo. Em altas densidades de corrente parte da energia aplicada é gasta em reações paralelas. A concentração, no entanto, define a velocidade da degradação. Em solução diluída (25% de água produzida) obteve-se a redução de 100% da carga orgânica após 8 horas de eletrólise. Embora o resultado seja bastante interessante, a meta é trabalhar com a solução concentrada, ou seja, sem diluição. Contudo, o consumo de energia e o tempo do processo tornou a oxidação anódica inutilizável para o tratamento completo de efluentes petroquímicos, tornando-se

viável provavelmente apenas como um processo de pré-tratamento reduzindo significativamente o custo e o tempo de tratamento posterior (ZANTA et al. 2000).

A eficiência do tratamento eletroquímico da água produzida foi associada a três fatores: oxidação direta do resíduo orgânico sobre o eletrodo; remoção do material particulado pelos gases eletrogerados (eletroflotação); e oxidação indireta através de espécies intermediárias reativas (ZANTA et al., 2000; ZANTA et al., 2003).

Os resultados indicam que a tecnologia eletroquímica também pode ser aplicada na remoção de metais através da eletrodeposição. Os resultados confirmam a aplicabilidade da tecnologia eletroquímica no tratamento da água produzida de petróleo (ZANTA et al., 2003). De um modo geral, a abordagem eletroquímica pode ser considerada mais eficaz por causa dos problemas menores de incrustações eletródicas e/ou corrosão (BRASILEIRO, 2006).

Em contraste com outras tecnologias avançadas, a abordagem eletroquímica pode ser considerada mais eficaz do que outras. Vale ressaltar que a oxidação eletroquímica é um processo elétrico dependente, que pode ser um ponto negativo para a aplicação da presente técnica em um tratamento sustentável da água na planta. No entanto, devido à proximidade com a linha equatorial, a região Nordeste do Brasil é irradiada pela luz solar, aproximadamente, 10h todos os dias, assim, ainda mais experiências estão em progresso, a fim de melhorar o processo de funcionamento tendo como base a luz solar via células fotovoltaicas (produção de energia elétrica), o que poderia tornar a técnica eletroquímica para descontaminação de água ainda mais sustentável (ROCHA et al., 2009).

7.4 FILTRAÇÃO

A filtração é um processo imprescindível para a produção contínua e segura em diversos processamentos das indústrias. Esse processo pode ser de forma rápida ou lenta, dependendo da taxa de filtração, teor dos contaminantes e qualidade final do produto ou efluente. Ela, quando lenta, apresenta melhores resultados finais, a fim de aumentar a produtividade, a filtração é precedida por unidades de pré-tratamento. Nas unidades industriais petrolíferas a filtração é também utilizada em efluentes contaminados com óleo (DI BERNARDO et al., 1999).

A utilização de processos de filtração de membrana, tais como microfiltração, osmose ultrafiltração, nanofiltração e reverso oferecem muitas vantagens para o tratamento de água produzida. Equipamento da membrana tem um espaço menor, custos de energia são muitas vezes inferiores e que a planta pode ser altamente automatizada. Tanto membranas poliméricas ou de cerâmica têm sido utilizados para o tratamento da água produzida. Enquanto as membranas poliméricas são geralmente mais barato do que as membranas cerâmicas, elas não podem ser utilizadas a temperaturas muito acima de 50 °C (MONDAL, 2008).

Um número de investigadores têm considerado o uso de microfiltração e ultrafiltração. No entanto, o uso de nanofiltração e osmose reversa por membranas para tratamento da água produzida é bastante recomendável para a remoção de sal à baixas pressões. Operações de membrana (microfiltração e ultrafiltração) com baixas pressões são bastantes utilizadas para remover espécies coloidais utilizando partículas de turbidez para medições (MONDAL, 2008).

De acordo com o que vimos, não podemos deixar de citar a importância dos processos de remoção do óleo na água produzida. A partir desses processos que se torna possível a obtenção de uma água com menor índice de teor de óleos e graxas (TOG) e assim, não somente atendendo as especificações de órgãos ambientais, mas também podendo ser descartada sem maiores prejuízos ao ambiente. Valendo salientar que a legislação autoriza o descarte de águas produzidas em ambientes aquáticos somente com o valor do TOG abaixo de 29 mg/L mensais, por isso a necessidade e importância de métodos de tratamento (CONAMA, 2005).

A Petrobras utiliza métodos como à flotação e adsorção com casca de nozes para o tratamento da água, mas no caso da filtração o processo tem um valor elevado devido ao meio filtrante que é utilizado, por isso torna-se também válido destacar a importância em investimentos na área em busca de novos tratamentos para o efluente contaminado com óleo, oferecendo desse modo, maiores possibilidades de tratamento levando-se em consideração o custo operacional do processo.

Podemos destacar também que o uso de métodos associados a outros podem levar a água a um estado de características adequadas para aplicações futuras, como a própria reinjeção, ou mesmo descarte, porém deve-se levar em consideração o custo total do processo. Deste modo, e como visto anteriormente, entre os métodos de remoção mais utilizados para o tratamento da água estão os tratamentos por adsorção, flotação, eletroquímica e filtração. De acordo com os trabalhos acima, esses métodos se equiparam com o método utilizado pela Petrobras, porém devemos levar em consideração o investimento a nível industrial.

REFERÊNCIAS

BRAGA, R. M. Uso de argilominerais e diatomita como adsorvente de fenóis em águas produzidas na indústria de petróleo. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Brasil.

BRASILEIRO, I. M. N. **Tecnologia eletroquímica aplicada na degradação de poluentes da indústria de petróleo.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande – Brasil.

CAMPOS, A. L. O.; RABELO, T. S.; SANTOS, R. O.; MELO, R. F. L. V. **Produção mais limpa na indústria de petróleo: o caso da água produzida no campo de Carmópolis/SE.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental realizado no período de 18 a 23 de setembro de 2005, em Campo Grande.

COMNINELLIS, C. H.; NERINI, A. **Anodic oxidation of phenol in the presence of NaCl for wastewater treatment.** *J. Appl. Electrochem.*, v. 25. 1995.p. 23-28.

COMNINELLIS, C.; PULGARIN, C. **Anodic-Oxidation Of Phenol For Waste-Water Treatment.** *J. Appl. Electrochem.* v. 21. 1991. p. 703-708.

CONAMANº 357 de Agosto de 2005 Publicada no DOU nº 153, Seção 1.

CUNHA, G. M. A.; CHIAVONE-FILHO, O.; SILVA, D. N.; NASCIMENTO, C. A. O. Tratamento de águas produzidas em campos de petróleo: estudo de caso da estação de Guamaré/RN. VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. 2005.

CURBELO, F. D. S. Estudo da remoção de óleo em águas produzidas na indústria de petróleo, por adsorção em coluna utilizando a vermiculita expandida e hidrofobizada. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Brasil

DI BERNADO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. 1999. PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – Brasil.

FONSECA, R. M. R. **A importância do aproveitamento da água resultante da produção de petróleo**. 1999. Monografia (Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Sergipe - Brasil.

FÓTI, G., GANDINI, D., COMNINELLIS, CH.; **Anodic oxidation of organic on thermally prepared oxide electrodes**. *Curr. Top. Electrochem.* v. 5. 1997. p. 71-91.

GOMES, E. A. **Tratamento combinado da água produzida de petróleo por eletroflotação e processo fenton**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes - Brasil.

GOMES, M. P. S.; ROSSI, C. G. F. T.; SCATENA JR., H.; MACIEL, M. A. M. Obtenção de isothermas de adsorção de óleo de Croton cajucara encapsulado em um sistema microemulsionado contendo OCS como tensoativo. 2007. **XLVII Congresso Brasileiro de Química. Realizado dias 17 a 21 de Setembro, em Natal**.

LORGE, E.; FELCH, C.; PATTERSON, M.; KUMFER, B. Redesigned filter for produced water treatment. Surface Systems and Solutions. 2011. Siemens Industry Inc. Disponível em http://www.water.siemens.com/SiteCollectionDocuments/Product_Lines/Monosep/Brochures/EP_July_2011_Redesign_Filter_PW_Trtrt.pdf. Acesso em 15 de jun. 2012.

MELO, E. M. **Estabilidade de emulsões de petróleo em sistemas pressurizados**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes - Brasil.

MINTY, B.; RAMSEY, E. D.; DAVIES, I. **Development of an automated method for determining oil in water by direct aqueous supercritical fluid extraction coupled on-line with infrared spectroscopy**. *Analyst.* v. 125. 2000. p. 2356-2363.

MITROULI, S. T.; YIANTSIOS, S. G.; KARABELAS, A. J.; MITRAKAS, M.; FO LLESDAL, M.; KJOLSETH, P.A. **Pretreatment for desalination of seawater from an open intake by dual-media filtration: Pilot testing and comparison of two different media**. *Desalination.* v. 222. 2008. p. 24-37.

MONDAL, S.; WICKRAMASINGHE, S. R. Produced water treatment by nanofiltration and reverse osmosis membranes. **Journal of Membrane Science.** v. 332. 2008. P. 162-170.

PONTES, J. P. S. D. **Tratamento eletroquímico de água produzida sintética para remoção de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Brasil.

RAMALHO, A. M. Z. **Estudo de reatores eletroquímicos para Remoção de Cu²⁺, Zn²⁺, fenol e BTEX em água produzida**. 2008. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Petróleo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Brasil.

ROCHA, J. H. B.; GOMES, M. M. S.; FERNANDES, N. S.; SILVA, D. R.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. Application of electrochemical oxidation as alternative treatment of produced water generated by Brazilian petrochemical industry. **Fuel Processing Technology.** v. 96. 2012. p. 80 – 87.

152 | RODRIGUES, J. B. S. M. **Contributo para o estudo das principais tecnologias de tratamento utilizadas no tratamento de efluentes provenientes da indústria petrolífera**. 2008. Dissertação Mestrado (Engenharia do Ambiente). Universidade de Nova de Lisboa – Portugal.

RYDER, A.G. Quantitative analysis of crude oils by fluorescence lifetime and steady state measurements using 380nm excitation. **Appl. Spectrosc.**, v.56, n. 1, p. 107-116, 2002.

SANTOS, A. C.; SILVA, S. R.; SILVA, J. T.; ZANTA, C. L. P. S. Tratamento de água produzida de petróleo através da tecnologia eletroquímica. **3º Congresso Brasileiro de P&D em petróleo e gás**. 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador.

SANTOS, E. G.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, F. L. H. Desempenho de biomassas na adsorção de hidrocarbonetos leves em efluentes aquosos. **Química Nova**. v. 30, 2007. p. 327-331.

SILVA, S. R.; TONHOLO J.; ZANTA, C. L. P. S. Aplicação de processos oxidativos avançados no Tratamento de água produzida de petróleo. **3º congresso brasileiro de p&d em petróleo e gás**. 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador.

SILVA, S.; FILHO, O. C.; NETO, E. L. B.; NASCIMENTO, C. A. O. Integration of processes induced air flotation and photo-fenton for treatment of residual waters contaminated with xylene. **Journal of hazardous materials**. 2011. p.151-157.

SILVA, P. K. L. **Remoção de óleo da água de produção por flotação em coluna utilizando tensoativos de origem vegetal**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Brasil.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

ZANTA, C.L.P.S.; ANDRADE, A.R. AND BOODTS, J.F.C. Electrochemical Behavior of Olefins. Oxidation at Ruthenium-Titanium Dioxide and Iridium-Titanium Dioxide Coated Electrodes. **J. Appl. Electrochem.**, v.30. 2000. p. 469-478.

ZANTA, C.L.P.S; MICHAUD P.A. COMNINELLIS, C. H.; ANDRADE, A. R.; BOODTS, J.F.C. Electrochemical Oxidation of p-chlorophenol on SnO₂-Sb₂O₅ based anodes for wastewater treatment. **J. Appl. Electrochem.**, v. 33. 2003. p. 1211-1215.

Data do recebimento: 20/07/2012

Data da avaliação: 21/07/2012

Data de aceite: 22/07/2012

1 Graduado em Tecnologia em Petróleo e Gás e graduando em Engenharia de Petróleo pela Universidade Tiradentes. Email: wendellkismann@hotmail.com

2 Graduando em Engenharia de Petróleo pela Universidade Tiradentes. Email: filipe_ccs@hotmail.com.

3 Mestrando em Engenharia de Processos pela Universidade Tiradentes (UNIT). Email: eng.robertojunior@globomail.com.

4 Doutor em Biotecnologia Industrial, Professor dos programas de pós-graduação em Engenharia de Processos e de Biotecnologia Industrial da Universidade Tiradentes. Email: silvadp@hotmail.com.

5 Doutora em Biotecnologia Industrial, Professora dos programas de pós-graduação em Engenharia de Processos e de Biotecnologia Industrial da Universidade Tiradentes. Email: ruzeneds@hotmail.com.