

O efeito de dois diferentes anodos metálicos na eletrocoagulação de efluentes oleosos sintéticos

The effect of two different metallic anodes on the electrocoagulation of synthetic oily wastewater

Lorgio Gilberto Valdiviezo Gonzales

Eng. Metalúrgico, Doutorando em Engenharia Metalúrgica
Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro
22453-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
lorgiovaldiviezo@gmail.com

Mauricio Leonardo Torem

Eng. Metalúrgico, DSc; pela COPPE/UFRJ Professor Associado
Departamento de Engenharia de Materiais
Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro
22453-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
torem@puc-rio.br

Resumo

No presente trabalho, foi avaliado o processo de eletrocoagulação (EC), comparando eletrodos de alumínio e ferro como material de anodo e aço inoxidável como material de catodo, operando com diferentes parâmetros tais como: concentração inicial do óleo, relação área-volume (SA/V), pH, geometria dos eletrodos, densidade de corrente e produção de lodos. A redução da demanda química de oxigênio (DQO) e turbidez foram às variáveis respostas analisadas. A densidade de corrente, SA/V, e geometria dos eletrodos foram os parâmetros com maior influência no processo. Os resultados mostraram que a eletrocoagulação, para os dois tipos de materiais de anodos (Fe/Al), conseguem uma excelente redução da DQO e da turbidez nas seguintes condições experimentais: densidade de corrente: 9,4 mA/cm², distanciamento entre os eletrodos, 10 mm, SA/V, 30,35 m²/m³ e 30 minutos de operação. Eficiências de redução de 99% e 98% foram alcançadas para a DQO e a turbidez com anodos de alumínio. Do mesmo modo 94,8% da DQO e 98,5% da turbidez para o caso do ferro foi reduzido do efluente sintético. A borra produzida foi de 2,2 kg/m³ para alumínio e 2,76 kg/m³ para o ferro.

Palavras-chave: eletrocoagulação, emulsões, águas residuais.

Abstract

In the present work, electrocoagulation process (EC) aluminum and iron were comparing as materials for anode and stainless steel as cathode, under different operational parameters, such as: initial concentration of oil, area-volume relation (SA/V), pH, electrodes geometry, current density and sludge production. Chemical oxygen demand (COD) and turbidity removals were selected as performance criteria. The current density, SA/V and electrode geometry were found to be the most significant parameters. The results have shown that electrocoagulation, using both kind of anodes materials (Fe/Al), successfully removes the COD and turbidity in experimental conditions such as: the current density, 9.4 mA/cm², distance between electrodes, 10 mm; SA/V, 30.35 m²/m³ and 30 minutes of operation. Removal efficiencies over 99% and 98% were measured for COD and turbidity, using anodes of aluminum. Likewise 94.8% of COD and 98.5% of turbidity were removed from synthetic wastewater, using anode of iron. The sludge produced after electrocoagulation treatment was 2.2 kg/m³ for aluminum and 2.76 kg/m³ for iron.

Key words: electrocoagulation, emulsions, wastewaters.

1. Introdução

A poluição das águas por óleos representa um elevado percentual nos problemas gerados por contaminantes orgânicos. Estes compostos concentrados na água são uma fonte nutritiva que conduz aos aumentos das populações de microorganismos. Este aumento populacional provoca um consumo elevado do oxigênio dissolvido, criando dificuldades à vida de outras populações, como os crustáceos, moluscos e peixes, os quais se tornam perigosos para o homem, pois tem capacidade de acumular frações carcinogênicas nos tecidos, que transmitem para o homem pela alimentação (Capponi, 2003).

Quando o óleo está emulsionado não pode ser tratado convencionalmente, devendo ser utilizados tratamentos químicos. Este tipo de desestabilização, química, envolve a adição de agentes coagulantes, o que promove a quebra da emulsão devido à redução da carga superficial das gotas, causando a coalescência destas e subsequente separação da fase aquosa da fase oleosa, por sedimentação convencional ou flotação. Em geral, diferentes processos têm sido descritos na literatura para o tratamento de efluentes oleosos, mas os mais freqüentemente usados são: a desestabilização química, desestabilização eletroquímica (eletrocoagulação) e a ultrafiltração. Os processos biológicos, menos custosos, são raramente usados, já que esses efluentes usualmente contêm biocidas (Cañizares, 2007; Valdiviezo, 2008).

A eletrocoagulação vem ressurgindo como uma alternativa bastante promissora no tratamento de efluentes provenientes de diversos setores da cadeia produtiva, tais como esgoto, água subterrânea, metal pesado, radioativo, alimentos, petroquímica, têxtil, restaurante, lavanderias e indústria de papel e celulose. (Mohammad *et al.*, 2009; Zongo *et al.*, 2009). Esta tecnologia consiste na dissolução de eletrodos de sacrifício Al ou Fe. Os cátions gerados reduzem a estabilidade das partículas eletricamente carregadas, assim como contribuem na formação de íons hidróxido e complexos de hidróxido de alumínio/ferro os quais são conhecidos ser eficientes coagulantes. As formações de bolhas de hidrogênio no catodo adsorvem os flocos formados pelo processo e visam à flotação simplificando a separação das águas tratadas. Assim, a eletrocoagulação é uma tecnologia enigmática, apesar de ter sido bastante usada por mais de um século, ainda não se tem um domínio dos princípios envolvidos, a principal causa desta situação é que a eletrocoagulação é uma tecnologia que fica na interseção de três tecnologias fundamentais: eletroquímica, coagulação e flotação, então se devem quantificar e explicar as interações-chaves entre estas três tecnologias. Um possível marco conceitual é mostrado na Figura 1. Esse diagrama tem como objetivo mostrar como a complexidade da eletrocoagulação pode ser simplificada. Fenômenos relevantes, métodos e ferramentas de caracterização são mostrados em cada círculo desse diagrama, e nas interseções são apresentados conhecimentos vinculados aos fundamentos de cada área.

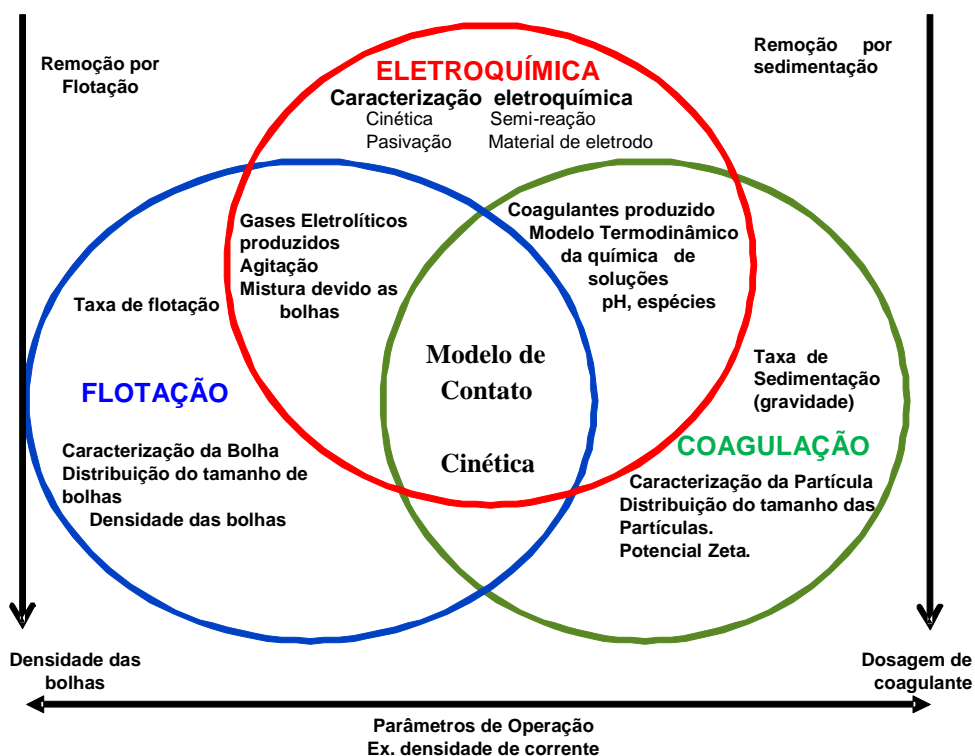


Figura 1: O complexo processo da eletrocoagulação, (Fonte: Adaptado de Holt, 2003).

O objetivo deste trabalho é avaliar num modo sistemático o processo de eletrocoagulação (EC) usando eletrodos de alumínio e ferro como material de anodo e aço inoxidável como material de catodo, operando com diferentes parâmetros tais como: concentração inicial do óleo, relação área-volume (SA/V), geometria dos eletrodos e densidade de corrente. A redução da demanda química de oxigênio (DQO) e turbidez foram às principais variáveis respostas analisadas.

2. Materiais e Métodos

Na preparação do efluente sintético foi agregado (segundo a concentração desejada): 3, 6 ou 9 g de óleo lubrificante Shell Talpa 30, por litro de água deionizada, adicionou-se também, 1 g/l de oleato de sódio como agente estabilizador (surfatante) e 1 g/l de NaCl como eletrólito de suporte, sendo a condutividade obtida de 2,2 mS/cm x 1000 e pH na faixa de 8-9, (pH natural da emulsão) que segundo a literatura é ótimo para obter uma boa remoção deste tipo de poluente (Chen e Chen, 2000; Daneshvar *et al.*, 2004), pelo qual foi fixado. A estabilidade da emulsão sintética foi comprovada com a medição de potencial zeta, alcançando-se valores de -100 mV. A célula foi projetada para trabalhar em regime de batelada, feita com material acrílico e com as seguintes dimensões: Altura 170 mm, comprimento 150 mm, largura 190 mm, espessura de parede: 10 mm e uma capacidade máxima de 5,1 litros. Na Figura 2a mostra-se a célula e principais equipamentos usados para a realização das experiências, neste trabalho.

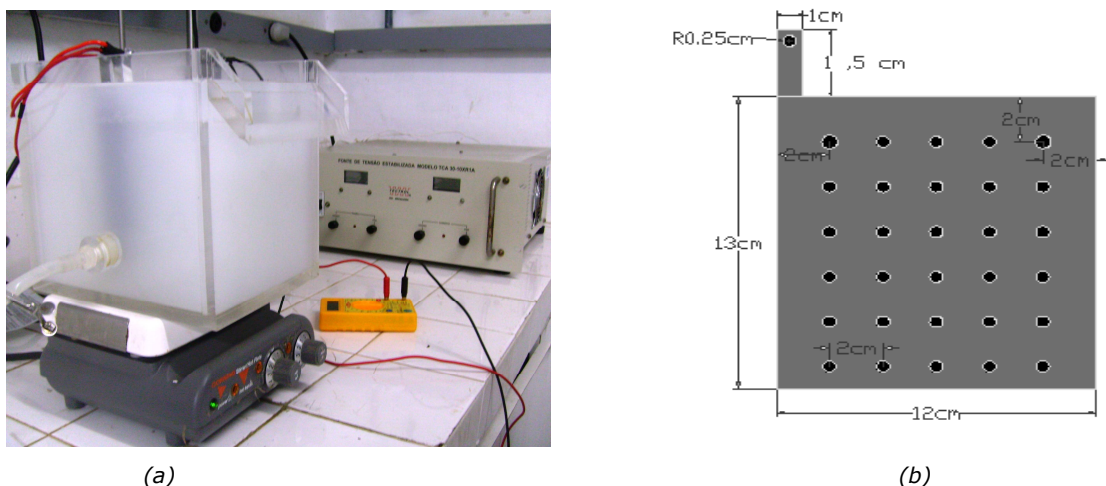


Figura 2: (a) Célula de eletrocoagulação e principais equipamentos utilizados e (b) Desenho dos eletrodos usados: alumínio, ferro e aço inoxidável.

Dentro das diversas possibilidades na escolha do tipo de material do eletrodo apresentados na literatura (Koby et al., 2006; Chen e Chen, 2000; Kumar et al., 2004), o alumínio e o ferro foram testados e comparados como material de anodo e aço inoxidável 316 como material de catodo. O aço inoxidável apresenta vantagem na geração de bolhas (eletrodo inerte) garantindo, além disso, a não dissolução e poluição no efluente sintético, dificultando assim a análise deste. O desenho dos eletrodos perfurados (5 mm diâmetro c/u) para a realização dos ensaios, no arranjo paralelo vertical foram feitos com as dimensões mostradas na Figura 2b. Estima-se que os eletrodos com perfurados apresentem maiores vantagens, já que permitem um maior transporte de massa no seu interior e facilitam a liberação dos gases gerados. Tanto os catodos (aço inox 316), como os anodos foram feitos com as mesmas dimensões, dando uma área efetiva de 154,81 cm². Este trabalho considera arranjos monopolares em paralelo, com 2, 4 e 6 eletrodos (mantive-se, sempre, igual numero de anodos e catodos). Prévio a cada ensaio se fez uma decapagem química com HCl por 8 horas numa solução 1% (Dimoglo et al., 2004). A análise da DQO foi feita com ajuda do método Hatch, o qual compreende o reator Hatch para a digestão e o espectrofotômetro Spec 20mv da comb. IndL. Dourado Ltda. (em comprimento de onda de 600 nm) para leitura da absorbância. O cálculo da DQO por este método é realizado em tréplica. O valor da DQO é associado por intermédio da curva de calibração da absorbância media obtida. A turbidez foi medida com o turbidímetro AP-2000. Assim, as análises foram efetuadas de acordo com as recomendações de Standard Methods (Association, 1975).

A primeira batelada de testes foi feita com anodos de alumínio sendo analisados a cada 10 minutos os parâmetros: DQO, turbidez e pH. Outros parâmetros também foram abordados, tais como: Densidade de corrente elétrica, concentração inicial de óleo, relação área-volume, finalmente e só para os melhores parâmetros foi avaliada a geometria dos eletrodos e geração de lodos. A segunda batelada foi feita com anodos de ferro e foram abordados sob as mesmas condições operacionais, descritos anteriormente.

3. Resultados e Discussão

A DQO e turbidez obtidas na preparação do efluente sintético são apresentadas na Tabela 1. Os resultados do processo de eletrocoagulação serão analisados em termos de eficiência de redução destas duas variáveis.

Tabela 1: Efluente sintético, valores de DQO e turbidez obtidos nas diferentes concentrações iniciais de óleo.

Concentração inicial de óleo (g/l)	Turbidez (NTU)	DQO (mg O ₂ /l)
3	550	5560
6	575	10120
9	680	13860

3.1 Efeito da relação Área-Volume, SA/V

Segundo Bastos (2000), o aumento da área superficial do eletrodo promove uma diminuição da resistência ôhmica entre solução e eletrodo. Assim pode-se trabalhar com menores potenciais para obter a corrente desejada, já que a resistência total será menor levando a um menor gasto de energia.

Na Figura 3a pode-se ver a influência direta da relação SA/V na redução da DQO e turbidez, usando anodos de alumínio. Assim, utilizando-se dois eletrodos (6,1 m²/m³) os valores obtidos de redução destes parâmetros são menores que 1,3%. Para o uso de 4 eletrodos (18,2 m²/m³) alcança-se uma redução superior a 95% na DQO e 80% na turbidez, em 30 minutos de operação e finalmente para 6 eletrodos (30,4 m²/m³) no sistema, consegue-se alcançar reduções acima de 90% para ambos parâmetros, somente em 20 minutos de operação. Nota-se que no caso da turbidez contrariamente a redução da DQO com o uso de 2 eletrodos é conseguido certa redução deste parâmetro, sendo em torno de 30% em 60 minutos de operação. Fez-se, também, a medição de alumínio dissolvido na solução em 30 minutos de operação (por perda de peso), sendo que para 2, 4 e 6 o numero de eletrodos no sistema; a quantidade obtida foi 0,2, 0,7 e 1,2 gramas.

No caso do uso de anodos de ferro, os dados obtidos com o uso deste material mostram que comparado com os anodos de alumínio e sob as mesmas condições de operação, a dissolução de ferro foi maior, sendo 0,7; 2,3 e 3,9 gramas, para 2, 4 e 6 eletrodos respectivamente. O efeito da relação SA/V é apresentado na Figura 3b, pode-se notar que para o caso de 2 eletrodos no sistema não se tem redução significativa da DQO em 60 minutos de operação. Para o caso de 4 eletrodos na célula tem se a máxima redução em 40 minutos de operação. E finalmente com 6 eletrodos no sistema obtém-se a máxima redução, da DQO, de 95% em 30 minutos. Enquanto a turbidez, a redução deste parâmetro é conseguida para todas as combinações de SA/V testadas, sendo que para o uso de 6 eletrodos o tempo requerido é mais curto (20 minutos).

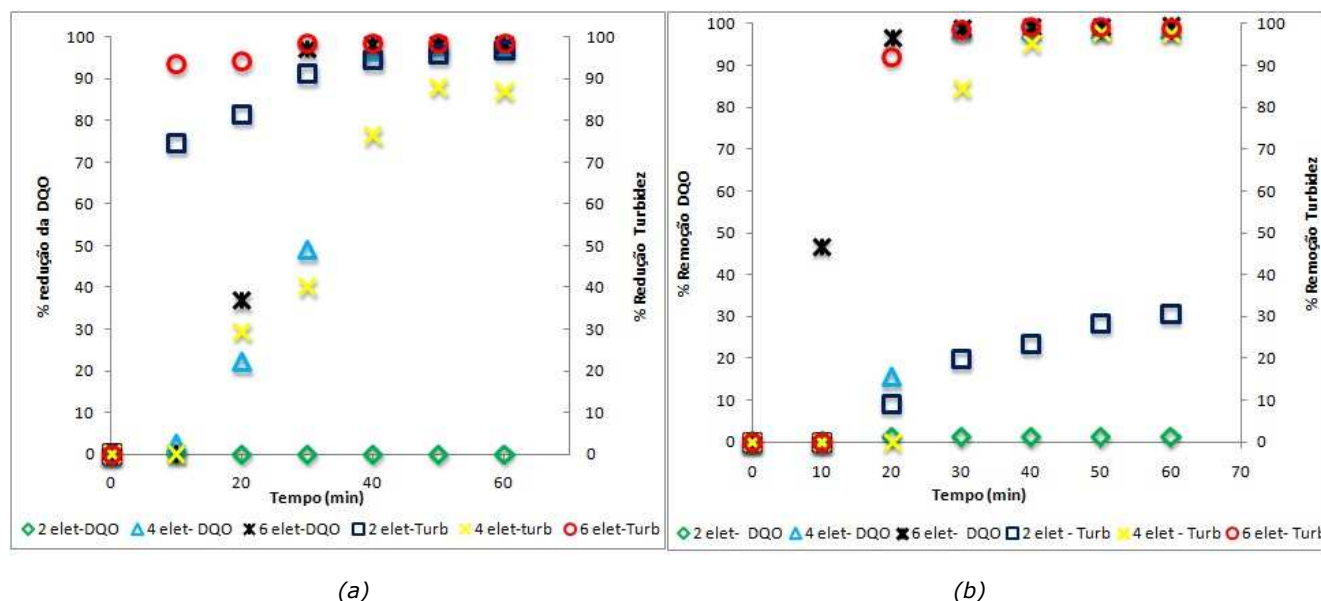


Figura 3: Efeito da Relação SA/V na eficiência de redução da DQO e turbidez em função do tempo: [surfatante] = 1 g/l; [NaCl] = 1 g/l; $d_e = 10$ mm; $\rho = 9,4$ mA/cm²; (a). Anodos de Alumínio. (b) Anodos de Ferro.

Pode-se concluir então, baseado nos dados já descritos, que este parâmetro tem uma influencia direta na cinética do processo, já que com um aumento na quantidade de eletrodos presentes no sistema (maior SA/V) é esperada maior quantidade de alumínio ou ferro dissolvido, maior geração de bolhas de oxigênio e hidrogênio os quais favorecem a rapidez da redução da DQO e turbidez.

3.2 Efeito da concentração inicial de óleo

Foi avaliado o efeito da concentração inicial de óleo na faixa de 3 - 9 g/l, com valores de densidade corrente constante de 9.4 mA/cm², 6 eletrodos no sistema e um distanciamento entre os eletrodos (d_e) 10 mm. Os resultados desses experimentos são apresentados a seguir.

Como mostrado na Figura 4a, usando anodos de Alumínio, observa-se que no decorrer do processo a DQO diminui até atingir um valor mínimo (em torno de 98% de redução), o qual se torna constante depois de 30 minutos. Este comportamento é similar para toda a faixa de concentração de óleo. Sendo assim, a concentração inicial de óleo, nas concentrações testadas, não afeta a redução da DQO.

Na redução da turbidez, o efeito da concentração inicial do óleo mostra comportamentos similares para todas as curvas. Depois de 40 minutos de operação a turbidez aparece inalterável para toda a faixa estudada de concentração inicial de óleo. Portanto com o uso de anodos de alumínio, não se encontrou nenhuma influência entre as concentrações de óleo e a eficiência da redução da turbidez e DQO.

Na análise da Figura 4b, usando anodos de ferro o comportamento das curvas de redução da DQO para toda a faixa de concentração de óleo estudada, foi similar indicando que este parâmetro não tem influência na remoção do óleo, quando usado este tipo de material de anodo. Além disso, o tempo requerido para obter a máxima redução da DQO (em torno de 98%) foi de 40 minutos. Nota-se que nos primeiros 20 minutos consegue-se obter a máxima redução da DQO (98%) independentemente da concentração inicial de óleo.

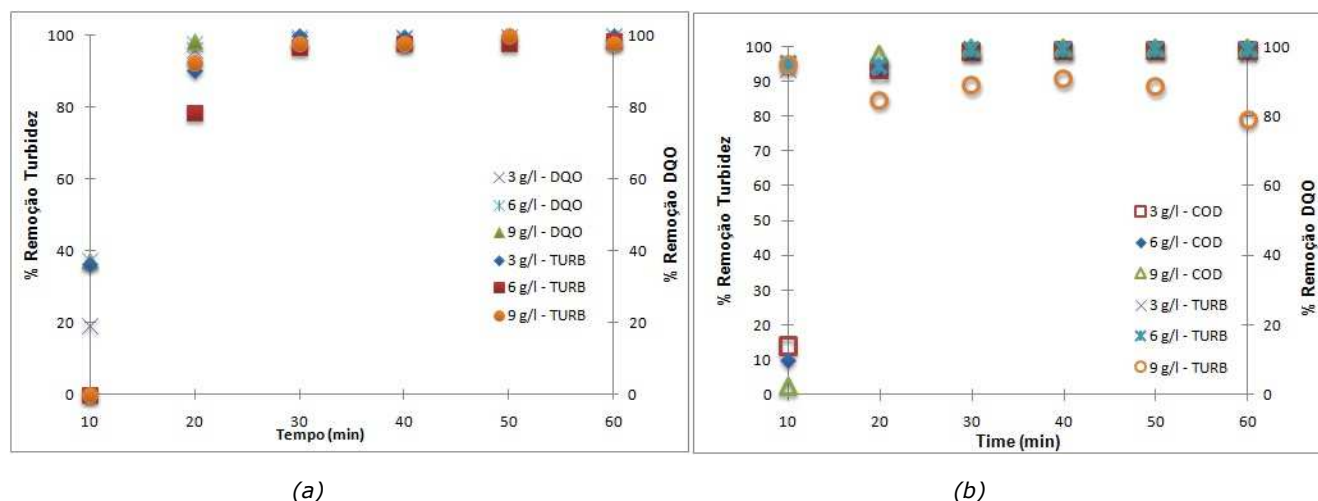


Figura 4: Efeito da concentração inicial de óleo na eficiência de redução da DQO e turbidez em função do tempo: [surfatante] = 1 g/l; [NaCl] = 1 g/l; 6 eletrodos; $d_e = 10$ mm; $\rho = 9,4$ mA/cm² (a) anodos de alumínio (b) anodos de ferro.

Observa-se, na mesma figura, um aumento e diminuição na redução da turbidez. Este comportamento é devido, provavelmente, às grandes quantidades de hidróxidos de ferro e borra no sistema. Ainda assim conseguem-se reduções em torno de 85% nos primeiros 20 minutos.

3.3 Efeito da Densidade de Corrente Elétrica

O processo de eletrocoagulação para esse caso exibe três fases: (i) a fase inicial - na qual não se observa remoção do poluente, cuja concentração de DQO permanece quase constante, já que para dar início à quebra da emulsão precisa-se de certa quantidade de alumínio ou ferro na solução. (ii) a fase reativa - onde ocorre a maior redução da DQO. (iii) fase estável - em que não se consegue alcançar maior remoção do poluente. Este tipo de comportamento das curvas (chamadas na literatura, curvas tipo "S"), pode ser visualizado de uma melhor forma quando trabalhamos com densidades superiores a 4,3 mA/cm². Este comportamento já foi observado por Gutierrez (2008). Na Figura 5a, para o uso de anodos de alumínio, (6 eletrodos) mostra-se que a maior redução da DQO (maiores a 90%) acontece nos primeiros 30 minutos para as densidades 6,4 e 9,4 mA/cm², sendo que o tempo requerido para atingir a mesma redução da DQO para a densidade de 4,3 mA/cm² foi 40 minutos respectivamente. Na mesma figura, no que diz respeito à turbidez, mostra-se uma maior redução com o aumento da densidade de corrente elétrica. Esta redução foi alcançada, 99%, com a densidade de 9,4 (mA/cm²). Já para a densidade de corrente de 4,3 mA/cm² a mesma redução conseguida foi depois dos 40 minutos.

O comportamento com relação à densidade de corrente é similar tanto na redução de DQO quanto a turbidez. Este tipo de comportamento já foi descrito por trabalhos anteriores (Holt *et al.*, 2005; Dimoglo *et al.*, 2004). Assim, pode-se concluir que maiores remoções em um tempo menor são conseguida com as densidades de corrente mais altas 9,4 mA/cm² e 6,4 mA/cm².

O efeito da densidade de corrente na redução da DQO usando 3 anodos de Ferro (ou 6 eletrodos no sistema) pode ser visto na Figura 5b, onde as remoções são em torno de 98% para tempos de 30, 40, e 50 minutos

nas densidades de 9,4; 6,4 e 4,3 (mA/cm^2). O comportamento é similar ao dos anodos de alumínio, ou seja, a densidade de corrente afeta diretamente a cinética do processo. Assim, para a densidades de corrente de 9,4 (mA/cm^2) remoções superiores a 90% são obtidas em 30 minutos; já para densidades menores 6,4; e 4,3 (mA/cm^2), a eficiência de redução obtida foi a mesma (90%) em 50 minutos de operação. O comportamento na eficiência de redução da turbidez é apresentado na mesma figura, observa-se que para todas as densidades de corrente testadas apresentam um mesmo padrão de comportamento, obtendo uma redução em torno de 70% nos primeiros 30 minutos e valores superiores a 85% em 60 minutos de operação.

Assim pode-se concluir que, para ambos os materiais de anodos testados a densidade de corrente e numero de eletrodos no sistema, exibem um forte efeito na eletrocoagulação, principalmente na cinética da redução dos parâmetros avaliados. Quanto maior a densidade de corrente e quantidade de eletrodos no sistema, menor o tempo de tratamento, devido ao fato de que com maior densidade de corrente elétrica a dissolução dos anodos aumenta, produzindo maior quantidade de reagentes para a remoção de poluentes. Além disso, a taxa de geração de bolhas aumenta e o tamanho das bolhas diminui. Tais efeitos são favoráveis para a desestabilização da emulsão.

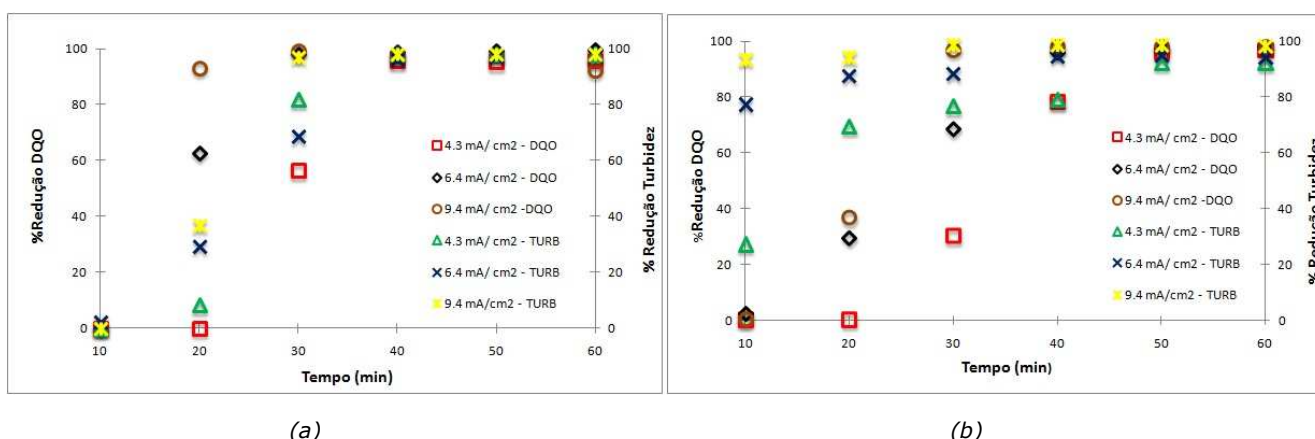
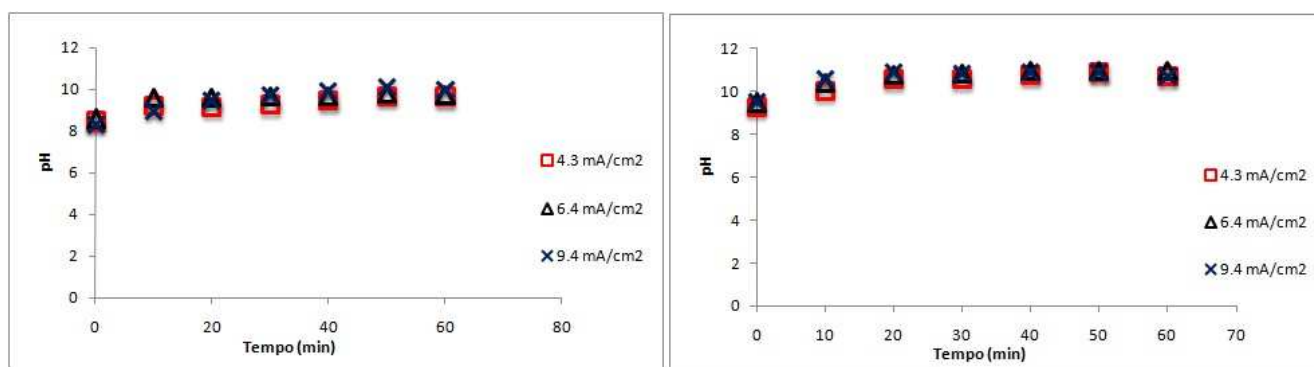


Figura 5: Efeito da densidade de corrente na eficiência de redução da DQO em função do tempo: [surfatante]= 1 g/l, [óleo]= 1,5 g/l, [NaCl]= 1 g/l, 6 eletrodos, de = 5 mm. (a) anodos de alumínio. (b) anodos de ferro.

3.4 Efeito da densidade de corrente elétrica na mudança de pH

A importância do pH na redução da DQO e da turbidez já foi apreciada por Kobya *et al.* (2006), na qual altas reduções da DQO foram conseguidas em meio ácido para ambos tipos de eletrodos (Al e Fe).

O comportamento do pH versus diferentes densidades de corrente, com anodos de alumínio, são apresentadas na Figura 6a. Nota-se um ligeiro aumento no pH (pH inicial na faixa de 8,0 - 8,5 e pH final 8,7 - 9,4). Isto quer dizer que não se constatou grandes desvios de pH. A resposta inversa do pH com o tempo (sucessivas mudanças, melhor apreciada com a densidade de 4,3 mA/cm^2) obtida é característica dos processos complexos; estas estranhas mudanças no pH foi explicado por Cañizares (2007), na qual relacionam a ocorrência simultânea de reações químicas e eletroquímicas na célula, assim a redução catódica da água faz o pH aumentar, enquanto a formação das diferentes espécies de alumínio, como exemplo hidróxido de alumínio, faz o pH diminuir.



(a) (b)
Figura 6: Comportamento de pH em função do tempo: [surfatante]= 1 g/l; [NaCl]= 1 g/l, 6 eletrodos, de= 10 mm; $\rho = 9,4 \text{ mA/cm}^2$ (a) Anodos de Al (b) Anodo de Ferro.

A Figura 6b, mostra os valores de pH nos diferentes tempos de operação, usando anodos de ferro. Assim, iniciando com um pH de 9, obtém-se um pH final em torno de 11,0 (em 60 minutos de operação).

Fazendo uma análise para os dois tipos de materiais de eletrodos usados, com respeito à mudança de pH, pode-se dizer que no caso de alumínio, a mudança é menor comparada à de ferro. No primeiro caso, a diferença entre o pH inicial e final é mínima (de pH 8 para pH 9, em média) e no caso de anodos de ferro a mudança é ligeiramente maior (pH inicial 9 até pH final 11, em média). Ao se comparar os resultados obtidos com os da literatura, nota-se que eles se comportam de maneira prevista. Usando eletrodo de alumínio, sempre há um aumento do pH final em relação ao inicial. Já para o ferro, a mudança de pH é maior quando comparado com alumínio.

3.5 Efeito da geometria dos eletrodos e Geração de borra

Finalmente fez-se uma avaliação do efeito da geometria dos eletrodos (só para o caso de anodos de alumínio) e a geração de borra. Pode-se concluir que com o uso dos eletrodos perfurados alcançam-se mais rapidamente as reduções, em 20 minutos, sendo 96,8% da DQO e 92,1% da turbidez. Para os eletrodos não perfurados o tempo mínimo necessário para alcançar a máxima redução foi de 30 minutos permitindo remoções da ordem de 94% e 95,7% para a DQO e turbidez, respectivamente. Isto mostra que a cinética da remoção é favorecida pela presença dos orifícios, o qual permite uma maior movimentação dos íons, favorece a liberação das bolhas, garantindo a desestabilização da emulsão em tempos mais curtos.

Por outro lado sabe-se que junto ao tratamento dos efluentes por eletrocoagulação tem-se a geração de borras. Aproximadamente os dois terços (2/3) da borra gerada vai para o topo da célula e pode ser removida, enquanto que um terço (1/3) é gerada depois da sedimentação. Os componentes das borras incluem sólidos suspensos, óleos e graxas, assim como os hidróxidos de alumínio/ferro gerados (Chen e Chen, 2000). Kobya *et al.* (2007), fizeram uma avaliação técnica-econômica da eletrocoagulação, os resultados mostraram que a quantidade de borra foi em torno de $0.65 - 1 \text{ Kg/m}^3$ no caso do ferro e $0.9 - 1.3 \text{ kg/m}^3$ no caso de alumínio. No trabalho de Chen e Chen (2000), usando anodos de alumínio, a quantidade de borra foi de 0.108 kg/m^3 , após de ser secada por 10 horas a 105°C e após, 550°C por 1 hora. A borra gerada em nossas experiências (concentração inicial de 3 g/l de óleo) foi secada por 48 horas em uma

temperatura de 105°C e obteve os seguintes pesos: 2,23 Kg/m³ e 2,76 Kg/m³ para alumínio e ferro. Nota-se, também, uma coloração residual amarela no efluente tratado, quando é usado anodo de Fe, isto é devido á oxidação dos íons Fe²⁺ e Fe³⁺, respectivamente.

4. Conclusões

Os parâmetros mais relevantes foram a densidade de corrente aplicada, a relação área-volume dos eletrodos (SA/V) e geometria dos eletrodos. O aumento da densidade de corrente e a relação área-volume permite tempos de tratamentos mais curtos.

O eletrodo de alumínio foi mais eficiente que o de ferro, pois consegue reduzir a turbidez em 92,15% e a DQO em 96,8%, para os primeiros 20 minutos com um aumento de pH de 8,25 para 8,43. Enquanto que o eletrodo de ferro aumentou o pH de 9,5 para 11,5 a turbidez decresceu em 98,4% a DQO 94,8% em 30 minutos de operação, além do fato de que o efluente do tratamento com alumínio não ter apresentado cor residual, como ocorreu com o ferro. Esta maior eficiência do alumínio pode estar relacionada com a superior capacidade de adsorção do hidróxido de alumínio em relação aos hidróxidos de ferro (ii), (iii). A concentração inicial de óleo mostra-se pouco influente sobre a redução da DQO e turbidez, segundo os resultados obtidos. É preciso pesquisar uma combinação maior dos parâmetros e ampliar a faixa dos valores das grandezas analisadas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq e da CAPES.

Referências

- ASSOCIATION, A.P.H. 1975. Standard methods for the examination of water and wastewater. *APHA, WPCF*, **14**:66-78.
- BASTOS, G.F. 2000. *Eletrocoagulação de efluentes de uma indústria de laticínios em reator contínuo*. Rio de Janeiro, RJ. Dissertação de Mestrado. PUC-Rio, 104 p.
- CAÑIZARES, P. 2007. Break-up of oil-in water emulsions by electrochemical techniques. *Journal of Hazardous Materials*, **145**(1-2):233-240. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.11.018>
- CAPPONI, F. 2003. *Depuração de águas oleosas por flotação a jato XIX Premio jovem cientista – Água fonte de vida*. Porto Alegre. Departamento de engenharia de Minas PPGEM- laboratório de tecnologia Mineral e Ambiental-UFRGS, 25 p.
- CHEN, G.H.; CHEN P.L. 2000. Electrocoagulation and Electroflotation of restaurant Wasterwater *Environmental Engineering*, **9**:858-863.

- DANESHVAR, N.; SORKHABI, H.; KASIRI, M. 2004. Decolorization of dye solution containing acid red 14 by Electrocoagulation with a comparative investigation of different electrode connections. *Journal of Hazardous Materials*, **112**(1-2):55-62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.03.021>
- DIMOGLO, A.; AKBULUT, H. Y.; CIHAN, F.; KARPUZCU, M. 2004. Petrochemical wastewater treatment by means of clean electrochemical technologies. *Clean Technology, Environmental Policy*, **6**(4):288-295. <http://dx.doi.org/10.1007/s10098-004-0248-9>
- GUTIÉRREZ, A.M. 2008. *Eletrocoagulação aplicada a meios aquosos contendo óleo*. Rio de Janeiro, RJ. Dissertação de Mestrado. PUC-Rio, 128 p.
- KOBYA, M.; HIZ, H.; SENTURK, E.; AYDINER, C.; DEMIRBAS, E. 2006. Treatment of potato chips manufacturing Wasterwater by electrocoagulation. *Desalination*, **190**:201-211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.006>
- KOBYA, M.; BAYRAMOGLU, M.; EYVAZ, M. 2007. Techno-economical evaluation of Electrocoagulation for the textile Wasterwater using different electrode connections. *Journal of Hazardous Materials*, **147**:311-318. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.02.036>
- KUMAR, P.R.; CHAUDHARI, S.; KHILAR, K.C.; MAHAJAN, S.P. 2004. Removal of arsenic from water by Electrocoagulation *Chemosphere*, **55**:1245-1252. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.12.025>
- HOLT P.K.; BARTON G.W.; MITCHELI C.A. 2005. The future for Electrocoagulation as a localized water treatment technology. *Chemosphere*, **59**:355-367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.023>
- HOLT, P. 2003. *Electrocoagulation: unraveling and Systhesising the mechanisms behind a water treatment process*. Sydney, Austrália. Tese de PhD Thesis. Sydney University, 221 p.
- MOHAMMAD, M.; EMAMJOMEH, E.; MUTTUCUMARU S. 2009. Review of pollutants removed by Electrocoagulation and Electrocoagulation/flotation processes. *Journal of Environmental Management*, **90**:1663-1679.
- VALDIVIEZO, L.G. 2008. *O efeto de diferentes anodos metalicos na Eletrocoagulação de efluentes oleosos*. Rio de Janeiro, RJ. Dissertação de Mestrado. PUC-Rio, 118 p.
- ZONGO, I.; MAIGA, A.H.; WÉTHÉ, J.; VALENTIN, G.; LECLERC, J.-P.; PATERNOTTE, G.; LAPICQUE, F. 2009. Electrocoagulation for the treatment of textile wastewaters with Al or Fe electrodes: Compared variations of COD levels, turbidity and absorbance. *Journal of Hazardous Materials*, **169**:70-76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.072>

Submissão: 08/03/2010
Aceite: 09/06/2010