



## TRATAMENTO DE EFLUENTES OLEOSOS DO PROCESSO DE USINAGEM DA INDÚSTRIA METALMECÂNICA: UMA ABORDAGEM TEÓRICA

**Joana Sartoretto Leão** - e-mail: [joleao\\_rsl@hotmail.com](mailto:joleao_rsl@hotmail.com)

FURB – Universidade Regional de Blumenau

Rua São Paulo, 3250 – CEP: 89030-000 - Blumenau – SC/BR

**Joel Dias da Silva** - e-mail: [dias\\_joel@hotmail.com](mailto:dias_joel@hotmail.com)

FURB – Universidade Regional de Blumenau

**Resumo:** *O efluente oleoso proveniente do processo de usinagem de peças, formado principalmente por fluido de corte em fim de vida útil, é considerado um dos maiores passivos ambientais da indústria metalmeccânica, devido à sua toxicidade e dificuldade de tratamento. Neste sentido, foram realizadas buscas na literatura atual, visando coletar informações sobre os tipos de tratamentos, especialmente os eletroquímicos, aplicados para tratamento do efluente oleoso. Verificou-se que, apesar de amplamente utilizados pela indústria, os tratamentos de base física e química apresentam deficiências para tratamento de efluentes fortemente emulsionados, enquanto os tratamentos eletroquímicos, ainda pouco populares, têm demonstrado maior potencial para desestabilizar as emulsões e, conseqüentemente, reduzir o potencial poluidor do efluente da usinagem de peças.*

**Palavras-chave:** *Indústria metalmeccânica; Fluidos de corte; Eletroflotação.*

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo a Federação das Indústrias de Santa Catarina (FIESC) (2014), a indústria metalmeccânica corresponde a 17,82 % de toda a indústria catarinense, levando em consideração o valor da transformação industrial em 2011, empregando 56,2 mil trabalhadores. Além disso, ainda segundo a FIESC (2014), em 2013 a indústria metalmeccânica brasileira totalizou US\$ 1.598 milhões em exportações, sendo 18,4 % das exportações totais catarinenses.

O efluente oriundo da usinagem de peças na indústria metalmeccânica é contaminado por fluidos de corte. Na maior parte dos casos, os fluidos de corte possuem em sua composição tensoativos e emulsificantes que permitem a formação de uma emulsão estável, que não se desfaz satisfatoriamente por simples separação gravitacional, redução de pH, coagulação ou outros processos físico-químicos convencionais atualmente aplicados (GONÇALVES; YAGINUMA; YAMAMOTO, 2010; MOTTA et al., 2013; SARLES et al., 2014). Além disso, o efluente emulsionado da usinagem de peças apresenta elevada toxicidade, o que inviabiliza o tratamento biológico deste sem tratamento preliminar (QUEISSADA; SILVA; PAIVA, 2011). Inclusive, segundo Runge e Duarte (1989), o conceito de biodegradabilidade não pode ser aplicado a um fluido de corte; pelo contrário: este deve ser bioestável, a fim de durar o maior tempo possível em uma máquina operatriz.

Neste cenário, o processo de eletroflotação apresenta-se como alternativa para o tratamento de efluentes fortemente emulsionados, sem estar necessariamente associado ao uso de produtos químicos, como coagulantes e polímeros, como ocorre com as tecnologias mais amplamente aplicadas para realização desta função. Isso é importante pois, segundo Crespilho e Rezende (2004), tratamentos com polímeros e coagulantes podem causar impactos ambientais negativos devido a toxicidade de algumas substâncias utilizadas, podendo, mesmo em pequenas concentrações, desequilibrar o meio ambiente em relação aos organismos aquáticos do corpo receptor. Os autores ainda acrescentam que, um coagulante amplamente utilizado em tratamento de efluentes, como o



sulfato de alumínio, por exemplo, pode alterar a qualidade da água do corpo receptor pois o excesso de sulfato no leito poderá precipitar íons cálcio presentes no sedimento e na água ou participar de processos de oxidação-redução, gerando sulfetos em condições anaeróbias.

Segundo Ferreira (2006), as principais vantagens apresentadas pela eletroflotação e que justificam seu estudo mais aprofundado são o pequeno requisito de área, o pequeno tempo de reação, a remoção das partículas coloidais, a realização simultânea de coagulação e flotação e a simplicidade operacional. Além disso, por ser uma técnica de tratamento de efluentes ainda em desenvolvimento, a eletroflotação está em contínuo aperfeiçoamento, tanto na tecnologia de reatores quanto no entendimento dos conceitos eletroquímicos e hidrodinâmicos (CRESPILHO e REZENDE, 2004). u, Han e He (2013), concluíram os estudos sobre tratamentos de águas residuárias oleosas devem focar na maximização das vantagens dos vários métodos existentes, a fim de minimizar suas limitações, assim como fornecerem uma base teórica sólida, objetivando melhorar a performance dos tratamentos atuais, reduzindo seus custos. Sendo assim, este trabalho pretende contribuir para o aperfeiçoamento da técnica de eletroflotação, principalmente para aplicações da indústria metalmeccânica.

Tir e Moulai-Mostefa (2008) estudaram o processo de eletrocoagulação com eletrodos de alumínio para separar o óleo de uma emulsão de águas residuais oleosas. Os resultados experimentais indicaram o processo eletrolítico foi muito eficiente, com 99 % de remoção de turbidez e 90 % de remoção de DQO. Resultados semelhantes foram obtidos por Cruz et al. (2007), que estudaram o tratamento de efluentes sintéticos da indústria de petróleo utilizando o método de eletroflotação. A eficiência na remoção de DQO e óleos e graxas dos efluentes foi de 90 % para ambos os parâmetros.

De qualquer forma, quando o assunto é tratamento de efluentes, faz-se necessário saber que cada matriz (efluente têxtil, efluente da indústria alimentícia, efluente sanitário, efluente de aterros, entre outros) reage de uma forma diferente a um mesmo tratamento aplicado. Os resultados obtidos com o uso da eletroflotação no tratamento de um efluente têxtil não serão os mesmos obtidos com o uso dessa mesma tecnologia no tratamento de um efluente da indústria alimentícia – não sob as mesmas condições operacionais. Por essa razão, os estudos das tecnologias de tratamento de efluentes aplicados a matrizes específicas são importantes para concluir sobre a aplicabilidade dos processos para fins específicos, auxiliando diretamente a indústria e, conseqüentemente, a sociedade, a resolver ou minimizar seus problemas ambientais.

Diante de todo este contexto, o processo de eletroflotação tem potencial para transformar-se em uma tecnologia estratégica para minimizar os impactos negativos provocados pelos efluentes oleosos provenientes da indústria metalmeccânica e, conseqüentemente, para proteção do meio ambiente e, através de uma revisão da literatura, busca-se apresentar a viabilidade do processo.

## 2. METODOLOGIA

O estudo caracteriza-se como um estudo exploratório, com investigação na literatura e legislação vigentes, buscando demonstrar aspectos técnicos e legais a respeito da tratabilidade eletroquímica de efluentes oleosos da usinagem de peças na indústria metalmeccânica e a questão da sustentabilidade ambiental e minimização de impactos. A revisão da literatura buscou contemplar os principais processos utilizados para o tratamento dos efluentes oleosos da usinagem, sejam os de base física, química ou físico-química. Para isso, foram consultados artigos científicos, teses e dissertações rastreados nas bases de bancos e bibliotecas eletrônicas SciELO e *Portal Periódicos da CAPES*. As palavras-chave utilizadas na busca foram: indústria metalmeccânica, efluentes, fluido de corte, impactos ambientais, tratamento, eletroflotação, reuso, destinação final e legislação ambiental. Adotou-se como critério de inclusão, aqueles artigos que tivessem uma abordagem atual sobre o tema frente à Legislação Brasileira. Foram excluídos do estudo os artigos que fugissem desse escopo.



### 3. RESULTADOS

No levantamento bibliográfico verificou-se que, a indústria metalmeccânica congrega os segmentos de produtos de metal e metalurgia. É responsável pela transformação de metais em produtos finais, como máquinas, equipamentos, tanques, reservatórios e veículos, por exemplo, assim como por serviços intermediários, como fundições, usinagens, forjarias e oficinas de corte e soldagem (FIESC, 2016). A usinagem de metais é a técnica mais utilizada pela indústria metalmeccânica para a fabricação de peças (ROSA; DINIZ, 1999). Este termo “[...] é aplicado a todos os processos de fabricação onde ocorre a retirada de material – cavaco – pela ferramenta, conferindo à peça: forma, dimensão e acabamento” (DIN 8580, 2009 apud LISBOA; MORAES; HIRASHITA, 2013, p. 2).

Durante a formação do cavaco, a energia gerada é transformada em calor que, se não dissipado, pode provocar danos às peças (surgimento de fissuras, distorções, tensões residuais elevadas e não conformidades dimensionais (KOVACEVIC; MOHAN, 1995 apud CATAI et al., 2003). Neste contexto, o uso de fluidos de corte minimiza a geração de calor (por minimizar o atrito entre a peça e a ferramenta de corte - lubrificação) e, conseqüentemente, minimiza os danos provocados por este. Além disso, o uso de fluidos de corte aumenta a produtividade e reduz os custos de produção das peças pois possibilita o aumento da velocidade e da profundidade de corte (GONÇALVES; YAGINUMA; YAMAMOTO, 2010).

Os fluidos de corte podem ter diferentes composições químicas, podendo ser classificados em (GONÇALVES; YAGINUMA; YAMAMOTO, 2010; CIMM, 200?):

- óleos de corte (integral ou aditivado);
- fluidos solúveis em água:
- emulsionáveis convencionais (emulsões);
- emulsionáveis semissintéticos;
- fluidos sintéticos (soluções);
- gases e névoas;
- sólidos (pasta de bissulfeto de molibdênio – MoS<sub>2</sub>).

Para conferir melhores características aos fluidos de corte, alguns aditivos químicos são incorporados às suas formulações. Os principais são (GONÇALVES; YAGINUMA; YAMAMOTO, 2010): antiespumantes; anticorrosivos; antioxidantes; detergentes; biocidas; emulsificantes.

#### 3.1. TRATAMENTO E DESCARTE DOS FLUIDOS DE CORTE

Fluidos de corte, assim como qualquer resíduo gerado pela indústria, não devem ser lançados sem tratamento no solo ou nos corpos hídricos, pois seu potencial de contaminação é significativo (MONTEIRO, 2006). Uma tonelada de óleo lubrificante representa o equivalente a uma carga poluidora de 40.000 habitantes, e apenas 1 litro de óleo lubrificante é capaz de esgotar o oxigênio de 1 milhão de litros de água, além disso, cada litro de óleo lubrificante descartado no solo leva de 100 a 120 anos para se deteriorar (CEMPRE, 1995 apud MONTEIRO, 2006).

Os efluentes contaminados com fluidos de corte oriundos do processo de usinagem de peças contêm, principalmente, carga orgânica, metais (como boro, cromo, ferro e zinco), óleos e graxas, ácido sulfúrico, ácido clorídrico, hidróxido de potássio, refrigerantes sintéticos, surfactantes, inibidores de corrosão e biocidas (HERSCH, 2001; SONG et al., 1999 apud MONTEIRO, 2006; QUEISSADA; SILVA; PAIVA, 2011). Na Figura 1 é apresentada uma imagem de uma amostra de efluente originado da usinagem de peças de uma indústria metalmeccânica.

Segundo Nascimento (2011), o derrame voluntário ou involuntário de diferentes tipos de óleo em águas pode provocar a absorção da luz necessária a processos fotobiológicos, impacto visual negativo, mau cheiro, gosto ruim, mudanças na viscosidade e na condutividade, entre outros. Devido aos elevados custos e grandes riscos ambientais, os usuários de fluidos de corte têm escolhido seus produtos de acordo com a facilidade de tratamento/descarte que estes oferecem após o fim de sua vida útil, mesmo que essa escolha implique em perda de performance no processo de usinagem (GANIER,



1993; DICK, 1997 apud Dandolini, 2001). Devido a isso, os fluidos solúveis em água (emulsões) ganharam maior espaço no mercado, frente ao uso de óleos integrais, cuja disposição final é rigorosamente controlada.

De acordo com Dandolini (2001), a descarga direta em sistemas públicos de tratamento de esgoto e o depósito em aterros industriais são os sistemas e métodos mais utilizados para descarte de fluidos de corte. No primeiro caso, os usuários de fluidos de corte devem controlar o volume diário de efluente despejado nos sistemas públicos de coleta de esgoto, visando não sobrecarregar a estação de tratamento do município. Normalmente, as estações de tratamento de esgoto municipais operam com sistemas biológicos, que podem ser impactados negativamente com a presença de médio ou grande volume de efluente contaminado por fluido de corte. Já o depósito em aterro industrial, ainda segundo o autor, é um método desaconselhável, pois proporciona impacto negativo desastroso ao solo circunvizinho, que se torna infértil, desprovido de vida vegetal e estéril por muitos anos.

O descarte de fluidos de corte, apesar de aparentar simplicidade, é um processo indesejável, tanto pelo seu alto custo como pelos procedimentos legais que o envolvem (MONICI, 1999 apud FOGO, 2008). Sendo assim, muitas indústrias optam por realizar o tratamento deste resíduo para, posteriormente, lançá-lo em corpo hídrico receptor. Atualmente, os principais processos utilizados para o tratamento dos efluentes oleosos da usinagem são de base física, química ou físico-química (GONÇALVES; YAGINUMA; YAMAMOTO, 2010). Para o tratamento destes, a redução da estabilidade das emulsões é fundamental para obtenção de duas fases líquidas (água e óleo) (SCHONS, 2008). Para isso, os seguintes processos podem ser empregados: coagulação e floculação convencionais, separação gravitacional, centrifugação, ajuste de pH, flotação por ar dissolvido (FAD) e filtração por membranas, conforme segue.

### 3.1.1. COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO CONVENCIONAIS

Segundo Cerqueira, Marques e Russo (2011), a coagulação consiste essencialmente na adição de produtos químicos (íons inorgânicos altamente carregados –  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ) à água residuária com o objetivo de anular as cargas geralmente eletronegativas dos colóides presentes, de forma a eliminar ou reduzir as forças que mantêm a suspensão. São exemplos de produtos com ação coagulante: sulfato de alumínio, policloreto de alumínio, sulfato férrico e cloreto férrico. A floculação consiste na aglomeração dos colóides neutralizados pela coagulação, tendo como resultado final a formação de flocos com tamanho suficiente para decantar. Para que a floculação ocorra, é necessária agitação mecânica do meio que, evidentemente, deve ser em nível moderado (mistura lenta) pois, do contrário, poderá provocar a desagregação dos flocos já formados, o que dificultará a sua remoção por decantação (CPRH, 2001 apud VAZ et al., 2010). Segundo Cerqueira, Marques e Russo (2011), um auxiliar de floculação pode ser utilizado, visando acelerar a formação dos flocos e aumentar a coesão e a densidades destes. Os polímeros aniônicos e catiônicos são os auxiliares de coagulação mais utilizados. A coagulação e a floculação são os métodos mais utilizados para a separação da água do óleo (juntamente com o método gravitacional) (SARLES et al., 2014)

### 3.1.2. SEPARAÇÃO GRAVITACIONAL

Neste método o efluente fica armazenado em tanques até que a separação da mistura óleo/água ocorra. Apesar de simples, o uso de separadores gravitacionais pode se tornar caro quando grandes volumes de efluente precisam ser armazenados por longos períodos (NASCIMENTO, 2011). Além disso, os separadores gravitacionais são eficientes apenas para a remoção de óleo livre (não emulsionado). Suspensões finamente dispersas, com gotas de óleo de pequenos diâmetros, não são separadas eficientemente por este processo (MOTTA et al., 2013).

### 3.1.3. CENTRIFUGAÇÃO

Um hidrociclone trabalha utilizando a força centrífuga. Pode-se dizer, dessa forma, que consiste em uma otimização dos separadores gravitacionais (MOTTA et al., 2013). Neste



equipamento, o efluente emulsionado é introduzido tangencialmente na sua porção inicial (que possui formato cônico) de modo que a água, mais densa que o óleo, gira em seu interior e próximo às suas paredes à medida que é encaminhada para a saída inferior. O óleo, por sua vez, gira pelo centro do hidrociclone à medida que é encaminhado para a saída superior (SAIDI et al., 2012; AMINI et al., 2012).

#### 3.1.4. AJUSTE DE PH

Este método alternativo consiste em reduzir o pH da emulsão para 2 (dois), utilizando ácido sulfúrico ou clorídrico. A queda de pH modifica a carga do surfactante presente no meio de forma que este deixa de atuar como agente emulsificante (WILKS ENTERPRISE, 201? apud MOTTA et al., 2013). Assim, tem-se a desestabilização da emulsão e a separação de fases. Entretanto, segundo Sarles et al. (2014), essa técnica não é eficiente para a quebra de emulsões do tipo A/O. Além disso, segundo Dandolini (2011), a emulsão acidificada ainda deve ser tratada com a adição de sulfato de alumínio ou outros agentes coagulantes e agitada por cerca de 30 (trinta) minutos. Após a agitação, a mistura deve permanecer em repouso por cerca três a seis horas, visando a separação das fases óleo/água. Após a separação, a fase aquosa ainda necessita de tratamento, visto a presença de contaminantes dissolvidos. Dependendo da vazão de efluente da metalmecânica, este método de tratamento pode ser inviável devido à grande demanda de área.

#### 3.1.5. FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO (FAD)

A técnica de flotação a ar está ligada diretamente à coagulação e à floculação. Antes de entrar no flotador, o efluente recebe produtos coagulantes e auxiliares de floculação para promover a formação do floco que, posteriormente, sofrerá flotação (oposto da decantação). A FAD é a técnica de flotação mais recomendada pois minimiza a ruptura dos flocos formados na etapa de coagulação/floculação (ZHENG et al., 2006; YANATOS; HENRIQUEZ, 2007 apud CECCHET et al., 2010). No caso de efluentes emulsionados, os produtos adicionados são de ação desemulsificante (MOTTA et al., 2013). O processo de flotação por ar dissolvido para separação de emulsões ocorre em quatro etapas: geração de bolhas de ar no interior do efluente a ser tratado; contato entre as bolhas de ar e as gotas de óleo suspensas na água; união das gotas de óleo às bolhas de ar; elevação da combinação ar/óleo até a superfície, onde o óleo (juntamente com todo o material particulado) é removido por um raspador (SANTOS et al., 2007 apud ANDRADE; SOLETTI; CARVALHO, 2009). As bolhas de ar são normalmente obtidas por meio da liberação do gás dissolvido na massa líquida em virtude da queda de pressão na entrada do tanque de flotação (CECCHET et al., 2010). O diâmetro das bolhas formadas situa-se entre 0,01 e 0,1 mm.

#### 3.1.6. FILTRAÇÃO POR MEMBRANAS

Membranas podem ser definidas como uma “barreira que separa duas fases e que restringe total ou parcialmente o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nas fases. Na filtração por membranas, o fluido é transportado através destas pela ação de uma força motriz, que pode ser provocada por diferentes gradientes: de concentração, de potencial elétrico, de pressão de vapor e de pressão hidráulica, sendo este último o mais utilizado no tratamento de água (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006). Neste contexto, os principais processos que representam a filtração por membranas são a microfiltração (para separação de sólidos suspensos); a ultrafiltração (para separação de macromoléculas); a nanofiltração (para separação íons multivalentes de íons univalentes) e a osmose inversa (para separação de componentes dissolvidos e iônicos) (MADAENNI, 1999; JUDD; JEFFERSON, 2003 apud MOTTA et al., 2013). Os processos de membranas podem reter gotículas de óleo com dimensões inferiores a 10 µm. Conforme vai sendo retido pela membrana, a concentração do

óleo na corrente de alimentação aumenta, facilitando a coalescência entre as gotas de óleo de dimensões micro e submicrons em gotas maiores, facilitando a separação posterior por gravidade (CHAKRABARTY; GHOSHAL; PURKAIT, 2008). A filtração por membranas ainda demanda pesquisas para superar os principais problemas operacionais desse processo, principalmente os decorrentes dos fenômenos de polarização e fouling (MOTTA et al., 2013). Para finalizar, o Quadro 1 apresenta algumas características dos processos de desestabilização de emulsões apresentados até aqui, para fins de comparação.

Quadro 1 - Comparação entre os processos utilizados para desestabilização de emulsões.

	<b>Separadores gravitacionais</b>	<b>Hidrociclones</b>	<b>Flotadores por ar dissolvido</b>	<b>Membranas</b>
<b>Princípio operacional</b>	Separação gravitacional	Separação gravitacional aprimorada	Flotação a gás natural	Filtração
<b>Capacidade de remoção, em diâmetro de gota (µm)</b>	100 a 150	10 a 30	10 a 20	1
<b>Requerimento de área superficial</b>	Elevado	Baixo	Baixo	Baixo
<b>Requerimento por produtos químicos</b>	Não	Não	Sim	Não
<b>Principais desvantagens</b>	Tamanho e peso muito elevados; baixa eficiência para diâmetro de gotas menores	Bloqueio da porta de rejeito por areia ou incrustação e erosão por areia	Pouco efeito em gotas entre 2 e 5 µm; uso de químicos e geração de lodo	<i>Fouling*</i> e necessidade por limpeza química

\* deposição – reversível ou irreversível – de partículas retidas, coloides, emulsões, suspensões, macromoléculas e sais dentro ou sobre a superfície da membrana (MULDER, 1996).

Fonte: adaptado de Motta et al. (2013).

A fase oleosa obtida pelos processos de separação deve ser considerada como óleo integral para planejamento de sua disposição final (RUNGE, 1990 apud FOGO, 2008). O processo de eletroflotação, apresentado a seguir, é uma alternativa promissora aos processos supracitados sendo, frequentemente, mais rápido e eficiente que os tratamentos convencionais para a quebra de emulsões estáveis (NASCIMENTO, 2011). Por propor a desestabilização da emulsão do efluente da indústria metalmeccânica através do uso de eletrodos de alumínio, esse trabalho apresenta, a seguir, as reações e características de sistemas eletrolíticos que operam com eletrodos do referido material.

### 3.2. ELETROFLOTAÇÃO

A eletroflotação é um processo eletroquímico composto por eletrodos metálicos submetidos a uma corrente elétrica, onde a geração do coagulante ocorre in situ, através da dissolução do ânodo (SASSON; ADIN, 2002 apud FLECK; TAVARES; EYNG, 2013). O coagulante, por sua vez, pode ser definido como um agente de desestabilização que provoca neutralização da carga do substrato para remoção do contaminante (EL – KAYAR et al., 1993). Um reator de eletroflotação é composto por eletrodos que apresentam polaridades diferentes, constituindo-se em ânodos (polos positivos) e cátodos (polos negativos) (BRITO et al., 2012). Durante a aplicação de determinada intensidade de corrente elétrica, o ânodo sofre oxidação, liberando para o meio íons metálicos que, em contato com a água, se hidrolisam e formam espécies químicas que atuam como agentes coagulantes (similares aos sais de alumínio e ferro comumente utilizados na coagulação convencional) (FERREIRA, 2014). Devido à oxidação, o ânodo é consumido durante a eletroflotação, necessitando



reposição após determinado período de reação. Por essa razão, também é chamado de ânodo de sacrifício. Segundo Neto et al. (2011), os ânodos mais utilizados são os de ferro ou de alumínio, devido ao seu baixo custo, disponibilidade e eficácia.

Todo o processo de eletroflotação, seja em reatores mono ou bipolares - conforme será visto adiante -, ocorre em três etapas distintas (NETO et al., 2011):

- geração do coagulante pela oxidação do ânodo. Os cátions gerados na fase anódica reagem com a água formando hidróxidos e poli-hidróxidos de alumínio. Paralelamente, tem-se a eletrólise da água e a formação de microbolhas de oxigênio no ânodo e de hidrogênio no cátodo. As microbolhas provocarão a flotação do material floculado ao final do processo (eletroflotação);
- eletrocoagulação e eletrofloculação: os hidróxidos formados adsorvem-se em partículas coloidais, originando os flocos (floculação). A remoção dos poluentes ainda pode ocorrer por complexação ou por atração eletrostática e posterior coagulação;
- flotação dos flocos formados devido à influência das bolhas de oxigênio e hidrogênio formadas durante a geração do agente coagulante. O lodo flotado forma uma espécie de espuma que pode ser facilmente removida do reator eletrolítico por raspagem.

Para Crespilho e Rezende (2004), o fenômeno de eletrocoagulação, propriamente dito (atração eletrostática), no qual o alumínio carregado positivamente reage com partículas de cargas negativas, ocorre apenas para baixas concentrações de alumínio no meio reacional. Como a formação dos hidróxidos e poli-hidróxidos de alumínio é muito rápida, a coagulação - como definida acima - é limitada. Neste contexto, predominam os efeitos de adsorção e neutralização, cujo principal responsável (e mais eficiente) é o hidróxido de alumínio -  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Por essa razão, é importante que a formação desse composto seja favorecida.

A eletrocoagulação, de maneira geral, é auto-eficiente do ponto de vista de tecnologia de coagulação e não exige o acoplamento de uma câmara de mistura rápida ao sistema, como ocorre para o processo convencional de coagulação (Crespilho e Rezende, 2004). Segundo os autores, as microbolhas geradas durante a eletrólise são suficientes para promover a mistura do meio. Entretanto, a baixas densidades de corrente, a implantação de um agitador/misturador pode ser necessária para promover uma maior transferência de massa no sistema. Nesse contexto, é importante que a agitação/mistura seja suficiente apenas para homogeneização do meio. Se for intensa, poderá haver a desestabilização dos coágulos e flocos formados e, conseqüentemente, uma remoção insuficiente de contaminantes. Dependendo do pH do meio reacional, outras espécies iônicas (além do  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) também podem estar presentes no sistema, como  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})_24^+$  e  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  - formadas pelas reações secundárias mostradas na Equação 5. Esses complexos de alumínio, em solução aquosa, conferem uma característica gelatinosa ao meio e também são capazes de remover poluentes por adsorção (CRESPILHO; REZENDE, 2004).

A eletroflotação, assim como grande parte dos processos de tratamento de efluentes (separação gravitacional, coagulação convencional, centrifugação, filtração, entre outros), consiste em um processo de separação das fases líquida e sólida presentes na água residuária. Sendo assim, ao final do processo, a água tratada é lançada ao meio ambiente e os sólidos (lodo) precisam sofrer disposição adequada. Em geral, tanto após o tratamento do efluente por processo convencional tanto por eletrólise, o lodo é encaminhado a aterros industriais. O lodo formado durante a eletroflotação de efluentes é, inicialmente, pouco denso. Sua aparência assemelha-se a uma espuma, devido à quantidade de bolhas de hidrogênio e oxigênio presas aos sólidos. Em sistemas de eletroflotação que operam sob regime contínuo, o lodo pode ser removido da superfície do reator através do uso de pás raspadoras, semelhantes àquelas utilizadas em sistemas de flotação por ar dissolvido (FAD). Segundo Linares-Hernández et al. (2007), os processos eletrolíticos formam menos lodo que os processos convencionais de tratamento de efluentes, especialmente se nenhum produto químico for utilizado, principalmente polímeros.



A eletroflotação, comparada com outras técnicas de tratamento de efluentes, apresenta as seguintes vantagens e desvantagens (CRESPILHO; REZENDE, 2004; SILVA, 2005; RAJESHWAR; IBÁÑEZ, 1997 apud SOUZA, 2012). Como vantagens, apresentam-se como:

- Os equipamentos são simples e de fácil operação.
- Aumenta a capacidade de tratamento do processo físico-químico convencional, possibilitando o tratamento de substâncias de difícil degradação, por exemplo, espécies químicas ( $Cr^{6+}$ ) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.
- Há maior controle na liberação do agente coagulante.
- Os flocos formados são mais estáveis, podendo ser melhor removidos por filtração.
- A eletroflotação reduz a necessidade de aplicação de substâncias químicas ao efluente a ser tratado, minimizando o impacto negativo provocado pelo excesso de xenobióticos lançados no ambiente, fato que acontece quando a coagulação química é empregada no tratamento de efluentes.
- A unidade eletroquímica pode ser acoplada como uma operação unitária, dentre outras, em uma planta de tratamento de efluentes.
- Reduz ou degrada compostos químicos que podem influenciar na eficiência do tratamento biológico.
- As plantas de tratamento de efluentes que empregam a eletroflotação são relativamente compactas.
- Alta eficiência na remoção de partículas em suspensão (como óleos e graxas, por exemplo), inclusive de colóides, devido ao campo elétrico aplicado.
- Menor geração de lodo.
- Seletividade (possibilidade de escolha do eletrodo específico para remoção de um determinado contaminante).
- Flexibilidade na automação.
- A técnica pode ser utilizada em áreas remotas, onde a eletricidade não é disponível, desde que um painel solar seja acoplado à unidade.

Como desvantagens, tem-se:

- Baixa atuação em compostos que não são eletroquimicamente degradados, como fenóis.
- Necessidade de alta tensão elétrica para remoção de contaminantes que requerem potencial de redução elevado, como o bário por exemplo. O uso de elevados potenciais resulta em elevado consumo de energia elétrica.
- Os eletrodos são consumidos e necessitam de substituição regular, especialmente se houver passivação.
- É requerida alta condutividade do efluente.
- A eletricidade, em alguns locais, pode ter custo elevado.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eletroflotação tem elevado potencial para tratamento do efluente oleoso da usinagem de peças, assim como para tratamento de diversas outras matrizes de efluente. Entretanto, os tratamentos de base química e física possuem maior credibilidade da indústria, visto que são tradicionais. Assim como estes processos, o efluente tratado pela eletroflotação usualmente precisa de pós-tratamento para reduzir a concentração dos poluentes até valores inferiores àqueles permitidos pela legislação de lançamento de efluentes. Sendo assim, principalmente para efluentes com elevado potencial poluidor, como o da usinagem, a eletroflotação constitui-se em uma operação unitária da estação de tratamento de efluentes. O estudo de métodos de tratamento de águas oleosas, principalmente da eletroflotação, é fundamental para construção de uma base teórica sólida, afim de maximizar suas vantagens e minimizar suas limitações.



#### 4. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES

AMINI, S. *et al.* Mathematical modelling of a hydrocyclone for the down-hole oil-water separation. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, p. 2186 - 2195, 2012.

ANDRADE, A. G.; SOLETTI, J. I.; CARVALHO, S. H. V. Tratamento de resíduos oleosos da indústria de petróleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8, 2009, Uberlândia. 5 p. Disponível em: <<http://www.cobeqic2009.feq.ufu.br/uploads/media/81020692.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BERNARDO, L. D. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993. 496 p.

BRASIL. Ministério do meio ambiente. **Gestão de resíduos fluidos de usinagem**. Rio Grande do Sul, 2006. 42 p. Disponível em: <[http://www.wapp.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs\\_senai\\_uos/senairs\\_uo697/proximos\\_cursos/Fluidos%20de%20usinagem\\_RS.pdf](http://www.wapp.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/proximos_cursos/Fluidos%20de%20usinagem_RS.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA N° 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Publicação Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Publicação Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA N° 362, de 23 de junho de 2005. Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. **Publicação Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=466>> Resolução n. 362, de 23 de junho de 2005>. Acesso em: 22 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA N° 430, de 13 de março de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Publicação Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 22 abr. 2014.

BRITO, J. F.; FERREIRA, L. O.; SILVA, J. P. Tratamento da água de purificação do biodiesel utilizando eletroflotação. **Química nova**, São Paulo, v.35, n.4, p. 728-732, 2012. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422012000400014&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422012000400014&script=sci_arttext). Acesso em: 10 maio 2014.



CATAI, R. E. *et al.* Estudo dos métodos otimizados de aplicação de fluidos de corte no processo de retificação. **Revista de ciência e tecnologia**, v.11, n.22, p. 7-18, 2003. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct22art01.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

CECCHET, J. *et al.* Tratamento de efluente de refinaria de óleo de soja por sistema de flotação por ar dissolvido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 81 - 86, jan, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662010000100011&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662010000100011&script=sci_arttext)>. Acesso em: 8 abr. 2014.

CENTRO DE INFORMAÇÃO METALMECÂNICA. Tipos de fluido de corte. [200?]. Disponível em: <[http://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/4830-tipos-de-fluido-de-corte#oleos](http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4830-tipos-de-fluido-de-corte#oleos)>. Acesso em: 5 abr. 2014.

CERQUEIRA, A. A. **Aplicação da técnica de eletroflotação no tratamento de efluentes têxteis**. 2006. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CERQUEIRA, A. A.; MARQUES, M. R. C.; RUSSO, C. Avaliação do processo eletrolítico em corrente alternada no tratamento de água de produção. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 1, p. 59 - 63, 2011.

CHAKRABARTY, B.; GHOSHALAND A, K.; PURKAIT, M.K. Ultrafiltration of stable oil-in-water emulsion by polysulfone membrane. **Journal of Membrane Science**, v. 325, n. 1, p. 427 - 437, 2008.

CHEN, G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. **Separation and Purification Technology**, n. 38, p. 11 - 41, 2004.

CHENG, C.; PHIPPS, D.; ALKHADDAR, R. M. Treatment of spent metalworking fluids. **Water Research**, v. 39, p. 4051 - 4063, 2005.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Variáveis de qualidade das águas**. [200?]. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/34-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-das-%C3%81guas>>. Acesso em: 8 nov. 2014.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 15, 1999, Águas de Lindóia. 8 p. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/pt/wp-content/anais/cobem/1999/pdf/AAAJAF.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2014.

COSTA, C. R., *et al.* A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 7, p. 1820 - 1830, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422008000700038](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000700038)>. Acesso em: 3 maio 2016.

COUTINHO, R. C. C. **Estudo da estabilidade de emulsões de água em petróleo**. 2005. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

CRESPILHO, F. N.; REZENDE, M. O. O. **Eletroflotação: Princípios e Aplicações**. São Carlos: Rima, 2004. 96 p.



CRESPILHO, F. N.; SANTANA, C. G.; REZENDE, M. O. O. Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 387 - 392, 2004.

CRUZ, S. M. *et al.* Tratamento de efluentes sintéticos da indústria de petróleo utilizando o método da eletroflotação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS NATURAL, 4, 2007, Campinas. 6 p. Disponível em: <[http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO\\_6\\_2\\_0368-2.pdf](http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_6_2_0368-2.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2014.

DALLAGO, R. M. *et al.* Eletrofloculação aplicada ao tratamento de efluente de laticínio. **Perspectiva**, v. 36, n. 135, p. 101-111, set., 2012. Disponível em: <[http://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/135\\_294.pdf](http://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/135_294.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2016.

DANDOLINI, D. L. Gerenciamento ambiental de fluidos de corte em indústrias metalmeccânicas. 2001. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

DAVIS, J. R. Aluminum and aluminum alloys. **ASM Specialty Handbook**, 1993.

EDLINGER, A. R. *et al.* Caracterização de efluente de indústria metalúrgica e proposta de tratamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 3, 2012, Goiânia. 8 p. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/II-010.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2014.

EL – KAYAR, A. *et al.* Removal of oil from stable oil-water emulsion by induced air flotation technique. **Separations Technology**, v.3, n.1, p. 25-31, 1993.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DE SANTA CATARINA. **Indústria metal- mecânica de Santa Catarina**. Florianópolis, 2014. Disponível em: <<http://www.fiescnet.com.br/>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Metal-mecânico e metalurgia**. Florianópolis, 2014. Disponível em: <<http://www4.fiescnet.com.br/pt/setores/metal-mecanico-e-metalurgia>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

FERREIRA, L. H. **Remoção de sólidos em suspensão de efluente da indústria de papel por eletroflotação**. 2006. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

\_\_\_\_\_. **Eletroflotação: sua história e variáveis**. 1. ed. São Paulo, 2014. 64 p.

FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E. Utilização da técnica de eletroflotação para o tratamento de efluentes têxteis: uma revisão. **Revista Eixo**, Brasília, DF, v.2, n.2, p. 51-65, 2013.

FOGO, F. C. **Avaliação e critérios de eficiência nos processos de tratamento de fluido de corte por eletroflotação**. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

GERALDINO, H. C. L. **Eletrofloculação aplicada ao tratamento de efluente da indústria de laticínio**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2014. Disponível em: <<http://www.uesb.br/ppgca/dissertacoes/2014/Geraldino.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2016.



GIORDANO, G.; FILHO, O. B. O processo eletrolítico aplicado ao saneamento ambiental de balneários. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. 17 p. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/i-055.pdf>>. Acesso em: 5 ago. 2014.

GOBBI, L. C. A. **Tratamento de água oleosa por eletroflotação**. 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2013.

GONÇALVES, B. B.; YAGINUMA, G. F.; YAMAMOTO, M. K. **Óleos de usinagem: tipos, classificação e desempenho**. Universidade Estadual Paulista, 2010, 13p. Disponível em: <[http://www.wp.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo\\_18.pdf](http://www.wp.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo_18.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2014.

HABERT, C. A.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. **Processos de separação por membranas**. 1. ed. Rio de Janeiro: E-papers, 2006. 180 p.

HOSNY, A. Y. Separation of oil from oil/water emulsions by electroflotation technique. **Filtration & Separation**, v. 6, n. 1, p. 9 - 17, 1996.

HU, L.; HAN, M.; HE, F. A review of treating oily wastewater. **Arabian Journal of Chemistry**, 2013. Disponível em: <[http://ac.els-cdn.com/S1878535213002207/1-s2.0-S1878535213002207-main.pdf?\\_tid=fa2cd89a-164e-11e6-9189-00000aab0f6c&acdnat=1462844094\\_c88f573534eebe68d38a0e0eefc23df8](http://ac.els-cdn.com/S1878535213002207/1-s2.0-S1878535213002207-main.pdf?_tid=fa2cd89a-164e-11e6-9189-00000aab0f6c&acdnat=1462844094_c88f573534eebe68d38a0e0eefc23df8)>. Acesso em: out. 2015.

KOBYA, M.; CAN, O. T.; BAYRAMOGLU, M. Treatment of textile wastewater by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. **Journal of Hazardous Materials**, B100, p. 163 - 178, 2003.

KOBYA, M. *et al.* Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation. **Desalination**, n. 190, p. 201 - 211, 2006.

KOREN, J. P. K.; SYVERSEN, U. State of the art eletrofloculation. **Filtration & Separation**, v. 32, p. 153 - 156, 1995.

LINARES-HERNÁNDEZ, I. *et al.* A combined electrocoagulation-sorption process applied to mixed industrial wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 144, p. 240 - 248, 2007.

LISBOA, F. C.; MORAES, J. J. B.; HIRASHITA, M. A. Fluido de corte: uma abordagem geral e novas tendências. In: ENCONTRA NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, 2013, Salvador. **Artigo**, p. 1-16. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\\_TN\\_STO\\_185\\_056\\_23095.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_185_056_23095.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2014.

MENESES, J. M *et al.* Tratamento do efluente do biodiesel utilizando a eletrocoagulação/flotação: investigação dos parâmetros operacionais. **Química Nova**, Campina Grande, v. 35, n. 2, p. 235 – 240, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v35n2/02.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2014.

MOLLAH, M. Y. A. *et al.* Eletrocoagulation (EC) – science and applications. **Journal of hazardous materials**, v.84, n.1, p. 29-41, 2001.



\_\_\_\_\_. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. **Journal of Hazardous Materials**, v. B114, p. 199 - 210, 2004.

MONTEIRO, M. I. **Tratamento de efluentes oleosos provenientes da indústria metal-mecânica e seu reúso**. 2006. 148 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2006.

MOTTA, A. R. P. *et al.* Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Salvador, v. 18, n. 1, p. 15 - 26, jan/mar, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n1/a03v18n1.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2014.

MULDER, M. **Basic principles of membrane technology**. 2 ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 1996. 564 p.

NASCIMENTO, M. R. Revisão: a sinergia das técnicas eletroflotação-eletrocoagulação para a desestabilização de emulsões tipo óleo-água. **Principia**, João Pessoa, n. 19, p. 26 - 34, 2011. Disponível em: <<http://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/viewFile/200/163>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

\_\_\_\_\_. Separação de óleos emulsificados em efluentes industriais com o uso da eletroflotação – uma revisão. **Ambiente Mineral**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 35 - 44, 2011. Disponível em: <<http://www.dmg.ufcg.edu.br/ambientemineral/ed3/artigo5.PDF>>. Acesso em: 10 set. 2014.

NETO, A. S; MAGRI, T. C; SILVA, G. M; ANDRADE, A. R. Tratamento de resíduos de corante por eletroflotação: um experimento para cursos de graduação em química. **Química nova**, São Paulo, v.34, n.8, p.1468-1471, 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422011000800030&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422011000800030&script=sci_arttext)>. Acesso em: 10 maio 2014.

NOVASKI, O.; RIOS, M. Vantagens do uso de fluidos sintéticos na usinagem. **Revista metal mecânica**, n. 118, p. 56-62, 2002.

OLIVEIRA, J. F. G.; ALVES, S. M. Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando produção mais limpa como estratégia de gestão ambiental. **Produção**, São Paulo, v.17, n.1, p. 129-138, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132007000100009&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132007000100009&script=sci_arttext)>. Acesso em: 15 abr. 2014.

QUEIROZ, S. C. B. *et al.* Remoção de alumínio em águas para abastecimento público por meio de precipitação química com hidróxido de cálcio. **AIDIS**, v. 9, n. 1, p. 89 - 106, abr., 2016. Disponível em: <<http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/50062>>. Acesso em: 28 jun. 2016.

QUEISSADA, D. D.; SILVA, F. T.; PAIVA, T. C. B. Tratamentos integrados em efluente metal-mecânico: precipitação química e biotratamento em reator do tipo air-lift. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Lorena, v. 16, n. 2, p. 181 - 188, abr/jun, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n2/v16n2a12>>. Acesso em: 10 nov 2014.

RAJESHWAR, K.; IBAÑEZ, J. G. Environmental electrochemistry. Londres: Academic Press, 1997.

REYNOL, F. USP São Carlos desenvolve o primeiro óleo vegetal de corte. **Conhecimento & inovação**, Campinas, v. 5, n. 3, set. 2009. Disponível em:



<[http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_isoref&pid=S1984-43952009000300010&lng=pt&tlng=pt](http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_isoref&pid=S1984-43952009000300010&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 9 maio 2016.

ROSA, A. B.; DINIZ, A. E. Influência das condições de usinagem na rugosidade de peças de aço fresadas com fresas de topo de metal duro e coronite. In:

ROMERO, J. A. P. **Eletroflotação aplicada ao tratamento de esgoto sanitário**. 2009. 143 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

RUNGE, P. R. F.; DUARTE, G. N. **Lubrificantes nas indústrias**. São Paulo: Triboconcept, 1989. p. 71 - 172.

SAIDI, M. *et al.* Modeling of flow field and separation efficiency of a deoiling hydrocyclone using large eddy simulation. **International Journal of Mineral Processing**, v. 112-113, p. 84 - 93, 2012.

SANTA CATARINA. **Portaria Nº 17, de 18 de abril de 2002**. Estabelece os limites máximos de toxicidade aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências. Fundação do meio ambiente – FATMA, 2002. Disponível em:

[http://www.fatma.sc.gov.br/download/legislacao/tema3/PORTARIA\\_17\\_2002.doc](http://www.fatma.sc.gov.br/download/legislacao/tema3/PORTARIA_17_2002.doc)>. Acesso em: 15 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Lei Nº 14.675, de 13 de abril de 2009**. Institui o código estadual do meio ambiente e estabelece outras providências. Governo do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em:

<[http://www.institutohorus.org.br/download/marcos\\_legais/Lei%2014.675%20Codigo\\_ambiental\\_SC.pdf](http://www.institutohorus.org.br/download/marcos_legais/Lei%2014.675%20Codigo_ambiental_SC.pdf)>. Acesso em: 22 abr. 2014.

SANTOS, M. R. G. *et al.* The application of electrochemical technology to the remediation of oily wastewater. **Chemosphere**, n. 64, p. 393 - 399, 2006.

SARLES, V. N. G. *et al.* Avaliação da eficiência da separação da água do óleo com produtos químicos de base polimérica. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis**, v. 8, n. 2, p. 55 - 67, 2014. Disponível em:

<<http://seer.ucp.br/seer/index.php?journal=REVCEC&page=article&op=view&path%5B%5D=522&path%5B%5D=285>>. Acesso em: 10 out. 2014.

SCHONS, E M. **Desestabilização de emulsões visando a redução do teor de óleo em água**. 2008. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

SCOTT, K. **Eletroquímicos processos para tecnologia limpa**. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1995.

SOUZA, K. R. **Estudo da remoção de Ba<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> por eletrocoagulação em água associada à produção de petróleo**. 2012. 128 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

TIR, M.; MOULAI-MOSTEFA, N. Optimization of oil removal from oily wastewater by electrocoagulation using response surface method. **Journal of Hazardous Materials**, v. 158, n. 1, p. 107 - 115, 2008.



VAZ, L. G. L *et al.* Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 45 - 54, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-46702010000400006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-46702010000400006&script=sci_arttext)>. Acesso em: 30 ago. 2014.

REALIZAÇÃO



CORREALIZAÇÃO



INFORMAÇÕES

abes-rs@abes-rs.org.br  
51 3212.1375