



ISSN: 2447-5580

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>



Brazilian Journal of
Production Engineering

BJPE - Revista Brasileira de Engenharia de Produção



Campus São Mateus
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

MÉTODOS DE ELETROFLOTAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

METHODS OF ELETROFLotation IN THE TREATMENT OF EFFLUENTS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Giulia Cruz Correa¹, Rodrigo Randow de Freitas² & Paulo Sergio da Silva Porto³

^{1 2 3} Universidade Federal do Espírito Santo. giuliacruzcorrea@hotmail.com rodrigo.r.freitas@ufes.br paulo.porto@ufes.br

ARTIGO INFO.

Recebido em: 13/03/2019

Aprovado em: 19/03/2019

Disponibilizado em: 07/04/2019

PALAVRAS-CHAVE:

eletroflotação, águas residuais, tratamento, SWOT.

KEYWORDS:

electroflotation; wastewater, treatment, SWOT.

*Autor Correspondente: Giulia Cruz Correa.

RESUMO

O descarte indevido de efluentes contaminados representa uma problemática ambiental e de saúde pública. O método de eletroflotação tem ganhado espaço em pesquisas pelo mundo, pois é um tratamento eficiente, de baixo custo e de fácil operação podendo ser utilizado para tratamentos de efluentes residuais industriais. O artigo consiste em uma revisão bibliométrica sobre essa aplicação, trazendo um panorama geral dos avanços realizados até o presente momento. Realizou-se uma análise quantitativa dos artigos encontrados na base *Web of Science* e posteriormente uma análise qualitativa. Ferramentas de análise estatística foram utilizadas para complementar a análise. Feito isso, foram identificadas as convergências e divergências entre

os artigos. Concluiu-se que os resultados demonstraram que algumas melhorias ainda são necessárias, mas que a técnica é viável e vantajosa.

ABSTRACT

The improper disposal of contaminated effluents represents an environmental and public health problem. The electroflotation method has gained popularity in studies around the world, since it is an efficient, low cost and relatively simple treatment that can be used for industrial effluent treatment. The article consists of a bibliometric review of this application, giving an overview of the advances made up to the present moment. A quantitative analysis of the articles found in the *Web of Science* database was carried out, as well as a qualitative analysis later on. Statistical tools were used to complement this analysis. Once this was done, the convergences and divergences between the articles were identified. The conclusion demonstrated that some improvements are still needed, but that the technique is viable and useful.



1. INTRODUÇÃO

A conscientização por parte das pessoas vem aumentando frente à complexidade da natureza e o equilíbrio delicado que existe dentro do ecossistema global (AHMET et al., 2006). O descarte de efluentes e compostos tóxicos associados nos sistemas aquáticos, advindos não apenas do crescimento populacional, mas também industrial, representa um problema ambiental contínuo. Isso causa efeitos diretos impactando as comunidades aquáticas receptoras e um potencial efeito na saúde humana (ALKARKHI; ISMAIL; EASA, 2008). Índices alarmantes vêm sendo sinalizados alertando para que continuemos a investigar técnicas adequadas para o tratamento de efluentes. Quando apropriadamente tratados e reciclados, as águas residuais podem tornar-se possíveis fontes de água reutilizáveis reduzindo o impacto ambiental (MARCHIORETTO; REALI, 2001).

Pode-se considerar assim que as indústrias, compostas por diversos processos produtivos, são grandes representantes das taxas de geração de efluentes. A maior parte dos resíduos aquosos das indústrias é eliminada em áreas de mananciais, afetando lençóis freáticos, rios, oceanos e demais corpos d'água. Tal fato se deve, principalmente, as suas complexidades químicas e/ou volumes expressivos e por processos obsoletos, deficientes (RAYMUNDO; RIBEIRO, 2008). Em certos casos, o efluente é descartado por não ser considerado economicamente viável, mesmo nos casos em que contenham solutos de interesse para indústria (substâncias valiosas). Para a produção de papel, por exemplo, é necessário vários estágios como cortar, ferver em uma solução de hidróxido de sódio, diluir e a lavagem. Essas etapas funcionam com uma grande quantidade de água e, portanto, consideráveis quantidades de águas residuais, contendo grandes quantidades de sólidos em suspensão, DQO e DBO, são geradas (MANSOUR; KSENTINI; ELLEUCH, 2007).

Diante desta problemática, a sociedade passou a exigir da indústria a adoção de “melhores técnicas”, não sendo suficiente somente atender a determinados padrões ambientais (FIGUEIREDO, 2004). Isso representa, a entendimento da sociedade, que a variável ambiental é importante e diz respeito a todos, não somente a um segmento ou uma parcela da população.

O efluente industrial apresenta características peculiares conforme os processos envolvidos na linha de produção empregada na indústria. Assim, com essa deterioração da qualidade e a diminuição da quantidade de água o interesse no seu tratamento ou sua reciclagem com tratamentos alternativos como o processo eletrolítico vem ganhando mais interesse. Logo o



método de electrocoagulação - eletroflotação aparece como uma tecnologia eletroquímica promissora e eficiente (RICORDEL; DARCHEN; HADJIEV, 2010). Pode também ser aplicada a diversos tipos de efluentes, dentre os quais: descontaminação de águas subterrâneas (POON, 1997), tratamento de efluentes de indústria de processamento de coco (CRESPILHO; REZENDE, 2004), indústria de óleo (MOSTEFA, 2004), (SANTOS et al., 2006), lavanderias (GE et al., 2004) e remoção de íon fluoreto (SHEN et al., 2003), indústria de alimentos e remoção de polifenóis (CRESPILHO; SANTANA; REZENDE, 2004), tratamentos de efluentes de curtumes (MURUGANANTHAN, 2007) entre outros.

O funcionamento deste processo eletrolítico é baseado na aplicação de um potencial elétrico em eletrodos de sacrifício que possuem polaridades diferentes, alguns ânodos e os outros catodos, em contato com uma solução aquosa. Quando uma voltagem é aplicada, o ânodo é oxidado e o cátodo reduzido, fazendo com que ocorra a geração eletroquímica do agente coagulante (MURUGANANTHAN, 2007). Com a dissolução do metal devido a eletrólise é promovido a geração de íons e gases, que em pH apropriado formam reações de coagulação-floculação. Usualmente ocorre a operação de eletrocoagulação, seguida de eletroflotação. Conceitualmente, a primeira operação é responsável pela quebra da emulsão óleo-água, seguida da coagulação das partículas; enquanto a segunda é responsável pelo arraste desses flocos para a superfície (MOLLAH et al., 2004).

Corroborando, é imperativo conhecer os parâmetros físicos e químicos que podem influenciar na eficiência do processo quanto à remoção de poluentes. Dentre eles é possível exemplificar como parâmetro físico, a densidade de corrente, a geometria do reator, a superfície do eletrodo (placa reta, placa perfurada, placa reta e perfurada, grade metálica, helicoidal), vazão, agitação e inversão de polaridade. Já os parâmetros químicos são pH do meio, adição de cloreto de sódio para aumentar a condutividade e adição de agentes coagulantes. Entretanto, os maiores efeitos ocorrem pelo tipo de material que compõe o eletrodo de sacrifício e pH do meio. A escolha apropriada na seleção dos materiais é muito importante, sendo os mais comuns o alumínio e o ferro, pois são baratos, eficazes e estão disponíveis em boa quantidade (CRESPILHO; REZENDE, 2004), (MOLLAH et al., 2004).

Assim como outros processos industriais, a eletroflotação junto com a eletrocoagulação possui vantagens e desvantagens. Dentre as vantagens está o fato da necessidade de utilização de apenas um equipamento simples e de fácil operação. Também é mencionada a limitação quanto ao uso de substâncias química visando à diminuição de geração de efluente pós-tratamento (MOLLAH, 2001). Outro fato é que o desgaste dos eletrodos pode ser controlado,



utilizando, por exemplo, materiais mais estáveis e neutros, reduzindo seu desgaste e aumentando sua vida útil. Isso requer menor tempo de troca. Dentre as desvantagens encontra-se o fato dos eletrodos, se não houver um controle quanto ao desgaste, substituição regular, caso sofram passivação ou desgaste. Também avaliar o fato que para diminuir o tempo de detenção hidráulica requer alta condutividade do efluente e o consumo de energia elétrica pode ser dispendioso em algumas regiões.

Contudo o tema “eletrofloculação”, área específica deste trabalho, tornou-se motivação para o desenvolvimento de uma análise bibliométrica sobre o uso da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes, em uma das principais bases para coletas de dados científicos, onde existem inúmeras revistas científicas. Nesse sentido, a *Web of Science* (produzida pelo ISI – *Institute for Scientific Information*), que atualmente faz parte do grupo empresarial Thomson Reuters, representa um dos principais veículos de comunicação de pesquisa científica e vem contribuindo relevantemente para a difusão do conhecimento. Esta base está disponível desde 1997, tendo abrangência internacional quanto a informações bibliográficas e citações possuindo aproximadamente 40 milhões de artigos científicos, publicados a partir de 1945 em mais de 230 áreas temáticas.

Assim, o objetivo deste trabalho é fazer uma pesquisa bibliométrica sobre o que tem sido investigado sobre o uso da eletrofloculação e suas aplicações frente a diferentes efluentes, bem como apontar as tendências (inovativas e tecnológicas) registrados na base da *Web of Science*. Além de ter como cenário a bibliometria, uma ferramenta estatística permitirá mapear e gerar diferentes indicadores de tratamento e gestão da informação e do conhecimento. Especialmente quando se trata de sistemas de informação e de comunicação científicos e tecnológicos, bem como de produtividade, tais estudos são necessários ao planejamento, avaliação e gestão da ciência e da tecnologia, para o desenvolvimento de uma determinada comunidade científica ou país (GUEDES; BORSCHIVER, 2009).

2. MATERIAS E MÉTODOS

A pesquisa realizada na base *Web of Science* foi acessada através do Portal de Periódicos da CAPES utilizando-se, como termo de busca, ‘*Electroflotation*’ no campo título, publicados entre os anos 1945 e 2017.

Para auxiliar no entendimento e melhor agrupamento de inúmeras informações coletadas durante a revisão, foi utilizado o software gratuito Citespace[®]. As importações dos registros acadêmicos para o *software* foram realizadas, visando uma padronização de critérios de



busca. Nessa etapa, a meta foi encontrar pontos críticos de desenvolvimento do campo auxiliando na análise dos dados obtidos. Também foi mapeada e explorada a localização geográfica dos autores em seus registros de publicações (CHEN, 2006).

Para propiciar um refino na análise, foram selecionados os artigos que estavam disponíveis e liberados para *download* e que possuíam como língua base o inglês, português e espanhol. Na sequência, os dados desses documentos foram recuperados, realizando-se agrupamentos quanto ao tema, objetivo, tipo de efluente e parâmetros específicos da eletroflotação.

Por fim, o coeficiente de confiança foi determinado. Uma determinação estatística do tamanho da amostra é necessária para garantir a representatividade dos dados coletados e legitimidade da pesquisa (BAKER et al., 2013). Desta forma, para estimar o coeficiente de confiança neste trabalho utilizou-se a Equação 1 (DUPONT, 2001).

$$n = \frac{z^2 \cdot \left(\frac{x}{n}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{x}{n}\right)\right] \cdot N}{(N-1) \cdot e^2 + z^2 \cdot \left(\frac{x}{n}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{x}{n}\right)\right]} \quad (1)$$

Em que: n é o tamanho da amostra, N representa o tamanho da população, e é o erro amostral, $\frac{x}{n}$ é a proporção estimada do item pesquisado na amostra (%) e Z é o valor da abscissa da curva normal associada ao nível de confiança escolhido.

Algumas considerações foram assumidas como fixas. Assim, os artigos foram selecionados segundo os seguintes critérios: tipo de efluente (emulsões ou efluentes industriais) e ano de publicação (a partir de 2000 a 2017). Para auxiliar a análise qualitativa dos artigos selecionados após determinar o coeficiente de confiança, os artigos foram enquadrados em categorias de classificação.

Tais categorias foram: localização geográfica, efluente industrial, método e condições operacionais (pH, material do eletrodo, geometria do reator, formato dos eletrodos, tempo de retenção, volume e condutividade).

Por fim, realizou-se uma Matriz SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities Threats*) para não somente completar a análise proposta, mas para melhor compreender os resultados. Assim, apresentaram-se os pontos fortes, os pontos fracos, as fraquezas e oportunidades dessa técnica. A compreensão dos fatores externos (oportunidades e ameaças) e dos fatores internos (pontos fortes e pontos fracos) colabora para um desenvolvimento de futuro almejado (SILVEIRA, 2001).



Para atingir uma acurácia na interpretação dos dados de objetos que apresentam multidimensionalidade de parâmetros, a técnica de clusterização por agrupamento hierárquico também foi utilizada. Isso provém de uma família de técnicas de análise de proximidade de dados e tem-se mostrado um importante instrumento matemático de mensuração. A técnica de agrupamento hierárquico foi definida, pois interliga as amostras por suas associações, produzindo um dendrograma onde pode representar os níveis de agrupamento, assim como os níveis de similaridade agrupando as amostras semelhantes (JAIN; DUBES, 1988). Os dendrogramas são construídos diretamente por todos os programas estatísticos que fazem classificação dos dados através de agrupamento hierárquico (*Hierarchical Analysis ou Cluster Analysis*). A proximidade encontrada entre os objetos refletiu o grau de similaridade entre si e foi obtida a partir da distância entre os objetos de estudo (MOITA NETO; MOITA, 1998).

3. DISCUSSÃO

Análise Bibliométrica

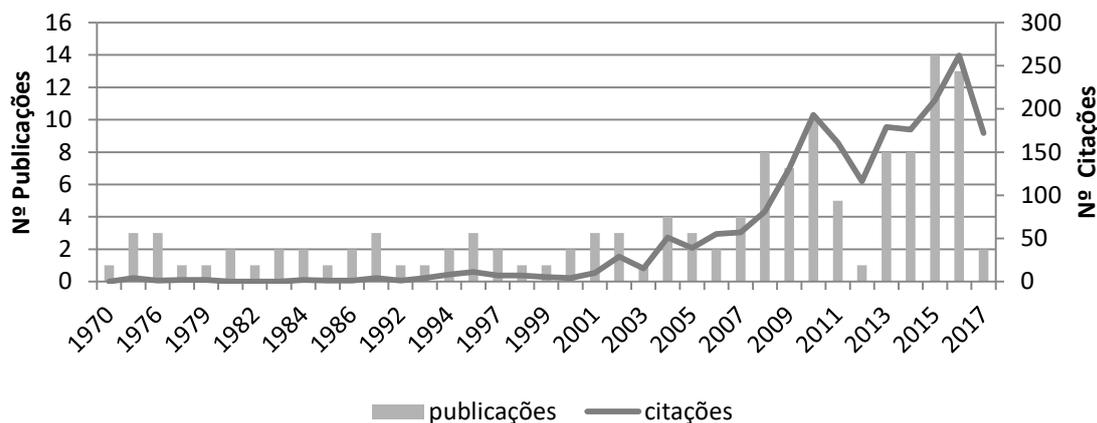
O processo de eletrofloculação, também chamado de eletrocoagulação ou eletroflotação (etapas que integram o método), é um processo eletrolítico que envolve a desestabilização de poluentes emulsificados, ou em suspensão, em meio aquoso. A pesquisa realizada na base *Web of Science* foi realizada primeiramente utilizando como palavra-chaves *electrocoagulation* e *electroflotation*. Para o primeiro, foram resgatadas 1537 publicações, porém algumas dessas publicações visavam a técnica contendo apenas essa etapa da eletrofloculação, sendo assim a pesquisa foi realizada utilizando a palavra chave *electroflotation*. Foi encontrado um total de 131 artigos até o ano de 2017. Dentro dessas publicações o primeiro artigo publicado sobre a utilização da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes ocorreu no ano de 1970, na Rússia. Isso revela que essa técnica é consideravelmente recente (Figura 1).

Observa-se que o comportamento dos dados apresentados na Figura 1 revela-se a não existência de um padrão específico quanto ao crescimento (avanço na aplicação), refletida pelo número de artigos publicados. Porém, ao se analisar as décadas ocorreram um crescimento da quantidade de publicações, sendo nos anos 70, 80 e 90, o número de publicações foram 9, 10 e 14 artigos, respectivamente e a partir do início do século XXI, o crescimento acentuou-se tendo a primeira década 47 artigos publicados e de 2011 a 2017, 51 publicações.



O número de citações (Figura 1) também obteve um crescimento acentuado a partir do século XXI. Evidencia-se então que houve um crescimento de relações entre ideias, indivíduos, instituições e áreas da pesquisa permitindo uma seletividade da literatura. Destaca-se que em 2012 teve uma queda acentuada no número de citações, por ocorrência indeterminada.

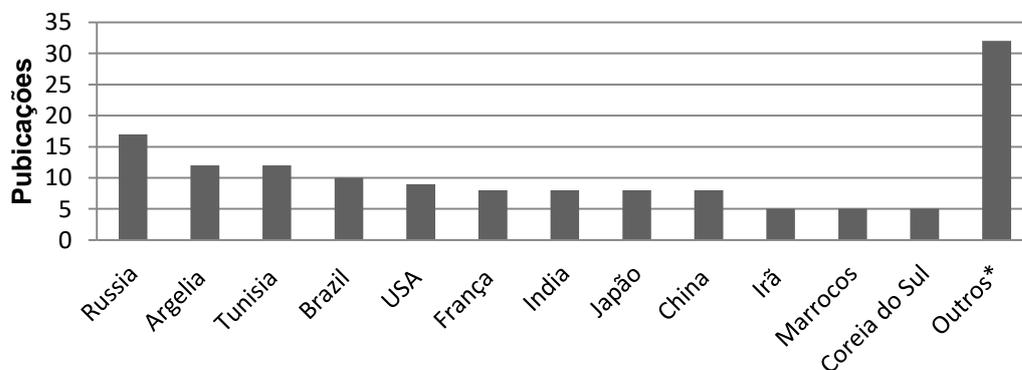
Figura 1: Projeção do número de publicações e de citações por ano.



Fonte: elaborada pelos autores

Em relação às nacionalidades das publicações, ocorreram registros em 32 países. Porém, conforme se pode observar na projeção da Figura 2, o país que mais se destaca nessa atividade científica relacionada é a Rússia com 17 publicações. Apesar do número maior de publicações serem de países que não tenham como língua nativa o inglês, apenas 11 artigos dos 131 não se enquadram nesse idioma. Provavelmente pelo fato de artigos publicados em outra língua terem menos chances de citação. Logo 91,6% das publicações científicas sobre o tema, foram escritos em inglês. O restante encontram-se num percentual de 8,4%, sendo 6 escritos em japonês e os demais, um artigo em francês, polonês, português, romeno e espanhol.

Figura 2: Projeção da quantidade de publicações por país

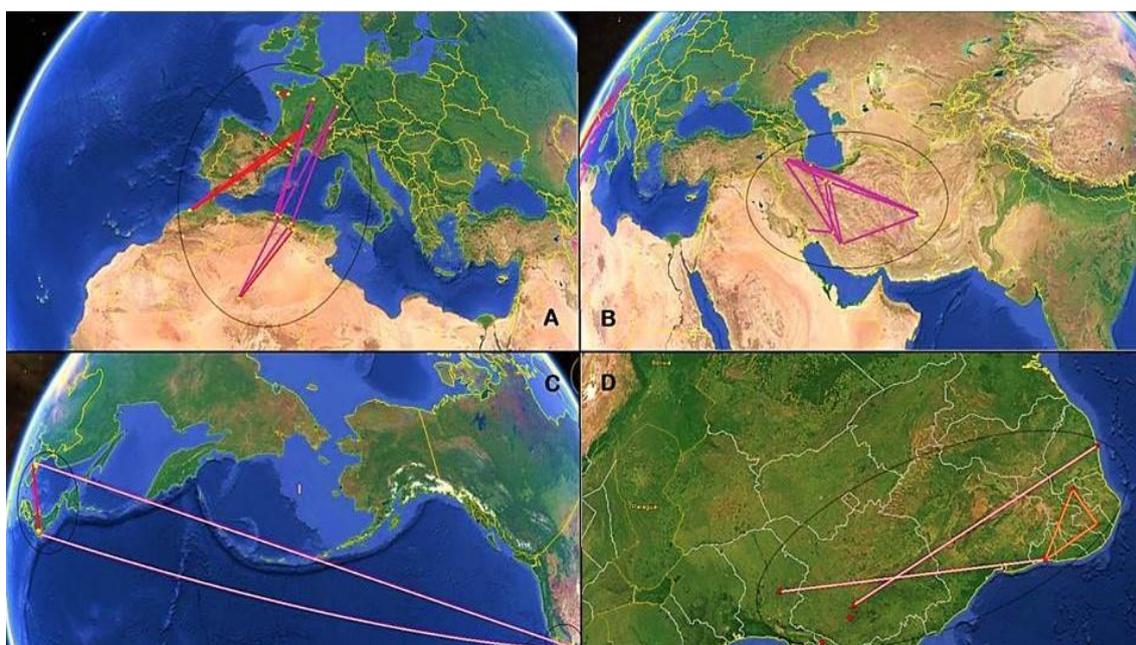


Fonte: elaborada pelos autores



Quando se considera a existência de um relacionamento entre autores e coautores, em diferentes países e continentes no mundo (Figura 3), o fato da maioria dos artigos estarem em inglês facilita a cooperação entre autores. Visando um melhor entendimento, dividiu-se a Figura 3 em quatro partes. A parte 3A apresenta uma relação entre o norte do continente africano (Argélia e Marrocos) com a França, no continente Europeu; a parte 3B apresenta a relação entre si dos autores que se encontram em diferentes estados no Irã, país sudoeste do continente asiático; a parte 3C representa a relação de autores do Japão, Coréia do Sul e com o estado da Califórnia nos Estados Unidos; a parte 3D apresenta a relação entre si de autores brasileiros em diferentes estados.

Figura 3: Relacionamento entre autores e países no mundo.



Fonte: elaborada pelos autores.

Refino da análise Bibliométrica

Quanto aos artigos disponíveis para acesso e escritos em inglês, espanhol e português (total de 110 artigos) foram analisados quanto ao seu objetivo, modelagem dos experimentos e condições operacionais. Estimou-se assim, o coeficiente de confiança frente ao número de artigos analisados, totalizando 17. Para a escolha destes, levou-se em consideração o ano de publicação, tendo como preferência artigos do século XXI e como motivação, o tratamento de efluentes industriais. Foi ponderada a utilização dos índices de fator de impacto como meio de escolha, porque se considerou que a pesquisa perderia abrangência e ficaria incompleta no quesito informações.



Os 17 artigos selecionados estão representados na Tabela 1 por ordem anual, sendo identificados individualmente por uma letra do alfabeto e categorizados pelo país de origem, o tipo de efluente estudado e os índices SJR e h-index.

Tabela 1: Tabela com dados dos artigos recuperados para a análise qualitativa.

	Autor	Ano	País	Tipo Efluente	SJR	h-index
A	Chen, GH; et al.	2000	China	Restaurante	0.4	78
B	Choi, YG; et al.	2002	EUA	Congelamento de aves	0.39	111
C	Crespilho, FN; et al.	2004	Brasil	Indústria de coco	0.22	56
D	Ge, JT; et al.	2004	China	Lavanderias	1.02	123
E	Mostefa, NM; et al.	2004	Argélia	Óleo	1.81	128
F	Mansour, LB; et al.	2006	Tunísia	Óleo	0.68	91
G	Bande, RM.; et al.	2008	Índia	Óleo	1.74	141
H	Belkacem, M; et al.	2008	Argélia	Indústria Têxtil	1.81	128
I	Nahui, FN; et al.	2008	Brasil	Óleo	0.46	36
J	Merzouk, B; et al.	2008	Argélia	Indústria Têxtil	1.81	128
K	Merzouk, B; et al.	2009	Argélia	Indústria Têxtil	1.73	198
L	Wang, C.; et al.	2009	China	Lavanderias	1.73	198
M	Skender, A; et al.	2010	Argélia	Óleo	0.34	34
N	Palomino R; et al.	2013	Brasil	Óleo	0.34	63
O	Qin, X; et al.	2013	China	Restaurante	0.4	78
P	Yahya, E; et al.	2015	Alemanha	Óleo	0.81	69
Q	Jimenez, C.; et al.	2016	Coréia do Sul	Indústria Têxtil	0.81	69

Fonte: elaborada pelos autores.

Tipos de efluentes

Analisando o tipo de água residual, é possível encontrar assim um número elevado de artigos para tratamento de efluentes oleosos (7) em comparação aos outros. Isso mostra como a conscientização sobre o tratamento deste tipo de efluente tem crescido.



Os efluentes oleosos são considerados um dos principais poluentes do meio aquático. Quando esses efluentes são lançados no ecossistema aquático causam um problema ecológico devido à formação de um filme insolúvel na superfície da água. Isto prejudica a aeração e iluminação natural dos cursos d'água, produzindo efeitos nocivos a fauna e a flora aquática. Mesmo se for encontrado em concentrações muito baixas, os resíduos oleosos são tóxicos para os microrganismos responsáveis pela biodegradação e até mesmo trazem perigo a saúde humana (ZHOU et al., 2008).

A segunda maior ocorrência de estudos encontrados, refere-se ao tratamento de efluentes industriais têxteis (4), os demais possuem 2 ou 1 aparições. Esses efluentes apresentam elevadas concentrações de corantes com altas cargas orgânicas representando um grande problema ambiental quando descartados em recursos hídricos (PASCHOAL; TREMILIOSI FILHO, 2005). Esses resíduos de corante possuem em sua composição surfactantes e agentes quelantes, que são causadores de perturbações no ecossistema aquático, principalmente pelo desenvolvimento do processo de eutrofização (AQUINO NETO et al., 2011). Também, os autores relatam que partes dos efluentes tratados foram sinteticamente preparados em laboratório, isso porque, dependendo do tipo do efluente, ele pode possuir muitos parâmetros por contaminação de outras substâncias, o que poderia atrapalhar na definição das melhores condições e exigiria muito tempo para a caracterização do mesmo.

Classificação quanto aos parâmetros laboratoriais

Observa-se, pelo SJR e h-index de alguns artigos, que a produção científica de algumas das publicações selecionadas possui grau de qualidade de relevância científica. A classificação, quanto às outras categorias, para uma melhor comparação entre si, pode ser visualizada na Tabela 2. As categorias são quanto ao método utilizado, a geometria do reator, o material da placa, se o eletrodo possuía alguma perfuração, se ocorreu adição de sal, o tempo de retenção, o pH da solução no processo e a condutividade.

Analisando a Tabela 2, visto que apenas dois artigos utilizam o método contínuo com volumes acima de 100L, fica claro que o foco dos artigos ainda está em experimentos realizados em escala de bancada, para averiguar as melhores condições de operação. Observa-se que alguns dados não são fornecidos em todos os artigos, o que demonstra que eles possuem diferentes critérios de importância na escolha de parâmetros da eletroflotação, isso se deve, principalmente pela diferença dos tipos de efluentes.



Tempo de operação

Uma das vantagens do método que também pode ser observada é o tempo de operação necessário que é pequeno para realizar o tratamento. Porém, em algumas publicações, tendo como efluente industrial o efluente oleoso, estudaram a concentração do óleo no efluente como um parâmetro. Quando a carga do poluente é muito grande, constata-se que é necessário maior tempo de operação e também a implementação de outros métodos de tratamento. Com mais tempo de operação, se gasta mais energia e aumenta o desgaste do eletrodo.

Tabela 2: Tabela com a classificação dos artigos para a pesquisa qualitativa.

	Método	Geom.	Material	Eletrodo	Sal	TR	pH	Vol.	Cond.
A	CONT	RET	AL	SP	SS	120	AC	----	1,29
B	CONT	CIL	TI ou NI	SP	SS	30	----	2	1
C	CONT	----	AL	SP	SS	5	NE	3	4,30
D	CONT	RET	AL	SP	SS	10	BA	2,8	----
E	BAT	RET	ACO	SP	CS	30	BA	5,5	1.81 a 2.32
F	BAT	CIL	TRU e ACO	SP	CS	40	AC	0,3	----
G	BAT	RET	AL	CP	CS	30	AC	2	----
H	BAT	RET	AL	SP	SS	20	NE	1	1.6
I	BAT	RET	TRU e ACO	SP	CS	30	AC	1,5	----
J	BAT	RET	AL	SP	SS	----	NE	1,5	2,1
K	BAT	RET	AL	SP	CS	10	NE	1,5	2,1
L	BAT	RET	AL	SP	CS	40	NE	1	0,23 a 0,33
M	BAT	RET	ACO	CP	CS	30	NE	----	----
N	BAT	RET	AL	SP	SS	60	NE	2	1,13
O	CONT	RET	TI e ACO	SP	SS	10	NE	262	0,8



P	CONT	RET	AL	SP	CS	30	AC	7,5	12,8
Q	CONT	RET	TI e AL	SP	CS	30	BA	1400	10,2

* *Método: CONT (contínuo), BAT (batelada); Geometria: RET (retangular), CIL (cilíndrica); Material: AL (alumínio), TI (titânio), NI (nióbio), ACO (aço), TRU (liga de titânio com rutênio); Eletrodo: SP (sem perfuração), CP (com perfuração); Sal: SS (sem adição de sal), CS (com adição de sal); TR: tempo de retenção (min); pH: AC (ácido), NE (neutro), BA(básico); Vol: volume (L); Cond: condutividade (mS cm⁻¹).*

Material dos eletrodos

O material de placa mais utilizado foi o alumínio puro (58%). Como dito anteriormente, é o mais comum por ser de baixo custo e eficaz, o que o torna uma ótima opção para experimentos de escala de bancada. Mas encontra-se também registrado o uso de aço, titânio com níquel, ligas de Ti/Ru com aço e Nióbio. Nota-se o uso de eletrodos perfurados em duas publicações. Nelas comprovou-se que as perfurações melhoram a eficiência do tratamento, pois a presença dos furos faz com que as microbolhas de ar geradas se desprendam dos eletrodos mais rapidamente, aumentando a quantidade das mesmas no meio (ROCHA et al., 2014). Os eletrodos de alumínio perfurados se mostraram mais eficientes na redução do teor da demanda química de oxigênio em relação aos eletrodos de alumínio e ferro não perfurados (GONZALES; TOREM, 2010).

A escolha do material do eletrodo é de demasiada importância, pois a eletroflotação, ao mesmo tempo em que trata o efluente, nela também ocorre a formação de um filme passivo do eletrodo. Quando isso ocorre, pode-se dizer que o processo de eletrofloculação pode estar comprometido pela perda de eficiência em decorrência do aumento da resistividade do eletrodo ((CRESPILHO; REZENDE, 2004), (MOLLAH et al., 2004), ((RICORDEL; DARCHEN; HADJIEV, 2010). Portanto, quanto mais neutro e inerte o material da placa for, é melhor para o tratamento. Outro método que pode ser utilizado para diminuir a passivação, aumentando a vida útil do eletrodo, é a inversão de polaridade durante o processo entre as placas. Na publicação A esse método é citado e na publicação C ele é implementado nos experimentos, o que resultou na diminuição de passivação do eletrodo utilizado. Porém essa técnica ainda está sendo estudada para averiguar sua viabilização ou não.



pH do efluente

Em relação ao pH do meio durante o método, em dois casos dos artigos publicados, o pH não obteve tanta influência durante o processo (caso dos trabalhos A e B), mas nos demais, quando em seu pH ótimo, melhora a eficiência no tratamento. Para o efluente oleoso, o pH mais comum utilizado foi o ácido utilizado 4 vezes, já o neutro 2 vezes e o pH básico apenas uma vez. Para efluentes têxteis e de lavanderias o pH básico ou neutro é a melhor opção, visto que obtiveram bons resultados experimentais. Quanto mais próximo do neutro o pH estiver, é melhor economicamente. O custo operacional aumenta se é preciso acidificar ou alcalinizar o efluente para o tratamento.

Condutividade

A condutividade do meio influencia positivamente na eficiência dos experimentos. Para isso, é evidente que dependendo do efluente, é acrescentado um percentual de sal, elevando a condutividade do meio quando necessário. Essa é uma prática muito comum no tratamento por eletroflotação. Quanto maior for à presença de íons condutores, maior será a condutividade do mesmo, portanto, maior será a corrente elétrica conduzida, ou seja, tem-se uma maior possibilidade de ocorrer reações entre as substâncias presentes, tornando-se um fator positivo que possibilita a redução do consumo energético (GUEDES; BORHCHIVER, 2009), (POON, 1997). Porém, apesar de auxiliar no tratamento, o efluente final tratado possui alto teor de sal, necessitando, dependendo da situação, de outro tratamento para diminuir essa concentração.

Pontos a serem considerados

Pouco é citado e discutido sobre o cuidado com o destino final da lama gerada como subproduto. A quantidade gerada é pequena, no entanto é composta pelo soluto e metais provenientes do eletrodo de sacrifício que são subprodutos que causam problemas ambientais e de saúde pública, tendo que ser disposto em local apropriado posteriormente ou tratado para recuperação ou reuso industrial, aumentando por exemplo a concentração de alumínio no ponto final (BATES, 2000). Há também estudos sobre a exposição deste elemento representando um risco para o desenvolvimento da doenças como a de Alzheimer (MARTYN, 1997).



oportunidades como tendências externas que podem contribuir para a melhoria e na concretização dos objetivos. Já as ameaças são condições ou situações externas, que não podem ser controladas, e que podem prejudicar a execução dos objetivos.

Figura 5: Matriz SWOT.

		POSITIVO	NEGATIVO
		FORÇAS	FRAQUEZAS
INTERNO		<ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo de instalação e operação e menor <i>layout</i>. - Baixa geração de lama residual; - Eliminação de etapas de tratamentos químicos ou de microorganismos; - Menor tempo operacional; - Versatilidade com fácil manutenção e operação; - Eficiência energética; - Adequado para sistemas de reuso em recirculação; - Parâmetros físico-químicos fáceis de serem controlados; - Os flocos formados são estáveis podendo ser removidos por decantação ou por filtração; 	<ul style="list-style-type: none"> - Tratamentos mais rápidos e eficientes requerem alta condutividade elétrica; - Passivação dos eletrodos de sacrifício resulta na troca frequente do mesmo; - Pode haver formação de um filme de óxido impermeável no catodo reduzindo a eficiência. - Custos adicionais com substâncias químicas como sal para elevar a condutividade; ácido ou base para diminuir ou elevar o pH do meio; - Em altas concentrações de soluto necessitam de tratamentos prévios ou subsequentes. - Custo energético envolvendo o consumo da eletricidade;
		OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
EXTERNO		<ul style="list-style-type: none"> - Possibilidade da utilização de energia limpa; - Possibilidade de aumentar a eficiência combinando outros métodos no processo; 	<ul style="list-style-type: none"> - Carência de estudos em escala industrial. - Quantidades significativas de sal elevam a condutividade elétrica, porém resultam em um efluente líquido com



<ul style="list-style-type: none"> - Novos estudos para aumentar a eficiência da vida útil dos eletrodos já sendo realizados; - Interesse crescente no mercado; - Demanda do uso da técnica para diferentes efluentes. 	<p>elevado teor de sal.</p> <ul style="list-style-type: none"> - A lama (subproduto gerado) contem o soluto e metais provenientes do eletrodo de sacrifício que requerem cuidados quanto ao destino final.
---	---

Fonte: elaborada pelos autores.

4. CONCLUSÕES

A revisão bibliométrica permitiu constatar nos registros científicos da base de dados da *Web of Science* a crescente produção científica no campo da eletrofloculação, mostrando crescente interesse pelo método, possibilitando comparar os estudos realizados através do uso da técnica de eletrocoagulação-eletroflotação no tratamento de efluentes.

A revisão bibliométrica também permitiu ressaltar, em vários trabalhos analisados, a importância do estudo dessa técnica tendo resultados satisfatórios, sendo a Rússia como o país com o maior número de publicações, espalhando-se por diversos países em diferentes continentes.

Na análise SWOT realizada pôde-se concluir, através desta pesquisa documental, que existem pontos positivos e pontos negativos a serem melhorados na técnica. Dos pontos positivos apontados tem-se a diminuição da passivação dos eletrodos, mediante uso de eletrodos mais estáveis e/ou pela inversão de polaridade. Outro quesito mencionado foi a diminuição dos custos, aumento da eficiência do processo e possibilidade de utilizar como fonte de eletricidade uma energia limpa.

Apesar de esses estudos estarem sendo realizados a diferentes tipos de efluentes e estarem obtendo bons resultados para os mesmos, a escala de utilização do método continua a nível laboratorial, não sendo ainda comum encontrar registros científicos de indústrias que utilizam essa técnica, rotineiramente, no tratamento de seus efluentes.

Mesmo sendo um método de tratamento eficiente, fácil de manusear, de baixo custo e adequado para sistemas de reuso e de recirculação, conclui-se que a lama residual pós-tratamento é uma problemática que necessita ser definida, principalmente seu destino final tanto descarte ou possível reuso. Muitas vezes para reduzir o tempo de detenção hidráulica,



aumentando a condutividade elétrica, a água salgada pós-tratamento se torna um efluente que precisa ser tratado pelo elevado teor de sal.

Conclui-se então que pesquisas na área de estudo necessitam ser continuadas, pois os registros apresentados da técnica indicam que a mesma tem-se mostrado viável, mas que ainda possui pontos de melhorias. Ela se destaca em meio às outras técnicas de tratamento de efluentes industriais, especialmente por ser um método eficiente, e que ao mesmo tempo diminui os impactos ambientais à natureza que vai receber o efluente tratado e aos que utilizarem essa água posteriormente.

AGRADECIMENTO

Estudo financiado pelos Editais: FAPES No 006/2014 - Universal - Projeto Individual de Pesquisa. Edital PIBIC 2016 /2017 - Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Programa Institucional de Iniciação Científica. Chamada No 18/2013 MCTI/CNPq/SPM-PR/Petrobras - Meninas e Jovens. Chamada CNPq/Vale S.A. 05/2012 – Forma Engenharia.

BIBLIOGRAFIA

- Ahmet, D.,Fevzi, Y.,Tuna, A.L., Nedim, O.;*Chemosphere* 2006, 63, 1451.
- Alkarkhi, F. M. A., Ismail, N., Easa, A. M.; *Journal of Hazardous Materials* 2008, 150, 783-789.
- Marchioretto, M.M., Reali, M.A.P. *Water Science Technology* 2001, 43, 99.
- Raymundo, A. S.; Ribeiro, A. V. F. N.; *III Jornada de Iniciação Científica do Cefetes e I Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação*, Vitória, Brasil, 2008.
- Mansour, L. B.,Ksentini L., Elleuch B.; *Desalination*,2007, [208](#), 34-41.
- Figueiredo, V.F.; *XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção ABEPRO*, Florianópolis, Brasil, 2004
- Ricordel, C., Darchen, A., Hadjiev, D.; *Separation and Purification Technology* 2010, 74, 342–347.
- Poon, C. P. C.; *JournalofHazardousMaterials* 1997, 550,159.
- Crespilho, F. N., Rezende, M.O.O., *Editora Rima*, 1th Ed., 96, São Carlos, Brasil 2004
- Mostefa, N. M.; Tir, M.; *Desalination*2004, 161, 115.
- Santos, M. R. G.; Goulart, M. O. F.; Tonholo, J.; Zanta, C. L. P. S.; *Chemosphere* 2006, 64, 393.
- Ge, J.; Qu, J.; Lei, P.; Liu, H., *SeparationandPurification Technology* 2004, 36, 33.



- Shen, F.; Chen, X.; Gao, P.; Chen, G.; *Chemical Engineering Science* 2003, 58, 987.
- Crespilho, F. N.; Santana, C. G.; Rezende, M. O. O.; *Química Nova* 2004, 27, 387.
- Muruganathan M., Yoshihara S., Rakuma T., Uehara N., Shirakashi T.; *Electrochimica Acta* 2007, 52, 3242.
- Mollah, M. Y. A.; Morkovsky, P.; Gomes, J. A. G.; Kesmez, M.; Parga, J.; Cocke, D. L.; J.; *Hazard. Mater* 2004, 114, 199.
- Mollah, M. Y. A.; Schennach, R.; Parga, J.; Cocke, D. L.; *Journal of Hazardous Materials* 2001, 84, 29.
- Guedes, V. L. S.; Borschiver, S.; *Encontro Nacional de Ensino e Pesquisa em Informação, Bahia, brasil*, 2009.
- Chen, C.; *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 2006, 57, 359.
- Baker, R.; Brick, J. M.; Bates, N. A.; Battaglia, M.; Couper, M. P.; Dever, J. A.; Gile, K. J.; Tourangeau, R.; *Journal of Survey Statistics and Methodology* 2013, 1, 90.
- Dupont, W. D.; Plummer, W. D.; *Controlled clinical trials* 1990, 11, 116.
- Silveira, H. SWOT. *Org. Kira, Tarapanoff*, Brasília, Ed. UNB, 2001.
- Jain, A. K.; Dubes, R. C.; *Algorithms for Clustering Data*. Nova Jersey, USA: Prentice Hall, 1988.
- Moita Neto, J. M., Moita, G. C. ; *Química Nova* 1998, 21, 467.
- Chen, GH; Chen, XM; Yue, PL.; *Journal of Environmental Engineering* 2000, 126, 858.
- Choi, YG; Kim, HS; Park, YH; *Water Science and Technology* 2002, 52, 219.
- Mansour, B. L; Chalbi, S.; *Journal of Applied Electrochemistry* 2006, 36, 577.
- Bande, Rupesh M.; Prasad, B.; Mishra, I. M.; et al.; *Chemical Engineering Journal* 2008, 137, 503.
- Belkacem, Merzouk; Khodir, Madam; Abdelkrim, Sekki.; *Desalination* 2008, 228, 245.
- Nahui, F. N. B.; Nascimento, M. R.; Cavalcanti, E. B.; et al.; *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 2008, 25, 435.
- Merzouk, B; Madani, K; Sekki, A.; *Desalination*, Toulouse, França, 2008.
- Merzouk, B.; Gourich, B.; Sekki, A.; et al; *Journal of Hazardous Materials* 2009, 164, 215.
- Wang, Chih-Ta; Chou, Wei-Lung; Kuo, Yi-Ming. *Journal of Hazardous Materials* 2009, 164, 81.
- Skender, A.; Moulai-Mostefa, N.; Tir, M.; *Desalination and Water Treatment* 2010, 13, 213.



Palomino R.; Joel A.; Souza C. J.; Farley S.; Figueiredo, Renan Tavares; et al. *Separation Science and Technology* 2013, 48, 2073.

Qin, X.; Yang, B.; Gao, F.; et al.; *Journal of Environmental Engineering* 2013, 139, 1004.

Yahya E.; Yousef M.; Mahdi S.; et al.; *Environmental Science and Pollution Research* 2015, 22, 6288.

Jimenez, C.; Saez, C.; Canizares, P.; et al.; *Environmental Science and Pollution Research* 2016, 23, 9700.

Zhou, Y; Tang, X.; Hu, X; Fritschi S.; Lu, J.; *Separation and Purification Technology* 2008, 63, 400.

PaschoaL, F. M. M.; Tremiliosi Filho, G.; *Química Nova* 2005, 28, nº5.

Aquino Neto, S; Magri, T. C; Silva, G. M; Andrade, A. R.; *Química Nova* 2011, 34, 1468.

Rocha, S. M. S.; Nascimento, I. L.; Cometti, M. F.; Fabiano, D. P.; In InternationalCongressofChemicalandProcessEngineering CHISA, Prague, República Checa 2014.

Gonzales, L.G.V.,Torem,L.M.; *Estudos Tecnológicos* 2010, 6, 57.

Bates A. J.; *Food ChemToxicol*2000; 38, 29-36

Martyn C. N., Coggan D., Inskip H., Lacey R. F., Young W. F.;*Epidemiology* 1997, 8, 281-6.

