

Estudo e Monitoramento Tecnológico do Tratamento de Efluentes por Eletrocoagulação

Study and Technological Monitoring of the Effluent Treatment by Eletrocoagulation

Thalys de Freitas Fernandes¹
Caio Cefas da Nóbrega Souza¹
Gerônimo Barbosa Alexandre²
José Nilton Silva¹

¹Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil

²Instituto Federal de Pernambuco, Garanhuns, PE, Brasil

Resumo

Este artigo aborda um estudo de monitoramento tecnológico da eletrocoagulação, usando patentes como fontes de informações. Para o levantamento das informações foi utilizada a base de dados privada, Questel Orbit®, aplicando como entrada as palavras-chave para as buscas: “eletrocoagulação”, “tratamento de água” e “alumínio”, sendo encontradas e utilizadas um total de 56 documentos de patentes. Foram realizadas análises “macro”, “meso” e “micro”, com o objetivo de levantar as principais características tecnológicas relacionadas ao tratamento de efluentes líquidos por eletrocoagulação. As principais aplicações mencionadas à eletrocoagulação ocorrem nas áreas de *remoção de contaminantes e eletrodos inertes* com 15 e 16 patentes, respectivamente. Outras áreas de destaque são as de *reatores de eletrocoagulação* com nove patentes e a da *precipitação* com seis documentos. Dentre as tecnologias relacionadas à eletrocoagulação, a que mais se destacaram foram as de *tratamento de águas residuais* e da *modificação do ânodo e/ou do cátodo*, somando 51,43% do total dos documentos analisados.

Palavras-chave: Eletrocoagulação. Tratamento de água. Alumínio.

Abstract

This paper addresses a study of the technological monitoring of electrocoagulation, using patents as sources of information. In order to collect information, the *Questel Orbit®* a private database was use applying the key words for the searches: “electrocoagulation”, “water treatment” and “aluminum”, in that was find and used fifty-six patent documents. Macro, meso and micro analyzes are carried out with the objective of analyzing the main technological characteristics related to the treatment of liquid effluents by electrocoagulation. The main application mentioned to electrocoagulation occurs in the area of removal of contaminants and inert electrodes with fifteen and sixteen patents respectively. Other important areas are those of electrocoagulation reactors with nine patents and that of precipitation with six documents. Among the technologies related to electrocoagulation, the ones that stood out most were wastewater treatment and modification of the anode and/or cathode, accounting for 51.43% of the total of the analyzed documents.

Keywords: Electrocoagulation. Water treatment. Aluminum.



1 Introdução

O acelerado crescimento econômico, muitas vezes não planejado, tem trazido fortes consequências ao meio ambiente e, conseqüentemente, às populações. Por exemplo, a poluição dos corpos hídricos, somada às irregularidades nas precipitações das chuvas está culminando na escassez de água em alguns lugares do mundo, inclusive no Brasil. Com isso, os órgãos ambientais têm procurado implementar leis e sanções mais rigorosas, visando a conscientizar principalmente as pessoas jurídicas a buscarem alternativas que minimizem os impactos ao meio ambiente decorrente dos seus processos produtivos (GOBBI, 2013).

A ação dos órgãos ambientais tem impulsionado pesquisadores a buscarem alternativas inovadoras tanto em nível de processo quanto de rentabilidade econômica para o tratamento de efluentes líquidos. Um processo não tão recente, porém bastante explorado nas duas últimas décadas, é o uso dos reatores eletroquímicos para a descontaminação de diversos tipos de águas residuárias, como os esgotos, as águas contaminadas com efluentes orgânicos ou inorgânicos. Esse processo é denominado de eletrocoagulação e é baseado em um fenômeno eletroquímico, que está associado à geração de um agente coagulante. O coagulante ao ser formado e, dependendo as condições do meio, ataca as partículas dissolvidas no líquido, aglomerando-as em tamanhos maiores que podem ser facilmente separadas de fase por um processo unitário (FERNANDES *et al.*, 2015).

Atualmente, devido à sua comprovada capacidade para remover de forma eficaz e sem gastos exorbitantes uma variedade extremamente diversificada de efluentes, por apresentar uma taxa de reação rápida, juntamente com a sua simplicidade de confecção e operação, a eletrocoagulação vem sendo aplicada e estudada de forma que seu processo seja cada vez mais otimizado em favor de se minimizarem o consumo de energia e maximizadas as taxas de remoção de poluentes (PALAHOUANE *et al.*, 2015).

A análise de patentes permite gerar informações que dão apoio ao levantamento do estado da técnica das tecnologias desenvolvidas utilizando a eletrofloculação para tratamento de efluentes. A partir do estado da técnica e do estado da arte disponível, tem-se a possibilidade de identificar os nichos e os estados de desenvolvimentos tecnológicos. A análise ajuda na compreensão de quais as tecnologias estão protegidas por patentes e, portanto, auxilia no aprimoramento ou no desenvolvimento de novas tecnologias

1.1 A Eletrocoagulação

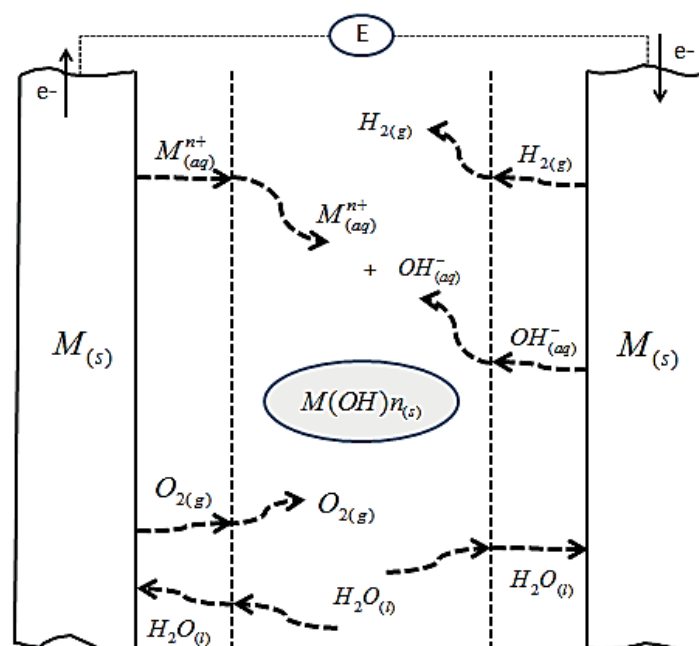
A primeira menção do uso de eletrólise para o tratamento de efluentes líquidos teve início nas últimas décadas do século XIX, quando Eugene Hermite (1822–1901) patenteou um processo de tratamento de efluentes, que consistia na mistura de água do mar com o esgoto bruto e na eletrólise da mistura para produzir cloro no ânodo, que por sua vez atuava como agente oxidante e bactericida. Entretanto, as instalações do processo Hermite, construídas na Inglaterra e França em 1890, foram desativadas posteriormente, por serem consideradas economicamente inviáveis (ANGELIS *et al.*, 1998). Já durante meio século seguinte, os Estados Unidos e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) realizaram extensas pesquisas acumulando um amplo conhecimento sobre novas tecnologias de tratamentos eletroquímicos.

Ultimamente vem despertando bastante interesse devido à sua simplicidade de operação e aplicação em diversos tipos de tratamento, a exemplo: em efluentes têxteis (BANSAL; KUSHWAHA; SANGAL, 2013), descoloração de águas residuárias contaminada com alaranjado de metila (WU Pi *et al.*, 2014), águas contaminadas com ácido salicílico oriundas da fabricação de produtos farmacêuticos (CHOU *et al.*, 2011), remoção de metal antimônio de águas residuárias de mineração (ZHU J *et al.*, 2011), águas residuárias contendo íons de Cr (VI) (YEHIA; EHSAN; IMAN, 2015), entre outros.

A eletrocoagulação consiste na aplicação de uma diferença de potencial entre um conjunto de eletrodos dispostos paralelamente, em um arranjo denominado de colmeia, que devem estar submersas no efluente a ser tratado. Os eletrodos mais utilizados são alumínio e ferro por serem de baixo custo comercial, fácil disponibilidade e não deixar coloração característica no efluente. Porém, outros materiais têm sido estudados, como: grafite, óxidos de titânio e rutênio, platina, além de cobre e zinco (MENESES *et al.*, 2012).

Na Figura 1 é apresentado o esquema ilustrativo do fenômeno da eletrocoagulação com eletrodos de metal M , com destaque para os eletrodos de sacrifício e o meio reacional, onde ocorre o fenômeno da eletrocoagulação, resultando na formação do $M(OH)_n$, que é um agente coagulante.

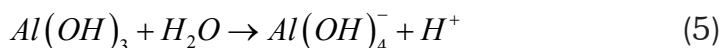
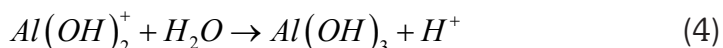
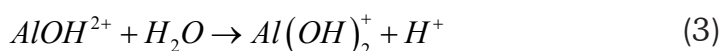
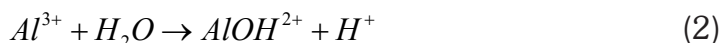
Figura 1 – Meio reacional do processo de eletrocoagulação



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

No reator eletroquímico, quando se aplica uma diferença de potencial na fonte de alimentação, gera-se uma corrente elétrica, que percorre todo o circuito de placas e o meio reacional. Como consequência, ocorre à oxidação do ânodo da célula, proporcionando a liberação dos cátions (ZHU *et al.*, 2011).

Para eletrodos de alumínio, o ânodo sofre oxidação liberando cátions do metal, que reage sucessivamente com as hidroxilas resultantes da hidrólise da água, formando compostos de alumínio, conforme se observa nas reações abaixo:



A hidrólise da água acontece à medida que o pH do meio reacional se eleva, formando inicialmente as espécies catiônicas e duplamente carregadas, seguida das espécies unicamente carregadas, até a formação do hidróxido de alumínio $Al(OH)_3$, que possui uma baixa solubilidade e precipita-se com valores intermediário de pH. Com a continuação do aumento do pH o $Al(OH)_3$ pode dá lugar a formação do ânion solúvel $Al(OH)_4^{-}$ que não é interessante para o processo. Segundo Zhu *et al.* (2016) o processo de eletrocoagulação se dá praticamente em quatro etapas: i) geração eletroquímica do agente coagulante; ii) adsorção; iii) neutralização; e iv) varredura.

Nesse contexto, este trabalho busca levantar as principais tecnologias relacionadas à eletrocoagulação aplicadas ao tratamento de efluentes, assim como as características técnicas. Para isso, a busca de informações em banco de patentes, aplicando procedimento sistemático por palavras-chave representativas do tema tecnológico, seguido pela análise das informações, vem sendo realizado nos trabalhos de prospecção, na etapa de monitoramento tecnológico.

1.2 Objetivo

O objetivo deste estudo foi realizar o levantamento do estado da técnica atual do tratamento de efluentes por eletrocoagulação a partir da aplicação sistemática do monitoramento de patentes para verificação do desenvolvimento tecnológico utilizando a plataforma Questel Orbit®.

2 Metodologia

O método de monitoramento tecnológico realizado neste estudo utiliza informações oriundas dos documentos de patentes, utilizando como principal ferramenta de busca a base de dados privada Questel Orbit®, na qual se teve acesso ao conjunto de todos os bancos de dados públicos, a exemplo, do United States Patent and Trademark Office (USPTO), European Patent Office (EPO), o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), entre outros.

A metodologia de pesquisa, empregada com o objetivo de mapear patentes no contexto da eletrocoagulação, consistiu em busca empregando palavras-chave e/ou classificação internacional de patentes (International Patent Classification – IPC) como entrada para a ferramenta Questel Orbit®. Inicialmente, buscou-se como palavras-chave “*eletrocoagulação*”, “*tratamento de água*” e “*alumínio*” nos campos título, resumo e palavras-chave, de forma a obter o maior número possível de documentos de 1998 a junho de 2018. Depois da análise de 56 documentos considerados como relevantes para o estudo, foram analisados com mais detalhe no

total: 21 patentes concedidas e 35 patentes solicitadas. A leitura dos documentos de patentes selecionadas foi realizada com o intuito de extração de informações em três níveis diferentes, a saber: Macro, Meso e Micro.

Análise no nível Macro consistiu em uma análise dos documentos de acordo com a série histórica de depósitos/publicações, a distribuição por países, por universidades, centros de pesquisa e empresas ligadas ao conhecimento científico e desenvolvimento da tecnologia, parcerias (internacionais e com empresas).

Na análise nível Meso os documentos foram categorizados de acordo com os aspectos mais relevantes em torno da eletrocoagulação, considerando as seguintes taxonomias:

- a) Processos e tecnologia: o efluente é bombeado para o interior do sistema reativo, liga-se o fornecedor de carga elétrica, mede-se a vazão de entrada e saída do reator ou cronometra-se o tempo necessário para se processar um volume do reator.
- b) Matéria-prima: eletrodos metálicos, energia elétrica, efluente contaminado.
- c) Equipamento: reatores eletroquímicos acoplado a um sistema fornecedor de cargas elétricas.
- d) Análise de caracterização: efluente tratado (DQO, DBO, sólidos totais, pH, turbidez, coliformes totais, entre outros).

Por fim, como análise nível Micro, foram identificadas as particularidades e detalhamentos de cada taxonomia da análise Meso. Cabe ressaltar que o mesmo documento pode estar incluído em mais de uma taxonomia.

3 Resultados e Discussão

Depois da realização das buscas e leitura do conteúdo dos documentos de patentes selecionados a partir da metodologia aplicada, as informações extraídas foram analisadas nos três níveis de análise.

3.1 Distribuição de Patentes

A primeira análise está relacionada à evolução da produção tecnológica em número de patentes por ano. É possível observar na Figura 2 que de 1998 a 2016 houve um crescimento médio linear de publicações, indicando o interesse contínuo dos autores pelo tema da eletrocoagulação. Uma quantidade significativa de documentos publicados é observada no período de 2011 a 2016, indicando a maturidade e interesse dos autores pelo tema da eletrocoagulação. De 2017 a 2018 não se observa crescimento no depósito e isso pode ter ocorrido por causa do período de sigilo, por isso os documentos ainda não estão disponíveis. Entretanto, essa justificativa só poderá ser confirmada com a observação do número de publicações nos próximos anos.

Figura 2 – Distribuição de patentes por ano de publicação

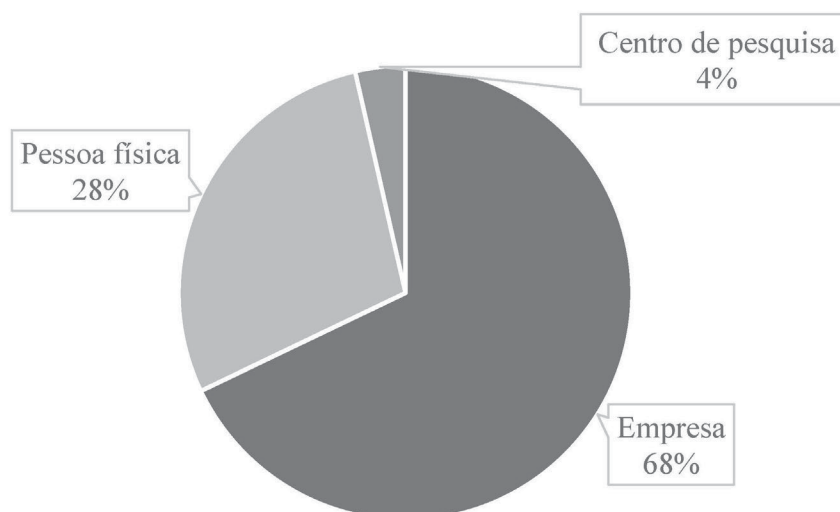


Fonte: Questel Orbit® (2018)

As instituições que desenvolvem tecnologias relacionadas à eletrocoagulação foram classificadas em empresas, universidades/centros de pesquisas e pessoa física, conforme se observa na Figura 3. Dentre essas, destacam-se 56 documentos de patentes, sendo que 68% daqueles são depósitos realizados por empresas, 28% por pessoa física e 4% por centro de pesquisa/universidades.

Apenas duas universidades ou centros de pesquisa estão relacionados com o estudo da eletrocoagulação, cada uma com uma patente publicada e concedida, a saber: Indian Institute of Technology Delhi e a Karunya University.

Figura 3 – Distribuição de patentes por tipo de instituição



Fonte: Questel Orbit® (2018)

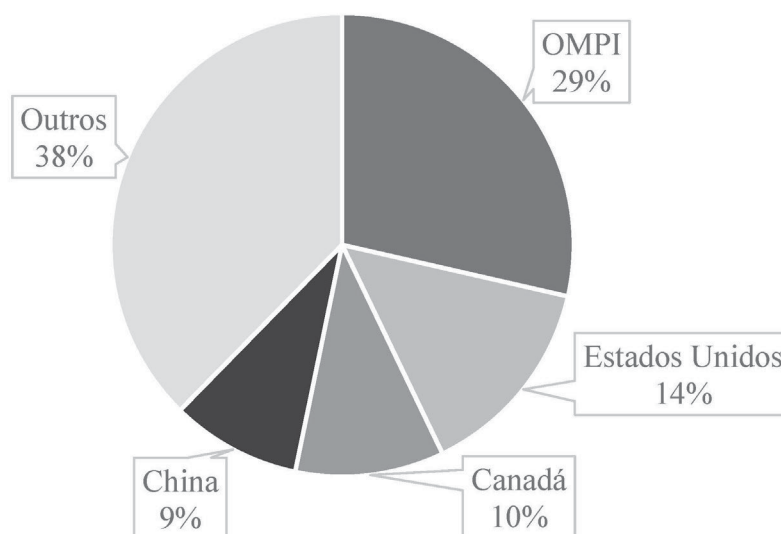
Em relação aos países/organizações de origem das instituições, a Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI ou WO) se destaca, com 29,57% do total de número de patentes. Na Figura 4, percebe-se uma concentração maior do desenvolvimento da eletrocoagulação nos

países desenvolvidos, mas também, nos que estão em crescente desenvolvimento, a exemplo da China.

O que tem levado esses países a investirem nessa tecnologia é o fato dela poder ser utilizada para a remoção de uma diversidade de efluentes contendo poluentes orgânicos, inorgânicos e até metais pesados. Outra característica é que a unidade para tratamento por eletrocoagulação é constituída por um sistema que ocupa pequeno espaço físico, em comparação com as formas tradicionais de tratamento de efluentes, que geralmente ocupam grandes áreas e são sistemas bem mais complexos. Além disso, com os baixos índices pluviométricos, que têm sido registrados em muitas regiões do mundo, reutilizar água tratada passou a ser prioridade para muitas empresas desses países.

No Brasil, a tecnologia da eletrocoagulação é um tema que tem sido bastante explorado no ambiente acadêmico, entretanto, no cenário empresarial, ainda não é uma tecnologia consolidada, mesmo com as vantagens expostas aqui, pois, segundo os pesquisadores, a grande demanda energética exigida no processo se torna o maior entrave para a implantação desses sistemas. Mas, alguns estudos já estão sendo realizados, buscando viabilizar o uso de energias renováveis, a exemplo da fotovoltaica e da eólica, para serem usadas nos sistemas de eletrocoagulação e, assim, esses sistemas possam tornar-se mais rentáveis economicamente.

Figura 4 – Distribuição de patentes por países depositantes



Fonte: Questel Orbit® (2018)

3.2 Características Tecnológicas

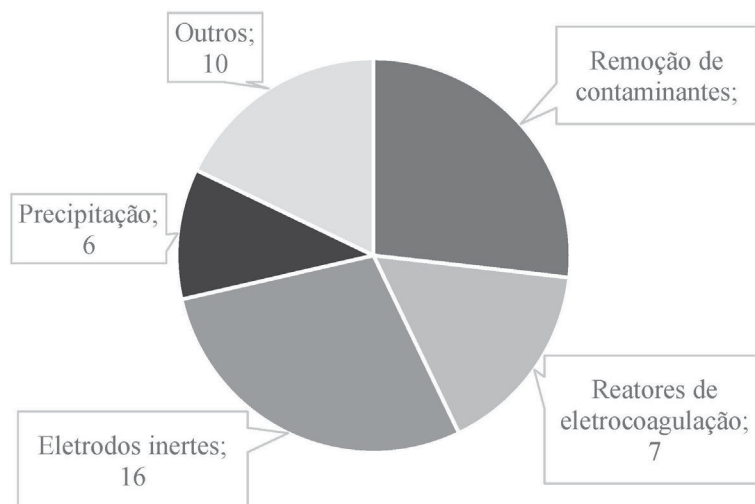
Foram identificadas quatro diferentes tecnologias relacionadas à eletrocoagulação e a distribuição por número de patentes, como mostra a Figura 5. Sobre os tipos de tecnologia da eletrocoagulação, pode-se destacar os estudos envolvendo *eletrodo inerte* e a *remoção de contaminantes*, apresentando 15 e 16 patentes, respectivamente.

No estudo da *remoção de contaminantes* destaca-se a busca dos autores em viabilizar a remoção de contaminantes específicos, como: orgânicos, inorgânicos e metais pesados, do meio

líquido, usando a eletroquímica como propulsora para a produção de coagulantes químicos. Já a tecnologia de *eletrodos inertes* é caracterizada pela utilização de eletrodo(s) de sacrifício (alumínio) com outros eletrodos mais resistentes à corrosão, sendo utilizados como cátodos ou ânodos, com o objetivo de aumentar a vida útil daqueles e conseqüentemente, o tempo de tratamento por eletrocoagulação. Além disso, há trabalhos em que se aplicam a tecnologia da *remoção de contaminantes* com o objetivo de avaliar a capacidade do sistema em remover mais de dois contaminantes no mesmo efluente.

Também foram encontrados nove documentos que envolvem a tecnologia de *reatores de eletrocoagulação*, que se caracteriza pela viabilização de projetos de reatores batelada, contínuos e semicontínuos para o tratamento eletroquímico de efluentes. E, por fim, destaca-se a tecnologia de *precipitação*, que é o estudo da formação do agente coagulante responsável pela coagulação das impurezas presentes no efluente, computando seis patentes.

Figura 5 – Distribuição de tecnologias da eletrocoagulação pelo número de documentos de patentes de 1998 a junho de 2018



Fonte: Questel Orbit® (2018)

As principais aplicações foram encontradas em três grupos e estão representadas na Figura 6. A principal aplicação mencionada à eletrocoagulação ocorre na área de *remoção de contaminantes*, sendo encontrados dez documentos de patentes, em que se aplicam a eletrocoagulação para o *tratamento de águas residuárias*. Dentre os trabalhos encontrados, destaca-se o de Yousif (2010), que desenvolveu um processo eletrolítico para a remoção de flúor em águas contaminadas, seus íons e radicais livres, além de reduzir a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

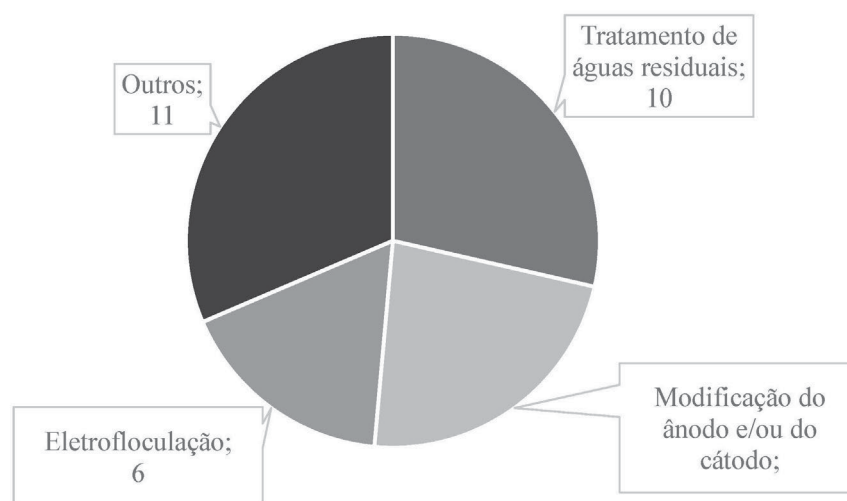
A segunda aplicação em destaque é a *modificação do ânodo e/ou do cátodo*, com oito documentos de patentes, que está caracterizada na tecnologia de *eletrodos inertes*. Os trabalhos observados dissertam sobre a utilização de um eletrodo resistente à corrosão em paralelo com um eletrodo de sacrifício – alumínio ou ferro – visando a reduzir a passivação do ânodo ou a polarização do cátodo, e conseqüentemente, prolongar a vida útil da célula eletroquímica.

A terceira aplicação em destaque está inserida na área da tecnologia de *reatores eletroquímicos*, denominada de *eletrofloculação*, cuja denominação é devido à soma dos processos de

eletrocoagulação com a eletroflotação, sendo identificados seis documentos de patentes. Destaca-se entre esses, o trabalho de Abderrazak e Abderrahmane (2018), que aplicou o processo de eletrocoagulação simultâneo à eletroflotação para a remoção de íons amônia e magnésio de efluentes líquidos em um reator eletroquímico.

Outras aplicações tecnológicas da eletrocoagulação são observadas na área da *metalúrgica dos materiais*, sendo destacada a aplicação dentro das Estações de Tratamento de Efluentes (ETE's), como alternativa para reduzir etapas do processo convencional de tratamento. Como dispositivo, a eletrocoagulação pode ser utilizada como uma grande unidade industrial, uma unidade portátil ou uma unidade adaptada para uso dentro de casa (ABDERRAZAK; ABDERRAHMANE, 2018).

Figura 6 – Distribuição dos tipos de processos mais relevantes aplicados à eletrocoagulação de 1998 a junho de 2018



Fonte: Questel Orbit® (2018)

4 Considerações Finais

A partir do estudo das patentes publicadas de 1998 a junho de 2018, pode-se obter o seguinte:

Analisando os depósitos por ano, verifica-se que houve um aumento gradual do número de tecnologias relacionadas com a eletrocoagulação, e o ano 2016 apresentou o maior número de depósitos de patentes.

Em relação aos países, observa-se que a OMPI/WO e os Estados Unidos aparecem em destaque no depósito de patentes. As empresas e pessoas físicas tiveram o maior número de depósitos.

Entre as tecnologias relacionadas à eletrocoagulação, as que mais se destacaram foram as de *eletrodos inertes e remoção de contaminantes*, somando 51,43% do total.

As aplicações da eletrocoagulação são amplas e estão em constante desenvolvimento, principalmente nas áreas *remoção de contaminantes* e fenômenos de superfície com o uso de

eletrodos inertes. Destaca-se também a sua grande importância dentro da área de tratamento de esgotos, como alternativa para reduzir etapas do processo convencional.

A principal matéria-prima utilizada para a produção/aplicação é a energia elétrica, com destaque também para o uso dos eletrodos de alumínio.

Em relação ao processo de eletrocoagulação, destaca-se a versatilidade para a remoção de diferentes tipos de contaminantes e a capacidade de integração com outros processos.

Referências

- ABDERRAZAK, B.; ABDERRAHMANE, D. Apparatus and method for wastewater treatment by means of electroflotation and/or electrocoagulation. **Technologies Elcotech**, [S.l.], 23 jul. 2012; 9 jan. 2018. n. WO 20045056 – 2.
- ANGELIS, D. F. *et al.* Eletrólise de resíduos poluidores. I – Efluente de uma indústria iofilizadora de condimentos. **Revista Química Nova**, Santa Catarina, n. 1, v. 21, p. 20–24. 1998.
- BANSAL, S.; KUSHWAHA, J. P.; SANGAL, V. K. Electrochemical treatment of reactive black 5 -textile wastewater: optimization, kinetics, and disposal study. **Water Environ**, [S.l.], v. 85, p. 2294–2306, 2013.
- CHOU, W. L. *et al.* Electrochemical removal of salicylic acid from aqueous solutions using aluminum electrodes, **Desalination**, [S.l.], v. 271, p. 55–61, 2011.
- FERNANDES, T. F. *et al.* Planta experimental para tratamento de efluente da produção do biodiesel. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA. 15 a 18 set. 2015, Fortaleza. **Anais...** Disponível em: <http://www.confex.org.br/media/Quimica_planta_experimental_para_tratamento_de_efluente_da.pdf>. Acesso em: 31 out. 2018.
- GOBBI, L. R. A. **Tratamento de água oleosa por eletrofloculação**. Espírito Santo: CUNES, 2013. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado na Universidade Federal do Espírito Santo.
- MENESES, J. M. *et al.* Treatment of biodiesel wastewater by electrocoagulation/flotation process: investigation of operational parameters. **Revista Química Nova**, Santa Catarina, v. 35, n. 2, p. 235–240, 2012.
- PALAHOUANE, B. *et al.* Cost-effective electrocoagulation process for the remediation of fluoride from pretreated photovoltaic wastewater. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, [S.l.], v. 22, p. 127–131, 2015.
- QUESTEL ORBIT. **Orbit Intelligence**. Disponível em: <<https://www32.orbit.com/>>. Acesso em: jun. 2018.
- WU PI, K. *et al.* Decolorization of synthetic Methyl Orange wastewater by electrocoagulation with periodic reversal of electrodes and optimization by RSM. **Process Safety and Environmental Protection**, [S.l.], v. 92, n. 6, p. 796–806. 2014.
- YEHIA, A. EL-T.; EHSSAN, M. N.; IMAN, E. D. S. Removal of Cr (VI) ions from wastewater by electrocoagulation using iron electrode. **Egyptian Journal of Petroleum**, [S.l.], v. 24, p. 183–192. 2015.

YOUSIF, H. R. Electrolytic process for removing fluorides and other contaminants from water. 23 nov. 2006, 3 mar. 2010. n. EP 2158163.

ZHU, H. *et al.* Polyacrylamide grafted cellulose as an eco-friendly flocculant: Key factors optimization of flocculation to surfactant effluent, **Carbohydrate Polymers**, [S.l.], v. 135, p. 145–152. 2016.

ZHU, J. *et al.* Removal of antimony from antimony mine flotation wastewater by electrocoagulation with aluminum electrodes. **Journal of Environmental Sciences**, [S.l.], v. 23, n.7, p. 1066–1071. 2011.

Sobre os autores

Thalys de Freitas Fernandes

E-mail: thalys.fernandes@eq.ufcg.edu.br

Doutorando em Engenharia Química, pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG); mestre e graduado em Engenharia Química, pela (UFCG).

Endereço profissional: Rua Aprígio Veloso, 882 – Universitário, Campina Grande, PB. CEP: 58429-900.

Caio Cefas da Nóbrega Souza

E-mail: caio.cefas@eq.ufcg.edu.br

Mestre e graduado em Engenharia Química, pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Endereço profissional: Rua Aprígio Veloso, 882 – Universitário, Campina Grande, PB. CEP: 58429-900.

Gerônimo Barbosa Alexandre

E-mail: geronimo.alexandre@garanhuns.ifpe.edu.br

Mestre em Engenharia de Automação e Controle Industrial, pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG); especialista em Eficiência energética, pela UFCG/PRH42/ANP; e graduado em Engenharia Elétrica, pela UFCG.

Endereço profissional: Rua Pe. Agobar Valença, S/N – Severiano de Moraes Filho, Garanhuns, PE. CEP: 55299-390.

José Nilton Silva

E-mail: nilton@eq.ufcg.edu.br

Doutor e mestre em Engenharia Química, pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), licenciado em Química, pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB); e bacharel em Engenharia Química, pela UFCG.

Endereço profissional: Laboratório de Integrado de Engenharia e Processo. Rua Aprígio Veloso, 882 – Universitário, Campina Grande, PB. CEP: 58429-900.