



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE / DEPARTMENT OF
ENGENHARIA QUÍMICA E BIOLÓGICA

Otimização do processo de tratamento do efluente líquido de uma indústria de mobiliário por eletrocoagulação

Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em / to fulfill
the Master's degree in Engenharia Química e Biológica

Autor / Author

André Seguro de Almeida

Orientador / Advisor

Luís Miguel Moura Neves de Castro

Coimbra, outubro de 2024



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

RESUMO

Uma água residual (ou efluente) resultante da produção industrial de mobiliário, com grandes quantidades de acetato de polivinilo (PVAc) e outros poluentes, é atualmente tratada com a adição de químicos e floculantes, em grandes quantidades, segundo um método clássico, a coagulação química. Este tratamento promove a formação de uma fase sólida (lamas) e de uma fase líquida (clarificado) que podem ser separadas. O presente trabalho é a continuação de um estudo previamente realizado, e tem como objetivo determinar as condições ideais para o tratamento do mesmo efluente por um processo de eletrocoagulação (EC), uma tecnologia de tratamento mais recente, que apenas necessita de energia elétrica para a remoção de poluentes. Os parâmetros caracterizadores do efluente abordados com maior importância são a carência química de oxigénio (CQO), os sólidos e o ferro total.

Para a otimização do processo de EC, efetuada com elétrodos de ferro e aço inoxidável, foram realizadas experiências em escala de bancada (*bench*), verificando-se quais as melhores condições de operação: i) método de agitação da suspensão no interior do reator; ii) densidade de corrente tendo-se testado quatro alternativas (25, 38,1; 50 e 100 A/m²) e iii) pH de operação, condicionado pelo pH inicial do efluente, para os quais foram testados três intervalos (6,2 a 6,3; 7,1 a 7,2 e 8,2 a 8,3). Os resultados mostraram que o tratamento ideal do efluente estudado utilizava uma corrente elétrica contínua com agitação por arejamento, densidade elétrica de cerca de 38,1 A/m² e pH inicial alcalino (8,2 a 8,3), garantindo uma condutividade elétrica (σ) elevada (acima de 2000 μ S/cm). O tratamento otimizado permite a remoção média de 96 % da CQO, obtendo-se um efluente tratado transparente e quase incolor, e um menor volume de lamas com maior capacidade de compactação.

Como complemento ao estudo elaborado, foi realizada a avaliação económica do sistema de tratamento de escala *bench*, recorrendo a um método que pode ser diretamente aplicável num sistema de maiores dimensões. Os custos associados ao tratamento com a melhor eficiência de remoção foram também os mais acessíveis, com um custo de consumo de energia elétrica de 0,1074 €/m³ e o custo de perda de elétrodos de 0,3496 €/m³, ambos calculados em função do volume de efluente tratado.

Foi ainda selecionado, adaptado e descrito um método de aumento de escala (*scale-up*) do sistema contínuo de tratamento. Este foi baseado na razão da área superficial dos elétrodos oxidados e o volume de suspensão no reator. Como forma de teste, foi realizado um exercício teórico, tendo como premissa a projeção de uma unidade industrial que tratava 10 metros cúbicos de efluente industrial por dia.

A eletrocoagulação *per se* não permite cumprir os VLE, mas a sua mistura com o efluente doméstico já possibilita a conformidade com os valores estabelecidos pela entidade gestora que deverão ser atingidos na última caixa de visita antes da descarga na rede de saneamento. Assim, os resultados obtidos permitem concluir que o

efluente tratado estaria em condições de ser descarregado na rede de saneamento que serve a unidade fabril que foi objeto de estudo.

Do trabalho realizado, pode concluir-se que a eletrocoagulação poderá constituir uma boa alternativa ao tratamento clássico por coagulação química, uma vez que permite não apenas melhores resultados em termos de qualidade final do efluente, mas também a custos mais reduzidos.

Palavras-Chave: água residual da indústria de mobiliário, carência química de oxigénio (CQO), clarificado, coagulação química, densidade de corrente, eletrocoagulação (EC), escala *bench*, lamas, suspensão, *scale-up*

ABSTRACT

Wastewater (or effluent) resulting from industrial furniture production, containing large quantities of polyvinyl acetate (PVAc) and other pollutants, is currently treated by adding chemicals and flocculants in large quantities using a classical method called chemical coagulation. This treatment leads to the formation of a solid phase (sludge) and a liquid phase (clarified effluent) that can be separated. The present work is a follow-up from a previously conducted study, aiming to determine the optimal conditions for treating the same effluent using an electrocoagulation (EC) process. EC is a more recent treatment technology that requires only electrical energy for pollutant removal. The effluent characterization parameters addressed with greater importance are chemical oxygen demand (COD), solids, and total iron.

To optimize the EC process, with iron and stainless-steel electrodes, bench-scale experiments were conducted. These experiments aimed to determine the best operating conditions: i) mixing method of the suspension inside the reactor; ii) current density, with four alternatives tested (25, 38.1, 50, and 100 A/m²); and iii) operating pH, conditioned by the initial pH of the effluent, for which three ranges were tested (6.2 to 6.3, 7.1 to 7.2, and 8.2 to 8.3). The results showed that the ideal treatment of the studied effluent used a continuous electric current, mixing promoted by aeration, an electric density of about 38.1 A/m², and an initial alkaline pH (8.2 to 8.3), ensuring high electrical conductivity (σ) (above 2000 μ S/cm). The optimized treatment allows for an average removal of 96% of COD resulting in a transparent and nearly colorless treated effluent. Additionally, it led to a reduced volume of sludge with improved compactness capability.

As a complement to the study, an economic evaluation of the bench-scale treatment system was also made, resorting to a method that could be directly applied on larger-scale systems. The costs associated with the most efficient removal method were also the most affordable, with an energy consumption cost of 0.1074 €/m³ and an electrode loss cost of 0.3496 €/m³, both calculated based on the volume of treated effluent.

A scale-up method for the continuous treatment system was also selected, adapted, and described. This method was based on the ratio of the surface area of the oxidized electrodes to the volume of suspension in the reactor. As a test, a theoretical exercise was carried out, assuming the projection of an industrial unit treating 10 cubic meters of industrial effluent per day.

A method for scaling up the continuous treatment system was also selected, adapted, and described. This was based on the ratio of the oxidized electrode surface area to the volume of suspension in the reactor. As a test, a theoretical exercise was conducted, with the premise of designing an industrial unit that treated 10 cubic meters of industrial effluent per day.

Electrocoagulation by itself does not meet the discharge limits, but when mixed with domestic effluent, it can comply with the values set by the management authority, which should be achieved in the final inspection chamber before discharge into the sewer system. Therefore, the results obtained indicate that the treated effluent would be suitable for discharge into the sewer system serving the manufacturing facility that was studied.

From the work carried out, it can be concluded that electrocoagulation may be a good alternative to classical chemical coagulation treatment, as it not only provides better results in terms of the final quality of the effluent but also at lower costs.

Key words: industrial furniture production's wastewater, chemical oxygen demand (COD), clarified effluent, chemical coagulation, current density, effluent, electrocoagulation (EC), bench scale, sludge, suspension, pH, scale-up