

OZONIZAÇÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE CURTUME PARA AUMENTO DE BIODEGRADABILIDADE

Júlia Dutra de Azevedo – juliadazevedo@hotmail.com
Unisinos, Engenharia Química
Avenida Unisinos, 950
93.022-750 – São Leopoldo – Rio Grande do Sul

Patrice Monteiro de Aquim – patrice@feevale.br
Universidade Feevale, Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais
ERS-239, 2755
93525-075 – Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul

Éverton Hansen – evertonhansen@unisinos.br
Unisinos, Engenharia Química
Avenida Unisinos, 950
93.022-750 – São Leopoldo – Rio Grande do Sul

Resumo: O beneficiamento do couro engloba diversas etapas de processamento, as quais utilizam um grande volume de água e de produtos químicos para obtenção do produto desejado, gerando efluentes líquidos. O efluente de curtume apresenta elevada carga orgânica, com sulfetos, cromo, corantes, recorrentes e outros contaminantes, o que dificulta o seu tratamento e adequação aos padrões de lançamento no corpo receptor. O processo de tratamento do efluente de curtume consiste das etapas de pré-tratamento, tratamento primário (processos físico-químicos) e tratamento secundário (processo biológico para remoção da carga orgânica). Os processos biológicos, embora sejam técnicas de tratamento econômicas e sustentáveis, não apresentam alta eficiência na remoção de alguns compostos orgânicos recalcitrantes. Logo, buscaram-se tecnologias alternativas, como a técnica de ozonização associada ao processo biológico, para aumentar a eficiência do tratamento. Este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação da ozonização como uma técnica complementar ao tratamento biológico dos efluentes de curtume, verificando se esta técnica contribui para o aumento da biodegradabilidade destes efluentes. Foram avaliadas diferentes condições de pH (4, 7 e 11) e tempos de ozonização (20, 40 e 60 minutos) sobre o aumento da biodegradabilidade. Para acompanhar a eficiência do tratamento, foram realizados ensaios de DBO, DQO, cor e cromo hexavalente. Os resultados apontam que a técnica de ozonização contribuiu para o aumento da biodegradabilidade e pode ser aplicada como complemento ao tratamento biológico de efluentes líquidos de curtume, transformando matéria orgânica recalcitrante em matéria orgânica biodegradável, melhorando a qualidade do efluente tratado e contribuindo para o pilar ambiental do ESG. Verificou-se que o pH influencia diretamente o processo de ozonização, e que pHs alcalinos contribuem para o maior aumento de biodegradabilidade e redução da cor do efluente.

Palavras-chave: Curtume; Efluente de curtume; Tratamento de efluentes; Ozonização; Biodegradabilidade.



OZONIZATION OF TANNERY WASTEWATER TO INCREASE BIODEGRADABILITY

Abstract: The leather production consists of several processing steps, which use a large volume of water and chemicals to obtain the desired product, generating wastewater. Tannery wastewater presents a high organic load, with sulfides, chromium, dyes, retanning agents, and other contaminants that make it difficult to treat and achieve the emission standards. The tannery wastewater treatment consists of pre-treatment steps, primary treatment (physical-chemical processes), and secondary treatment (biological process to remove the organic load). Although biological processes are economical and sustainable techniques, they do not present high efficiency to remove recalcitrant organic compounds. Alternative technologies are pursued, such as ozonation associated with biological process, to increase treatment efficiency. Thus, this work aimed to evaluate the application of ozonation as a complementary technique to the biological treatment of tannery wastewater, verifying whether this technique contributes to increasing the biodegradability of these effluents. Different pH conditions (4, 7 and 11) and ozonation times (20, 40 and 60 minutes) were evaluated. To monitor the efficiency of the treatment, BOD, COD, color and hexavalent chromium tests were carried out. The ozonation technique contributed to increased biodegradability and can be applied as a complement to the biological treatment of tannery wastewater, transforming recalcitrant compounds into biodegradable compounds, contributing to the environmental pillar of ESG. pH directly influences the ozonation process, and alkaline pHs contribute to a higher increase in biodegradability and a reduction in the color of the wastewater.

Keywords: Tannery; Tannery wastewater; Wastewater treatment; Ozonation; Biodegradability.

1. INTRODUÇÃO

A indústria do couro destaca-se como uma importante atividade comercial no Brasil e no mundo com uma significativa participação na economia nacional. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de couro e apresenta o maior rebanho bovino comercial do mundo, exportando para 80 países e movimentando bilhões de dólares ao ano (CICB, 2021).

Nesse contexto, o Rio Grande do Sul lidera o ranking de exportação do país, com destaque para a região do Vale dos Sinos, responsável pela maior produção e exportação gerada no estado. Segundo a Associação das Indústrias de Curtume do Rio Grande do Sul (AICSUL, 2021), o estado gaúcho destaca-se mundialmente pela qualidade do seu produto, bem como pela alta capacidade de atender o mercado nacional e internacional.

O curtume é a unidade industrial que visa transformar a pele verde ou salgada em couro para comercialização, contemplando uma cadeia de processos físicos e químicos que visa a obtenção do produto desejado. O curtimento é a técnica responsável por tornar a pele natural do animal em material resistente a diversos efeitos do ambiente como degradação por microrganismos, calor, suor e umidade. Isto posto, a atividade dos curtumes é fundamental, visto que materiais sintéticos não possuem estas propriedades do couro. Além da ampla aplicação em diversos setores industriais (como vestuário, calçados, automobilístico e moveleiro), os curtumes processam um subproduto proveniente de outra atividade industrial: a pecuária de corte. Desta maneira, a relevância da indústria do couro também é fundamentada pela utilização de resíduos de outro setor econômico como matéria-prima. (AMARAL, 2008).



No entanto, apesar de ser uma atividade essencial para a manutenção da economia e da sociedade, o curtume é considerado um dos setores industriais mais poluentes em termos de volume e complexidade dos efluentes gerados. De acordo com o Guia Técnico Ambiental de Curtumes (CETESB, 2015), as indústrias do couro utilizam cerca de 12 a 37 m³ de água por tonelada de pele processada para obtenção do couro. Contudo, estes valores, bem como a carga poluidora gerada nas operações de tratamento, variam em função das diferentes técnicas de processamento, matérias-primas utilizadas e produtos obtidos.

O efluente de curtume apresenta elevadas cargas orgânicas, sulfetos, corantes, cromo, taninos, dentre outros compostos com alto poder poluente. Estes resíduos industriais contêm não só nutrientes que favorecem o tratamento biológico, mas também contaminantes pouco biodegradáveis (como corantes e taninos) que dificultam esse processo. Diante disso, os processos biológicos, embora sejam técnicas economicamente vantajosas de tratamento de matéria orgânica, não apresentam resultados eficientes na remoção de alguns compostos orgânicos e micro poluentes em efluentes de curtimento, logo, tornam-se complexas as operações de tratamento deste resíduo, bem como a sua adequação aos padrões de lançamento deste no meio receptor. (LOFRANO et al., 2013).

Dessa maneira, devido à difícil eliminação destes contaminantes através de tratamentos convencionais de efluentes, buscaram-se novas técnicas de tratamento e, nesse contexto, os avanços das tecnologias alternativas para a remediação de efluentes, dentre elas os processos oxidativos avançados (POA's), vêm contribuindo para a redução da poluição ambiental (LOFRANO et al., 2013). Nesse viés, a técnica de ozonização, associada ao tratamento biológico, apresenta-se como uma alternativa promissora no que diz respeito à descoloração, nas remoções de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), sólidos suspensos totais (SST) e carbono orgânico total (COT), bem como no aumento da biodegradabilidade dos compostos contaminantes presentes no efluente do curtume. O ozônio é um agente oxidante capaz de reagir com uma ampla diversidade de compostos, tendo como vantagem a não geração de resíduos (lodos) durante o processo. (ANDRIOLI; MELLA; GUTTERRES, 2014; MELLA, et al., 2018). Desta forma, este estudo tem como objetivo avaliar o uso da técnica de ozonização no tratamento de efluentes brutos de curtume, verificando se esta técnica contribui para o aumento da eficiência do tratamento biológico frequentemente aplicado pelos curtumes, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos e com o pilar ambiental do ESG.

2. METODOLOGIA

2.1. Coleta e preservação do efluente industrial

O efluente utilizado nesta pesquisa foi fornecido por um curtume localizado na cidade de Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul. A empresa recebe o couro *wet blue* como matéria-prima e emprega os processos de pré-acabamento e acabamento final no couro.

Os efluentes gerados neste curtume, tanto industriais, quanto sanitários, são encaminhados para a estação de tratamento localizada na própria empresa. A série de etapas de tratamento do efluente gerado no curtume consiste em homogeneização, coagulação/floculação, tratamento biológico aeróbio, flotação e descarte no corpo hídrico.

Neste estudo, foram coletados aproximadamente 25 litros de efluente. A coleta da amostra (efluente bruto) ocorreu na corrente de entrada do tanque aerador (após a etapa de coagulação/floculação antes do tratamento biológico). As amostras coletadas foram preservadas em frascos de polietileno, previamente higienizados, e resfriadas a 4°C em geladeira. Segundo a norma NBR 9898 (1987), as amostras têm o seguinte prazo para análise: 24 horas para Cromo VI, 48 horas para cor e 7 dias para DQO e DBO.



2.2. Tratamento do efluente de curtume com ozônio

O método de tratamento complementar do efluente de curtume consistiu em um sistema composto por uma bomba de vácuo, um frasco kitassato com capacidade de 2 litros e o ozonizador (OZ Engenharia) com capacidade de gerar $4,6 \pm 2,6 \text{ mgO}_3/\text{min}$. Para quantificar a produção de ozônio no gerador foi empregado o método iodométrico 4500 (SMEWW, 2005), em triplicata. O ozônio produzido pelo gerador foi alimentado continuamente, sendo borbulhado no efluente. Os experimentos foram realizados em temperatura ambiente e sistema semi batelada, com alimentação contínua de ozônio no reator, preenchido com efluente bruto. A Figura 1 apresenta o método aplicado para a ozonização do efluente.

Figura 1 – Método aplicado para a ozonização do efluente bruto.



O primeiro experimento consistiu em analisar a melhor condição de pH para a ozonização. Foram realizados experimentos de ozonização por um período de 20 minutos nos pHs 4, 7 e 11. Estas amostras foram denominadas A4-20, A7-20 e A11-20, respectivamente. O pH foi ajustado utilizando soluções de HCl e NaOH. A DBO, DQO e cor efluente foi avaliada para os experimentos realizados em cada valor de pH. Após determinar o melhor valor de pH para a ozonização, foram testados os tempos de ozonização de 20, 40 e 60 minutos sob a melhor condição de pH encontrada. Estas amostras foram denominadas A11-20, A11-40 e A11-60, respectivamente. Todos os experimentos foram realizados em duplicata.

2.3. Análises físico-químicas

A caracterização dos efluentes bruto e tratado envolveram as seguintes análises físico-químicas: DBO, DQO, cor e cromo hexavalente. A análise de DBO foi realizada de acordo com o método $\text{DBO}_5 - 5210$ (SMEWW, 2005). O método consiste na incubação da amostra a 20°C por 5 dias. O oxigênio dissolvido é determinado inicialmente e depois da incubação, e a DBO é determinada pela diferença entre o oxigênio dissolvido inicial e final.

A DQO foi determinada adicionando 100 mL de amostra em um erlenmeyer de 250 mL, além de 5 e 10 mL de H_2SO_4 1:3 e KMnO_4 , respectivamente. Em seguida, o sistema foi levado ao aquecimento e mantido em fervura lenta por 10 minutos. Decorrido o período de aquecimento, a amostra foi resfriada por 1 minuto e foram adicionados 15 mL de ácido oxálico N/80. Por fim, a solução foi titulada com permanganato de potássio até ser atingida uma coloração rósea persistente.

A análise de cor das amostras de efluente foi realizada utilizando colorímetro da marca Merck, modelo Spectroquant[®] Multy. A concentração de cromo VI no efluente foi determinada via método espectrofotométrico. A primeira etapa da análise foi construir a curva de calibração, a partir da solução padrão de 5 ppm de cromo VI, ajustando o pH até $1 \pm 0,3$ com H_2SO_4 e adicionando solução de difenilcarbazida para o desenvolvimento do complexo corado. Após o desenvolvimento da curva de calibração, foi determinada a concentração de cromo VI na amostra de efluente ozonizada fazendo a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda 540 nm.

2.4. Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados por Análise de Variância (ANOVA) de uma via seguida do teste *post hoc* de Tukey, e foram considerados significativos quando $p < 0,05$. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software GraphPad Prism.

3. RESULTADOS

3.1. Efeito da ozonização sobre a carga orgânica do efluente de curtume

As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados de DBO e DQO, respectivamente, obtidos para as amostras de efluente bruto e ozonizadas em diferentes pHs (a) e tempos de processo (b).

Figura 2 - DBO das amostras em relação ao pH (a) e tempo de ozonização (b).

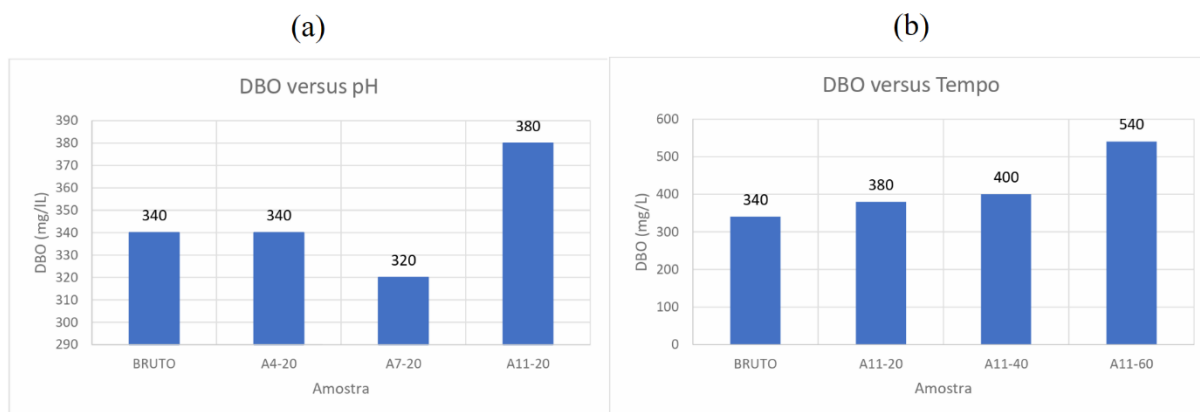
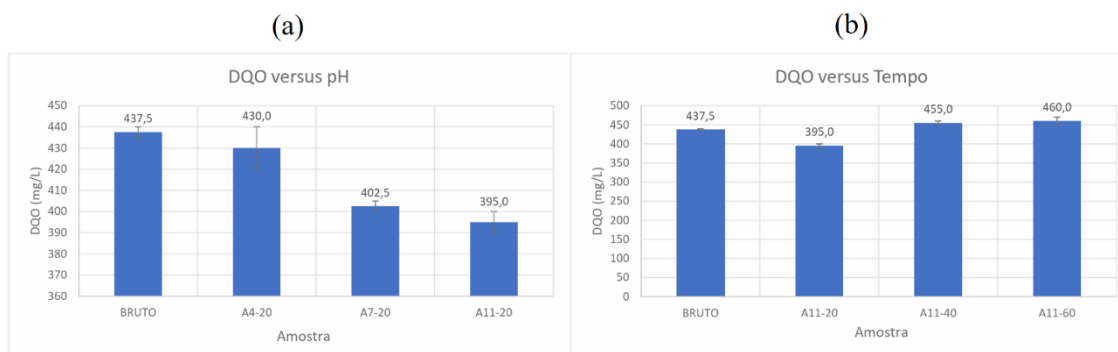


Figura 3 - DQO das amostras em relação ao pH (a) e tempo de ozonização (b).



A amostra bruta de efluente encontrava-se com pH 8,42 e apresentou uma DBO de 340 mg/L (Figura 2a). Para este parâmetro, não foi observada alteração na DBO obtida para o efluente bruto e a amostra ozonizada com pH 4 (A4-20) (Figura 2a). A menor DBO foi observada no pH 7 (Figura 2a), onde foi encontrada uma redução de 5,9% em relação ao efluente bruto. As análises realizadas na maior condição de pH (pH 11) obtiveram resultados de DBO superiores à amostra original (Figura 2a). Este comportamento já foi verificado na literatura. Silveira (2009) identificou aumento na DBO de efluentes de celulose após aplicação de ozonização. O aumento da DBO após a ozonização está relacionado a um aumento da biodegradabilidade do efluente, visto que possivelmente houve a transformação de matéria orgânica recalcitrante em matéria orgânica biodegradável. Em comparação com a amostra original, o aumento da DBO foi de 11,8%, 17,7% e 58,8% para os tempos de ozonização de 20, 40 e 60 minutos (Figura 2b), respectivamente. Isto posto, o tempo de ozonização influenciou diretamente os resultados de DBO e contribuiu para o aumento da presença de compostos biodegradáveis no efluente.

Considerando o comportamento de aumento da DBO e sua relação com um possível aumento na biodegradabilidade do efluente, observa-se que o experimento realizado em pH 11 foi o que apresentou maior conversão de compostos recalcitrantes em compostos biodegradáveis. Estes valores elevados de DBO podem estar relacionados à maior capacidade oxidante do ozônio quando em pH alcalino. Conforme Mahmoud e Freire (2007), em condições ácidas o ataque direto do ozônio molecular (O_3) predomina, enquanto sob condições alcalinas o mecanismo de reação que prevalece é o ataque indireto (reações com o radical hidroxila). Desse modo, o pH básico é mais eficiente e favorece a biodegradabilidade do efluente.

Com relação à DQO, o efluente bruto apresentou resultado de 437,5 mg/L (Figura 3a), acima do resultado de DBO (340 mg/L). Oliveira (2017) explica que a DQO representa a demanda de oxigênio necessária para que ocorra a degradação da matéria orgânica e inorgânica presente no efluente, enquanto a DBO apenas considera a parcela orgânica biodegradável. Este resultado é justificado devido ao uso de produtos químicos com estrutura molecular complexa na produção do couro, como corantes, óleos e taninos, produzindo um efluente com baixa biodegradabilidade (MELLA et al., 2018). Observou-se que, nas amostras ozonizadas por 20 minutos em diferentes pHs, o aumento do pH resultou na redução da DQO (Figura 3a). Essa remoção de DQO, bem como o aumento da DBO (Figura 2a) corrobora com a hipótese de que a matéria orgânica recalcitrante foi convertida a matéria orgânica biodegradável durante a ozonização. Em comparação com a amostra de efluente bruto, as remoções de DQO foram de 1,7%, 8,0% e 9,7% para os pHs 4, 7 e 11, respectivamente. A ANOVA indicou diferença significativa entre os pHs utilizados na ozonização ($p=0,0170$). O teste *post hoc* de Tukey apontou que houve diferença significativa na DQO dos testes com pH 7 e 11 em comparação com o efluente bruto ($p<0,05$), indicando que estes seriam os melhores pHs para o tratamento do efluente com ozônio. Segundo Preethi (2009), o poder oxidante do ozônio está diretamente relacionado com o pH do efluente, visto que os radicais hidroxila são formados por essa decomposição sob condições alcalinas.

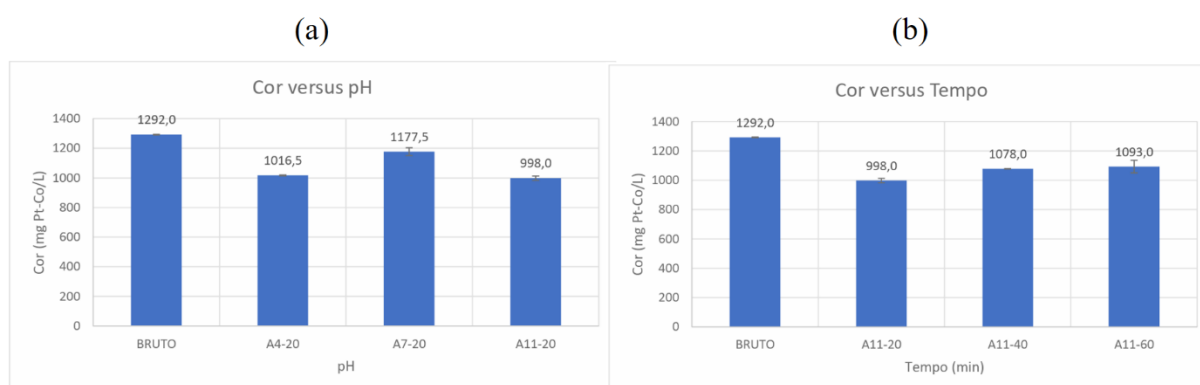


Beltrán (2004) afirmou que as reações radiculares são capazes de promover um ataque a compostos orgânicos 106 a 109 vezes mais rápido que diversos agentes oxidantes, como peróxido de hidrogênio e ozônio. Os resultados de DQO em função do tempo de ozonização (Figura 3b) não apresentaram diferença significativa entre as concentrações de DQO obtidas para efluente bruto e os efluentes submetidos a diferentes tempos de ozonização.

3.2. Efeito da ozonização sobre a cor do efluente de curtume

A Figura 4 apresenta os resultados para a análise de cor em diferentes pHs (a) e tempos (b) de ozonização. O valor médio encontrado na análise de cor para o efluente bruto, coletado após o estágio primário de tratamento, foi de 1292 mg/L. Segundo Pacheco (2005), esta cor observada está relacionada principalmente aos processos de tingimento do couro. A maior remoção de cor foi observada na amostra A11-20 (redução de 22,8%), apresentando diferença significativa com relação aos demais pHs ($p < 0,01$). A maior redução de cor em pH básico também deve estar relacionada ao mecanismo indireto de reação, com a atuação dos radicais hidroxila (Preethi, 2009). De acordo com a análise estatística, houve diferença significativa entre a cor do efluente bruto e a cor dos efluentes ozonizados em todos os pHs ($p = 0,0005$), confirmando que a ozonização promoveu redução significativa deste parâmetro. Para o tempo de ozonização, houve diferença significativa na cor encontrada no efluente bruto em comparação com a cor identificada nos efluentes tratados, com presença de cor significativamente menor nos efluentes tratados ($p < 0,05$). No entanto, não houve diferença significativa na remoção de cor quando os diferentes tempos de ozonização foram comparados (20, 40 e 60 minutos).

Figura 4 - Cor das amostras em relação ao pH (a) e tempo de ozonização (b).



3.3. Efeito da ozonização sobre a presença de cromo VI no efluente tratado

Para a amostra de efluente em que foi encontrada a maior biodegradabilidade (efluente com pH 11 e com 60 minutos de ozonização), foi realizada uma análise de cromo VI. Esta análise tinha por intuito verificar se o processo de ozonização poderia provocar oxidação do cromo presente no efluente do curtume, já que sais de cromo III são utilizados nas etapas de curtimento e recurtimento do couro. A oxidação do cromo III para cromo VI é problemática já que o cromo VI é bioacumulativo, altamente tóxico, mutagênico e cancerígeno para humanos (FUCK et al., 2011). A análise de cromo VI realizado no efluente após sua ozonização em pH 11 por 60 minutos resultou em 0,037 ppm. Segundo a Resolução CONSEMA N° 355 (2017), a concentração deste poluente deve ser igual ou inferior a 0,1 ppm para que



o efluente possa ser lançado no corpo receptor. O resultado encontrado mostra que a ozonização não produziu cromo VI acima do valor de referência estabelecido pela legislação.

Vale ressaltar que a amostra foi coletada ao final da etapa de tratamento primário, que visa precipitar quimicamente o cromo presente no efluente. Logo, recomenda-se que a ozonização seja implementada após o processo primário de tratamento do efluente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi possível avaliar o efeito da ozonização sobre a carga orgânica e a biodegradabilidade do efluente de curtume. Com base nos resultados apresentados, verificou-se que a técnica de ozonização contribuiu para o aumento da biodegradabilidade, reduzindo a DQO do efluente em até 9,7% e aumentando a sua DBO em até 58,8% devido à transformação de matéria orgânica recalcitrante em matéria orgânica biodegradável. Os resultados mostram que a ozonização pode ser aplicada de forma complementar ao tratamento biológico de efluentes líquidos de curtume, alcançando maiores eficiências de tratamento e contribuindo para o pilar ambiental do ESG.

Observou-se que o pH influencia diretamente o processo de ozonização. De acordo com os resultados das análises físico-químicas, percebe-se que em pH 11 ocorreu o maior aumento de biodegradabilidade e redução da cor do efluente, apresentando diferenças significativas em comparação aos demais pHs testados. Este resultado está relacionado à liberação de radicais hidroxila em pH alcalino, que são mais oxidantes do que o ozônio molecular (composto oxidante que predomina em pH ácido).

Por fim, a análise de cromo hexavalente mostrou que o efluente ozonizado não ultrapassa a legislação para o lançamento de efluentes líquidos no estado do Rio Grande do Sul. Isso indica que a ozonização do efluente não provocou oxidação do cromo III a cromo VI suficiente para ultrapassar o padrão de lançamento. É importante salientar que o efluente utilizado no presente estudo foi coletado após a etapa de remoção físico-química do cromo presente no efluente, visando justamente evitar a formação de cromo hexavalente.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPERGS.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Luciani Alano. **Alternativas para o tratamento de resíduos de couro curtido ao cromo: hidrólise enzimática e ação bacteriana**, Brasil. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2008.

ANDRIOLI, E.; MELLA, B.; GUTTERRES, M. A tecnologia de ozonização no tratamento de efluentes de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA – COBEQ, 20., 2014, Florianópolis.

ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DE CURTUME DO RIO GRANDE DO SUL (AICSUL). **RS lidera exportações brasileiras de couro**. Novo Hamburgo, 2021. Disponível em: <<http://www.aicsul.com.br/-20-21-31>>.

BELTRÁN, Fernando J. **Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater Systems**. 1. ed. Badajoz: Lewis Publishers, 2004.



CENTRO DAS INDÚSTRIAS DE CURTUMES DO BRASIL (CICB). **Exportações brasileiras de couros e peles**. 2021. 9 f. Disponível em: <<https://cicb.org.br/storage/files/repositories/phpNFtnjl-total-exp-mar21-vr.pdf>>.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Guia técnico ambiental de curtumes**. 2. ed. São Paulo, 2015.

CONSEMA, 2017. Resolução CONSEMA nº 355/2017.

FUCK et al. *The influence of chromium supplied by tanning and wet finishing processes on the formation of Cr(vi) in leather*. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. v. 28, n. 2, p. 221-228. 2011.

LOFRANO et al. *Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review*. **Science of the Total Environment**. v. 461-462, p. 265-281. 2013.

MAHMOUD, Amira; FREIRE, Renato S. Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 198-205, 2007.

MELLA et al. *Treatment of Leather Dyeing Wastewater with Associated Process of Coagulation-flocculation/Adsorption/Ozonation*. **Taylor & Francis Group**, v. 40, n. 2, p. 133-140. 2018.

NBR 9898, 1987. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, Manuela Leggerini. **Avaliação do uso da cinza de casca de arroz em tanques de aeração com lodo ativado para tratamento de efluente de curtume**. 2017. 116 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Curso de Engenharia Engenharia Ambiental, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2017.

PREETHI, et al. *Ozonation of tannery effluent for removal of cod and color*. **Journal of Hazardous Materials**. v. 166, n. 1, p. 150-154. 2009.

SILVEIRA, Daniella S. A. **Avaliação da eficiência da ozonização combinada com tratamento por lodos ativados de efluentes de fábricas de celulose kraft branqueada**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SMEWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21. ed. Washington D.C.: American Public Health Association/ American Water Works Association/ Water Environment Federation, 2005.

