

TRATAMENTO DE EFLUENTES DE CURTUME: O QUE FOI PRODUZIDO NO MEIO ACADÊMICO DE 2011 A 2021?

Luciene Aparecida da Silva¹; Victória Caroline Silva das Virtudes²; Carina Mara de Souza³; Felipe Santos Moreira^{4,5}

^{1,2,3,4} Faculdade de Talentos Humanos - FACTHUS, Uberaba (MG), Brasil

⁴ Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia (MG), Brasil

luciene.silva@aluno.facthus.com.br, victoria.virtudes@aluno.facthus.com.br, carina.souza@facthus.edu.br, felipe.moreira@facthus.edu.br

RESUMO: O processo de transformação da pele animal em couro consome uma grande quantidade de água e insumos químicos, gerando uma enorme quantidade de resíduos que compreende efluentes líquidos, com alta concentração de matéria orgânica e poluentes; e resíduos sólidos, como as aparas, serragem e lodos da estação de tratamento de efluentes líquidos, contaminados por cromo. O tratamento destes efluentes e resíduos é importante para mitigar e/ou minimizar o potencial poluidor, reduzindo o impacto ambiental. Os métodos convencionais de tratamento mais utilizados nos curtumes, apesar de atenderem as legislações ambientais para o lançamento em corpos d'água, de um modo geral, não permitem o reuso do efluente tratado dentro do processo produtivo. Portanto, o objetivo deste estudo foi selecionar, nas bases de dados online Google Acadêmico e SciELO, estudos acadêmicos e artigos científicos em língua portuguesa e de livre acesso relacionados ao tratamento de efluente de curtume, publicados no período de 2011 a 2021. Foram encontrados oito trabalhos, sendo cinco artigos e três trabalhos acadêmicos. Os métodos de tratamento de efluentes de curtumes indicados nos trabalhos selecionados foram nanofiltração, eletrodialise, fotoeletroquímico, fotocatalise, macrófita *Pistia stratiotes* e adsorção em quitosana. Após a análise comparativa destes métodos, a alternativa mais indicada para a aplicação no tratamento dos efluentes de curtume foi a nanofiltração aliada ao processo fotoeletroquímico e a eletrodialise, por se tratarem de processos com alta eficiência em todos os parâmetros físico-químicos abordados, bem como pelo baixo custo e facilidade de operação.

PALAVRAS CHAVE: Couro, Eficiência do método, Impacto ambiental, Potencial poluidor, Reuso do efluente.

THE WAVELET TRANSFORM IN NOISE REDUCTION IN SPEECH SIGNALS

ABSTRACT: The process of transforming animal skin into leather consumes a large amount of water and chemical inputs, generating a huge amount of waste that comprises liquid effluents, with a high concentration of organic matter and pollutants; and solid waste, such as shavings, sawdust and sludge from the liquid effluent treatment plant, contaminated by chromium. The treatment of these effluents and residues is important to mitigate and/or minimize the polluting potential, reducing the environmental impact. The conventional methods of treatment most used in tanneries, despite complying with environmental legislation for discharge into water bodies, in general, do not allow the reuse of treated effluent within the production process. Therefore, the goal of this study was to select, in the online databases Google Academic and SciELO, academic studies and scientific articles in Portuguese and of open access related to the treatment of tannery effluent, published in the period 2011 to 2021. Eight works were found, being five articles and three academic works. The treatment methods for effluent from tanneries indicated in the selected works were nanofiltration, electrodialysis, photoelectrochemical, photocatalysis, macrophyte *Pistia stratiotes* and adsorption on chitosan. After the comparative analysis of these methods, the most suitable alternative for application in the treatment of tannery effluents was nanofiltration combined with the photoelectrochemical process and electrodialysis, as they are processes with high efficiency in all physical-chemical parameters discussed, as well as for the low cost and ease of operation.

KEYWORDS: Leather, Method efficiency, Environmental impact, Polluting potential, Effluent reuse.

INTRODUÇÃO

O couro é produzido a partir da pele animal, após tratamento físico-químico, adquirindo propriedades física e estética, proporcionando durabilidade e estabilidade. O couro é utilizado na indústria para a confecção de calçados, revestimentos de mobílias, peças de vestuários, estofamentos de automóveis, artigos de selaria, dentre outros (PRADO FILHO, 2019).

O processo de transformação da pele em couro é dividido em três etapas principais: ribeira, curtimento e acabamento. A ribeira é uma macro etapa que visa a limpeza e eliminação de todos os componentes aderidos à pele, como gorduras, carnes e apêndices, além de classificar a pele de acordo com seu tamanho e espessura. O curtimento pode ser classificado em: curtimento mineral, com cromo; curtimento vegetal, com taninos naturais; e curtimento sintético, com resinas e taninos sintéticos. O tipo de curtimento escolhido ocorre de acordo com o material final

desejado, seja para tingimento, recurtimento, acabamento ou couro pesado. Por fim, a etapa de acabamento é subdividida em três fases: acabamento molhado, pré-acabamento e acabamento final. Nestas, são conferidas as propriedades físicas, mecânicas e finais do couro, como a cor, elasticidade, flexibilidade e outros, para que se obtenha um aspecto definitivo do couro (FERRARI; PACHECO, 2015).

A partir do processo adotado na produção do couro, os curtumes podem ser classificados em: curtume integrado, que compreende as etapas desde o couro cru (pele) até o couro totalmente acabado; curtume de wet blue, quando faz o curtimento com uso de cromo; curtume de semiacabado, quando transforma o couro wet blue em couro semiacabado; e o curtume acabado, quando, sequencialmente, transforma o couro semiacabado em couro acabado (ALVES; RENOFIO; BARBOSA, 2008).

Um instrumento importante na venda de artefatos de couro é a Lei Federal nº 4.888/1965, conhecida como Lei do Couro, que proíbe o uso da palavra couro em produtos cuja a origem não seja exclusivamente animal. Ou seja, os termos “couro fake”, “couro sintético” e “couro ecológico”, além de se tratarem de denominações incorretas, constituem crime previsto nessa lei (BRASIL, 1965).

Em 2020, o Brasil registrou o maior rebanho bovino do mundo (EMBRAPA, 2021). O Brasil é o terceiro maior exportador de couro industrializado no mundo, atrás de China e Itália (TOOGE; LAVADO, 2019). Existem cerca de 260 curtumes regularizados no Brasil, gerando 38 mil empregos diretos e indiretos e valor monetário de US\$ 7,6 bilhões/ano. Minas Gerais ocupa a 8ª posição, com participação de 4,8% nas exportações brasileiras de couro (CICB, 2017).

A grande demanda pelo couro brasileiro deve-se às suas especificidades, como a espessura e o tamanho da peça.

Devido às suas características físicas, o couro pode ser moldado em diversas formas, além de apresentar uma boa resistência ao atrito, maior vida útil e permitir transpiração e aceitação de quase todos os tipos de acabamento. Porém, o consumo interno de produtos de couro ainda é baixo devido à comercialização de produtos visualmente parecidos e de menor valor. Os produtos feitos a partir do couro possuem custo de produção maior, além de oferecer maior qualidade e durabilidade, porém a condição socioeconômica da grande maioria da população brasileira consumidora pode ser considerada uma barreira na aquisição de peças de couro. Embora o Brasil seja um grande exportador de couro, a qualidade quando comparada a outros países é muito inferior; cerca de 93% das peles apresentam problemas, frente aos 5% nos Estados Unidos. Cerca de 60% dos defeitos dos couros brasileiros têm origem no campo, como, por exemplo, o abate de animais velhos, maus tratos, uso de arame farpado e transporte inadequado (SANTOS et al., 2002).

Os aspectos ambientais da produção do couro também possuem sua relevância visto que, durante todo o processo produtivo, é gerada uma grande quantidade de resíduos que compreende efluentes líquidos com alta concentração de matéria orgânica e poluentes; e resíduos sólidos como as aparas, serragem e lodos da estação de tratamento de efluentes líquidos, contaminados por cromo. Esse mineral é o elemento mais perigoso utilizado no processo produtivo do couro, conforme Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 10004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (ABNT, 2004), que trata da classificação dos resíduos sólidos, além das emissões atmosféricas e ruídos (FERRARI; PACHECO, 2015). A Fig. 1 apresenta o fluxograma com as principais etapas de produção do couro e os respectivos resíduos gerados.

Figura 1: Fluxograma das principais etapas de produção do couro.



Fonte: Adaptado de FERRARI; PACHECO, 2015.

Portanto, os resíduos que contêm cromo requerem mais cuidado no seu manuseio e descarte, considerando as legislações ambientais, como a Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente -

CONAMA (BRASIL, 2011), que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluente em corpos de água.

O tratamento dos efluentes é importante para mitigar e/ou minimizar o potencial poluidor, reduzindo o impacto ambiental. Para isso, os métodos convencionais empregados

na maioria dos curtumes são: segregação dos efluentes da ribeira daqueles do curtimento; tratamento preliminar (gradeamento e/ou peneiramento); oxidação prévia do sulfeto residual em meio alcalino, antes de homogeneizá-los com outros efluentes ácidos; homogeneização ou equalização dos efluentes; tratamento primário (coagulação, floculação e decantação); tratamento secundário biológico (lagoas aeradas, facultativas ou lodos ativados); e tratamento terciário (nitrificação e desnitrificação) (FERRARI; PACHECO, 2015).

Com base nas informações obtidas em materiais de referências técnicas do setor de couros (FERRARI; PACHECO, 2015; ALVES; RENOFIO; BARBOSA, 2008) o presente artigo teve por objetivo realizar um levantamento dos métodos estudados e publicados nos últimos dez anos em relação ao tratamento dos efluentes gerados em curtumes.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas pesquisas bibliográficas nas plataformas Google e Google Acadêmico com o intuito de obter informações sobre o mercado brasileiro da indústria do couro. Os assuntos de busca foram dados sobre a produção do setor de curtumes, tais como exportações, geração de empregos e quantidade de curtumes existentes no Brasil, bem como as etapas do processo de transformação da pele animal em couro, os efluentes e resíduos produzidos, as legislações pertinentes à comercialização do couro e a caracterização dos efluentes a serem descartados.

Em seguida, foram utilizadas as bases de dados online Google Acadêmico e SciELO para pesquisar por artigos científicos, revisão de literatura e trabalhos acadêmicos, somente em língua portuguesa, restringindo o período das publicações para os anos de 2011 a 2021, a fim de se obter dados relevantes e recentes acerca do tratamento dos efluentes gerados em curtumes. A busca foi direcionada às técnicas de tratamento de efluentes de curtumes, portanto, as palavras chaves utilizadas na pesquisa em português foram “curtume” e “tratamento de efluentes”. O material selecionado restringiu-se àqueles de livre acesso.

Assim que foram selecionados os trabalhos, iniciou-se a coleta e organização das informações obtidas, listando os métodos empregados no tratamento dos efluentes e seus benefícios e dificuldades na aplicação em escala industrial. Por fim, foi feita uma tabela para comparar a eficiência dos métodos apresentados pelos estudos selecionados com os métodos convencionais recomendados no Guia Técnico Ambiental de Curtumes (FERRARI; PACHECO, 2015). A eficiência dos tratamentos foi avaliada a partir dos resultados das análises físico-químicas (condutividade; cromo trivalente (III); cromo hexavalente (VI); materiais sedimentáveis; óleos minerais; óleos vegetais e gorduras animais; pH; cor; cloreto; Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); Demanda Química de Oxigênio (DQO); magnésio; nitrogênio amoniacal; nitrogênio total; sódio; sulfato; sólidos dissolvidos; sólidos suspensos; temperatura). Também foram incluídos na tabela os valores

de parâmetros aceitos pela Resolução n° 430/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011) para o lançamento de efluentes em corpos d'água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento bibliográfico resultou na seleção de oito estudos. Foram selecionados dois artigos científicos originais publicados nas revistas Tecno-Lógica (STÜLP et al., 2013) e *The Journal of Engineering and Exact Sciences* (MORANDIM-GIANNETTI et al., 2017); um artigo técnico publicado na Revista Engenharia Sanitária e Ambiental (ROCKER et al., 2019); um artigo publicado no XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental (CORSO et al., 2020); e um artigo de revisão de literatura publicado na Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (GODECKE; RODRIGUES; NAIME, 2012). Por fim, foram três trabalhos acadêmicos, sendo dois de nível mestrado stricto sensu e um de doutorado, publicados no Repositório Digital da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PINHEIRO, 2021), no Repositório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa (JOSUÉ, 2021), e no Repositório Digital da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (STREIT, 2011), respectivamente.

O objetivo do tratamento dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos gerados na indústria do couro é reduzir o potencial poluidor degradador. Sendo assim, os resíduos que são dispostos nos aterros, lançados em corpos d'água, na atmosfera ou em outras destinações, devem atender aos parâmetros ambientais estabelecidos nas legislações específicas, de forma a não causar impactos negativos no meio ambiente (CARVALHO, 2018).

Os métodos convencionais utilizados no tratamento de efluentes de curtumes, apesar de atenderem as legislações, nem sempre permitem o reuso da água no processo produtivo. Isto leva à busca por novas tecnologias para atingir a Produção mais Limpa (P+L) (FERRARI; PACHECO, 2015), o que pode ser considerado um dos pontos de incentivo às pesquisas na área de tratamento de efluentes de curtumes.

Streit (2011) utilizou uma solução sintética com características semelhantes aos de um efluente de curtume para avaliar a eficiência do uso da nanofiltração seguida da eletrodialise no tratamento do efluente. Na nanofiltração, a alimentação foi feita de modo tangencial, passando por membranas com porosidade de 0,5-5,0 nm, dispostas em pratos planos, promovendo a separação da fração orgânica (proteínas, taninos e outros). Na eletrodialise foi aplicado um campo elétrico que promoveu a migração dos íons e, por meio do uso de membranas de íons seletivos (catiônica e iônica), ocorreu a remoção dos sais.

Godeck, Rodrigues, Naime (2012) realizaram a revisão de 41 publicações a respeito do setor coureiro, encontradas na base de dados *Science Direct* no período de janeiro de 2010 a junho de 2011. Essas publicações abordaram diferentes vertentes de estudo acerca de curtumes, sendo apenas uma delas específica para as

tecnologias de tratamento dos resíduos de curtume, tanto sólidos quanto líquidos. Neste tópico, os autores analisaram as técnicas de coagulação, adsorção, utilização de membranas, eletrólise, oxidação, fito e biorremediação encontradas na literatura selecionada e verificaram que pode haver interação nos processos físicos, químicos e biológicos desses tratamentos.

Stülp e colaboradores (2013) abordaram a fotoeletrodegradação através da incidência de radiação UV (lâmpada de mercúrio – 125 W) e uso de eletrodos em compartimento com efluente de curtume, visando a eficiência no tratamento dos efluentes líquidos. Os autores sugerem que após este tratamento ainda seja feito o processo de eletrodialise para a retirada de metais pesados ainda presentes no efluente. Também é notório destacar que este meio de tratamento é enquadrado na P+L, visto que, após o tratamento, a água pode ser reutilizada no processo de curtimento das peles.

Morandim-Giannetti e colaboradores (2017) abordaram o tratamento do cromo usado para curtimento de peles em curtumes e os impactos que este componente tóxico pode causar ao meio ambiente. Os autores visaram contribuir para o aumento da eficiência do tratamento dos efluentes da indústria do couro por meio da adsorção da quitosana tratada com líquidos iônicos de sec-butilamônio, em que, através dessa interação, o cromo é adsorvido por meio de atrações eletrostáticas. Após a verificação e a determinação das condições ideais para tratamento (pH modificado entre 2,0 e 4,5, temperatura de 25°C, durante uma hora), o efluente foi submetido a teste, obtendo redução de 12% do metal cromo. Os autores indicam que este é um método inovador, de baixo custo, favorável ao meio ambiente e alternativo aos métodos convencionais utilizados, podendo ser utilizado de forma a reduzir a quantidade de produtos químicos utilizados em comparação aos tratamentos convencionais.

Rocker e colaboradores (2019) realizaram testes de remoção de íons cromo trivalente (III) de soluções aquosas sintéticas e de efluente de curtume, através da bioadsorção com uso da macrófita aquática *Pistia stratiotes* in natura e quimicamente modificada com hidróxido de sódio e ácido cítrico como bioadsorvente. Houve comprovação do uso desse bioadsorvente na remoção de metais tóxicos em soluções sintéticas, além de possuir menor custo, porém os autores indicam a necessidade de estudo da aplicação das macrófitas aquáticas em efluentes industriais, visto que essa utilização ainda é restrita devido à variedade de outros componentes presentes nos efluentes, o que pode interferir no processo de bioadsorção. Após a preparação do bioadsorvente, o experimento foi realizado em sistema de bateladas, inicialmente em soluções aquosas sintéticas e, posteriormente, em efluentes bruto e da lagoa de tratamento biológico de um determinado curtume. Os resultados obtidos foram satisfatórios, mas ainda se faz necessária a realização de mais experimentos para confirmar a eficiência do bioadsorvente em amostras mais concentradas.

Corso e colaboradores (2020) identificaram e abordaram o excesso de nitrogênio amoniacal presente no

efluente gerado nas indústrias de curtumes, sendo um dos poluentes que, em excesso, causam impactos ao meio ambiente. Dentre estes, destacam-se a contribuição para a eutrofização das águas e o desequilíbrio do ecossistema aquático (TURCATO, 2008), caso o efluente não seja tratado adequadamente. Para que este componente seja removido, Corso e colaboradores (2020) constataram que o efluente deve passar pelo processo de nitrificação, porém houve algum outro componente do efluente que interferiu neste processo e, consequentemente, não permitiu a obtenção de bons resultados. Assim, os autores utilizaram um sistema de reatores operando em batelada para avaliar e identificar qual componente atuava na inibição do processo. Como resultado, obteve-se que o fungicida, produto químico utilizado para a conservação do couro, foi o responsável por essa inibição, porém não foi possível identificar em qual a concentração, fazendo com que o efluente final, mesmo após a etapa de tratamento, apresentasse alta concentração de nitrogênio amoniacal, em desacordo com os padrões de lançamento previstos na Resolução nº 430/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011).

Pinheiro (2021) abordou em sua dissertação a utilização do farelo gerado durante a etapa de rebaixamento do couro como adsorvente de baixo custo para a remoção de corantes das soluções aquosas. Após revisão bibliográfica a respeito do uso de farelo de couro wet blue, farelo de couro curtido com tanino vegetal, farelo de pele piquelada e farelo de pré-curtido wet white, concluiu-se que o uso desses adsorventes ainda deve ser objeto de estudos, mas que é propício para adsorção em soluções aniônicas e catiônicas, além de utilizar o próprio resíduo para tratamento, ao invés de descartá-lo. Por meio de estudos experimentais, o autor utilizou o ponto de carga zero dos materiais sólidos para a aplicação em adsorção, de forma a utilizá-los corretamente, sem alterar o pH do meio e da superfície do material adsorvente. O experimento avaliou a remoção do corante Marrom Ácido 414 (MA-414) e Vermelho Básico 2 (VB-2), sendo eficaz para o corante MA-414 com o uso dos farelos de pele piquelada e de couro wet blue, e, para o corante VB-2, com o farelo de couro curtido com tanino vegetal.

Josué (2021) utilizou o pentóxido de nióbio (Nb₂O₅) como catalisador no processo fotocatalítico para reduzir o cromo hexavalente (VI), um metal extremamente tóxico, cancerígeno e utilizado no processo de curtimento do couro, gerando efluentes contaminados. Para comparação da remoção do cromo hexavalente (VI), foi utilizado o dióxido de titânio (TiO₂), que é uma substância bastante utilizada como catalisador em reações químicas. Os processos foram realizados em um reator cilíndrico envolto de borosilicato e a incidência de luz foi feita por uma lâmpada de vapor de mercúrio instalada em cima deste reator. A autora verificou que a utilização de Nb₂O₅ foi mais favorável em relação ao uso do TiO₂, reduzindo o cromo hexavalente (VI) a cromo trivalente (III), que é um importante nutriente para os seres humanos (CHEIS, 2013). Além disso, a autora discute que o Brasil é maior explorador de nióbio, o que facilita seu uso em processos industriais.

Dentre os artigos selecionados, três deles (JOSUÉ, 2021; ROCKER et al., 2019; MORANDIM-GIANNETTI et al., 2017) fazem referência ao metal cromo, que na forma hexavalente torna-se o principal contaminante dos efluentes provenientes de curtume. O cromo hexavalente (VI) pode ser reduzido a forma trivalente (III), que não é prejudicial ao meio ambiente e ao ser humano, desde que sejam respeitados os limites estabelecidos por lei, pois na presença de manganês o cromo trivalente (III) pode sofrer oxidação e se converter em cromo hexavalente (VI), elemento carcinogênico (CHEIS, 2013). A Tab. 1 indica os padrões de lançamento de efluente em água doce de acordo com a Resolução nº 430/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011) e a comparação entre os métodos de tratamento de efluente de curtume abordados nos artigos.

Dentre as técnicas aplicadas para a redução do cromo hexavalente (VI), é notório que o método de fotocatalise com uso de catalisador Nb_2O_5 foi mais eficiente em relação ao uso de catalisador TiO_2 , visto que reduziu em 20,00% e 1,00%, respectivamente, em uma solução com concentração de 10 mg/L de cromo hexavalente (VI), enquanto a adsorção em quitosana apresentou redução de 12,00% do metal cromo, de 874 mg/L para 772 mg/L. Em relação à redução do cromo trivalente (III), o uso da macrófita aquática *Pistia stratiotes* em efluente da lagoa de tratamento biológico foi mais eficaz (65,44%) do que em efluente bruto (28,26%), devido à alta concentração dos poluentes (Tab. 1).

A comparação das formas distintas de tratamento de efluentes de curtume indicadas pelos trabalhos selecionados (GODECKE; RODRIGUES; NAIME, 2012; STREIT, 2011; STÜLP et al., 2013) encontra-se na Tab. 2. Foi possível analisar que dentre os métodos escolhidos, o convencional, obteve a maior remoção da cor (99%), porém não atingiu o valor estabelecido na Resolução nº 430/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011) para remoção da DBO (acima de 60%), chegando a apenas 57%. O método de nanofiltração foi o que apresentou maior eficiência de remoção de DQO, magnésio, sulfato, cloreto, sódio, nitrogênio amoniacal e total, apresentando também maior retenção de matéria orgânica no filtro, fazendo com que o permeado possa ser reutilizado no processo produtivo da etapa de ribeira. A eletrodialise como etapa complementar da nanofiltração otimizou os resultados, principalmente em relação a remoção dos sais. O método fotoeletroquímico demonstrou alta eficiência na redução de óleos vegetais e gorduras animais e sólidos dissolvidos. Sendo assim, fica evidente a necessidade de utilizar mais de um método para obter um efluente tratado em condições de lançamento em corpos d'água, em conformidade com a legislação vigente, e de reutilização no processo produtivo. Portanto os métodos escolhidos foram a nanofiltração, fotoeletroquímico seguido de eletrodialise.

Em nenhum dos artigos e trabalhos acadêmicos, alvos deste estudo, fora apresentados valores de implementações dos métodos abordados por não se tratarem de estudos em escala industrial, mas sim de pesquisa. Estes

estudos sugerem inclusive que futuros trabalhos explorem esta vertente (STREIT, 2011; STÜLP et al., 2013; MORANDIM-GIANNETTI et al., 2017; ROCKER et al., 2019; CORSO et al., 2020; PINHEIRO, 2021).

Tabela 1: Comparação dos métodos de remoção de cromo hexa e trivalente propostos pelos estudos produzidos no período de 2011 a 2021.

	PARÂMETROS	
	Cromo hexavalente (VI)	Cromo trivalente (III)
CONAMA 430/2011	0,1 mg/L	1,0 mg/L
MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE CURTUME		
Fotocatalise com catalisador TiO_2 (JOSUÉ, 2021)	Redução em 1,00%	-
Fotocatalise com catalisador Nb_2O_5 (JOSUÉ, 2021)	Redução em 20,00%	-
Macrófita - Efluente bruto (ROCKER et al., 2019)	-	Redução em 28,26%
Macrófita + Tratamento Biológico (ROCKER et al., 2019)	-	Redução em 65,44%
Adsorção em quitosana (MORANDIM-GIANNETTI et al., 2017)	Redução em 12,00%	-

Fonte: Os autores, 2021.

CONCLUSÃO

Analisando os dados das tabelas, conclui-se que é necessário aplicar um conjunto de técnicas para obter o melhor tratamento de efluente de curtume. Sendo assim, as técnicas recomendadas são a nanofiltração, seguida do processo fotoeletroquímico e da eletrodialise por se tratarem de processos com alta eficiência em todos os parâmetros físico-químicos abordados, bem como o baixo custo e a facilidade de operação. A união destes processos remove a fração orgânica; os óleos vegetais e gorduras animais; e os sais, respectivamente, permitindo, assim, que o efluente tratado possa ser reutilizado no processo produtivo, reduzindo, portanto, o consumo de água e os impactos ambientais.

Tabela 2: Comparação entre as condições e padrões de lançamento de efluentes dispostos na Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) e os métodos de tratamento de efluentes de curtume propostos por Godecke; Rodrigues; Naime (2012); Streit (2011); e Stülp et al. (2013).

PARÂMETROS	RESOLUÇÃO CONAMA 430/ 2011	MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE CURTUME			
		Convencional (GODECKE; RODRIGUES; NAIME, 2012)	Nanofiltração (STREIT, 2011)	Eletrodialise (STREIT, 2011)	Fotoeletroquímico (STÜLP <i>et al.</i> , 2013)
Condutividade	-	36%	52%	3,67 Ms.cm-1	-
Óleos vegetais e gorduras animais	até 50 mg/L	-	-	-	65,70%
pH	5,0 a 9,0	-	-	6,15 a 6,77	-
Remoção de Cloreto	-	-	76%	47%	-
Remoção de cor	-	99%	-	-	29,50%
Remoção de DBO	Acima de 60%	57%*	-	-	-
Remoção de DQO	-	71%	94%	77%	37,70%
Remoção de Magnésio	-	-	67%	46%	-
Remoção de Nitrogênio amoniacal	20,0 mg/L	-	48%	42%	-
Remoção de Nitrogênio total	-	-	59%	-	-
Remoção de Sódio	-	-	60%	28%	-
Remoção de Sulfato	-	-	64%	19%	-
Sólidos Dissolvidos	-	30%	-	-	55,50%
Sólidos Suspensos	-	90%	-	-	-

*Parâmetro não atingido conforme estabelecido na Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2011).

Fonte: Os autores, 2021

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10004:2004**: Resíduos sólidos – Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 71 p. Disponível em: <https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 14 set. 2021.

ALVES, Vanessa Cintra; RENOFIO, Adilson; BARBOSA, Agnaldo de Sousa. The Leather Industry and Its Environmental Impact: Subsidies for the Implementation of Environmental Management Actions. In: POMS 19th Annual Conference, 19., 2008, California. **Conference**. California: Poms, 2008. p. 1-26. Disponível em: <https://www.pomsmeetings.org/ConfPapers/008/008-0446.pdf>. Acesso em: 02 out. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 430/2011**: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, 2011. 9 p. Disponível em:

http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627. Acesso em: 14 set. 2021.

BRASIL. Constituição (1965). **Lei nº 4888, de 09 de dezembro de 1965**. Proíbe o emprego da palavra couro em produtos industrializados, e dá outras providências Brasília, 13 dez. 1965. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/14888.htm. Acesso em: 12 out. 2019.

CARVALHO, Amanda Noronha Moreira de. **Guia Técnico Ambiental Do Setor De Curtumes**, Belo Horizonte: FEAM, 2018. Disponível em: http://biblioteca.meioambiente.mg.gov.br/publicacoes/BD%20FEAM/Guia_Curtume_Final_logo_Governo.pdf. Acesso em: 12 set. 2020.

CHEIS, Daiana. Os Danos Que O Cromo Hexavalente Pode Causar À Saúde. **Revista TAE: especializada em tratamento de águas e efluentes**, v. 3, n. 16, p. 1, dez. 2013. Mensal. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/538/os-danos-que-o-cromo-hexavalente-pode-causar-a-saude>. Acesso em: 20 nov. 2021.

CICB – Centro das Indústrias de Curtumes do (org.). **Estudo do Setor de Curtumes no Brasil**. [S.L.]: Iemi – Inteligência de Mercado, 2017. Disponível em: <https://cicb.org.br/storage/files/repositories/phpQQOOj3-estudo-iemi-cicb-2.pdf>. Acesso em: 19 set. 2021.

CORSO, Andressa *et al.* AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE FUNGICIDA E AMÔNIA NA NITRIFICAÇÃO DE EFLUENTE DE CURTUMES. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 11., 2020, Vitória. **Congresso**. Vitória: Ibeas – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2020. p. 1-8. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2020/II-001.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

EMBRAPA. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de grãos e exportador de carne bovina, mostra estudo. **EMBRAPA**, 2021. Disponível em: [https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo#:~:text=Brasil%20tem%20o%20maior%20rebanho%20bovino%20do%20mundo,-Em%202020%2C%20o&text=dos%20Estados%20Unidos,-,Mas%20em%20quantidade%20de%20carnes%20exportadas%20\(bovina%2C%20su%C3%ADna%20e%20aves,%2C4%25%20do%20total%20mundial](https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo#:~:text=Brasil%20tem%20o%20maior%20rebanho%20bovino%20do%20mundo,-Em%202020%2C%20o&text=dos%20Estados%20Unidos,-,Mas%20em%20quantidade%20de%20carnes%20exportadas%20(bovina%2C%20su%C3%ADna%20e%20aves,%2C4%25%20do%20total%20mundial). Acesso em: 19 set. 2021.

FERRARI, Walter Alves; PACHECO, José Wagner Faria. **Guia Técnico Ambiental de Curtumes**. 2. ed. São Paulo, 2015. 128 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/camaras-ambientais/wpcontent/uploads/sites/21/2013/12/Guia-T%C3%A9cnico-Ambiental-de-Curtumes-v2015.pdf>. Acesso em: 03 out. 2019.

GODECKE, Marcos Vinicius; RODRIGUES, Marco Antonio Siqueira; NAIME, Roberto Harb. Resíduos de cortinas: estudo das tendências de pesquisa. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 7, n. 7, pág. 1357-1378, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/5779>. Acesso em: 16 nov. 2021.

JOSUÉ, Tatiana Gulminie. **Aplicação de catalisadores de Nb₂O₅ como materiais alternativos para redução de cromo (VI) por fotocatalise heterogênea**. 2021. 69 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021. Disponível em:

<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/25053>. Acesso em: 17 nov. 2021.

MORANDIM-GIANNETTI, Andreia Araújo *et al.* Tratamento de efluentes de curtume a partir da adsorção em quitosana submetida a tratamento com líquido iônico. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 2, p. 267-280, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315872823_TRATAMENTO_DE_EFLUENTES_DE_CURTUME_A_PAR_TIR_DA_ADSORCAO_EM_QUITOSANA_SUBMETID_A_A_TRATAMENTO_COM_LIQUIDO_IONICO. Acesso em: 30 out. 2021.

PINHEIRO, Nadini Sandi Carvalho. **Estudo e aplicação de diferentes farelos de rebaixamento como adsorventes de baixo custo para corantes da indústria coureira**. 2021. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/220964>. Acesso em: 17 nov. 2021.

SANTOS, Angela Maria Medeiros Martins *et al.* **Panorama do setor de couro no Brasil**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2002. 29 p. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2743>. Acesso em: 31 ago. 2021.

PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. A sustentabilidade da indústria do couro. **Adnormas**, São Paulo, 26 mar. 2019. Semanal. Disponível em: <https://revistaadnormas.com.br/2019/03/26/a-sustentabilidade-da-industria-do-couro/>. Acesso em: 06 out. 2021.

ROCKER, Cristiana *et al.* Biossorção de íons Cr (III) de soluções aquosas sintéticas e efluente de curtume utilizando a macrófita aquática *Pistia stratiotes*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 335-346, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/m7cC7bjyZVpGBw5vm4M53bs/?lang=pt>. Acesso em: 17 nov. 2021.

STREIT, Katia Fernanda. **Estudo da aplicação de processos de separação com membranas no tratamento de efluentes de curtume: nanofiltração e eletrodialise**. 2011. 182 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/32595>. Acesso em: 26 out. 2021.

STÜLP, Simone *et al.* Degradação de efluentes de curtume por processo fotoeletroquímico com diferentes eletrodos: uma avaliação cinética. **Tecno-Lógica**, v. 17, n. 1, p. 24-29, 2013. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/3504>. Acesso em: 28 out. 2021.

TOOGE, Rikardy; LAVADO, Thiago. Brasil tem 110 exportadores de couro e 65 possuem certificação internacional de critérios ambientais. **Portal G1**, 31 ago. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2019/08/31/brasil-tem-110-exportadores-de-couro-e-65-possuem-certificacao-internacional-de-criterios-ambientais.ghtml>. Acesso em: 04 out. 2021.

TURCATO, Karolina. **Contaminação por nitrogênio das águas superficiais na bacia hidrográfica do rio Ibicuí, RS**. 2008. 16 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2008. Disponível em: http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo3/058.pdf. Acesso em: 18 nov. 2021.