

## Sistemas de tratamento de efluentes de vinícola: tendências e desafios

Emeline Melchiors (emelinemelchiors@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Flavio Bentes Freire (flaviofreire@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

DOI: 10.18226/25253824.v8.n13.16

Submetido em: 30/10/2023 Revisado em: 04/07/2024 Aceito em: 24/11/2024

**Resumo:** A produção de vinho é uma prática milenar com fortes aspectos culturais e econômicos. Entretanto, vinícolas descartam 0,2 – 14,0 L de efluentes por litro de vinho produzido e as crescentes pressões ambientais requerem o uso de tecnologias cada vez mais eficientes para seus tratamentos. O presente trabalho apresenta uma revisão sistemática de literatura para identificar os desafios e tendências nos sistemas de tratamento de efluentes de vinícola. A revisão analisou 122 estudos publicados entre 2013 e 2022. Tratamentos biológicos são os mais investigados e apresentam remoções médias de 85% de demanda química de oxigênio (DQO). Entretanto, esses sistemas apresentam dificuldades na remoção de cor, polifenóis e nutrientes. Pesquisas exitosas buscam superar esse desafio com a adição de algas e fungos nos reatores. Os tratamentos físico-químicos geralmente apresentam maior custo de operação, porém podem ser mais adaptáveis às sazonalidades na produção. Os *wetlands* construídos apresentam boas remoções de nutrientes. Porém, a área requerida os limita a agroindústrias de menor porte. Outros sistemas avançados apresentam tendências positivas, seja pela possibilidade de reaproveitamento de energia elétrica, a exemplo das células microbianas de combustível (MFCs), seja pelo reaproveitamento de resíduos da própria indústria no sistema. A presente revisão sistemática de literatura sobre os sistemas de tratamento de efluentes de vinícola fornece uma visão sobre o estado da arte nesse campo e destaca a tendência de desenvolvimento de soluções mais sustentáveis e eficientes para minimizar os impactos ambientais da agroindústria.

**Palavras-Chave:** Efluente industrial, tratamentos biológicos, *wetlands* construídos, processos oxidativos avançados, células microbianas de combustível.

**Abstract:** Wine production is an ancient practice with strong cultural and economic aspects. However, wineries discharge 0.2 – 14.0 L of effluent per liter of wine produced. The increasing environmental pressures require the use of increasingly efficient technologies for its treatment. This study presents a systematic literature review to identify challenges and trends in winery effluent treatment systems. The review analyzed 122 studies published between 2013 and 2022. Biological treatments are the most investigated and show average removals of 85% COD. However, these systems have difficulties in removing color, polyphenols, and nutrients. Successful research seeks to overcome this challenge with the use of algae and fungi. Physicochemical treatments are characterized by higher operating costs; however, they can be more adaptable to seasonal variations in production. Constructed wetlands present 86, 71, and 57% removal of BOD, nitrogen, and phosphorus, respectively. However, the area required limits them to smaller agribusinesses. Other advanced systems present positive tendencies, either by the possibility of recovering electrical energy, as in the case of MFCs or by the reuse of residues from the industry itself. The systematic literature review on winery effluent treatment systems provides insight into the state-of-the-art and highlights the tendency to develop more sustainable and efficient solutions to minimize the environmental impacts of agribusiness.

**Keywords:** Winery wastewater, biological treatments, constructed wetlands, advanced oxidation process, microbial fuel cells.

### Introdução

A produção de vinho baseia-se em processos que transformam os açúcares das uvas em etanol e na formação de compostos orgânicos que realçam o aroma e sabor do produto final. Em 2020 existiam cerca de 7,3 milhões de hectares de vinhas ao redor do mundo, produzindo 260 milhões hectolitros de vinho [1]. Apesar de a produção geralmente ocorrer em áreas rurais e dos aspectos econômicos e culturais do setor, este enfrenta grandes desafios ambientais.

A vinificação resulta no descarte de 0,2 a 14 L de efluentes por litro de vinho produzido. Esses efluentes normalmente são ácidos e ricos em contaminantes como etanol, açúcares, ácidos orgânicos e compostos fenólicos [2]. O volume e a composição dos efluentes, somados às crescentes pressões ambientais por parte de governos, investidores e consumidores, reforçam a necessidade de desenvolver sistemas de tratamento cada vez mais eficientes.

Os processos microbiológicos aeróbios e anaeróbios são ampla e satisfatoriamente aplicados na remoção da matéria orgânica dos efluentes de vinícola (EV) [2]. Já os *wetlands* construídos são soluções que permitem a reutilização do efluente

para a irrigação das vinhas [3]. Processos avançados são aplicados quando elevada qualidade do efluente tratado é necessária, por exemplo, para oportunidades de reuso [4]. Além disso, também é estudada a otimização do tratamento com a utilização de algas [5] ou fungos [6]. Outras opções apresentam vantagens como a produção de biogás [7], hidrogênio [8] ou energia elétrica [9].

Neste artigo, é apresentada uma revisão sistemática dos processos estudados nos últimos dez anos para o tratamento de EV. Os dados da eficiência da remoção (ER) de poluentes (matéria orgânica, compostos fenólicos, cor, nutrientes etc.) são compilados em diagramas de caixa (*boxplots*), e as principais informações são discutidas com uma abordagem narrativa. Dessa forma, é possível a identificação dos desafios e tendências no tratamento de efluentes de vinícolas.

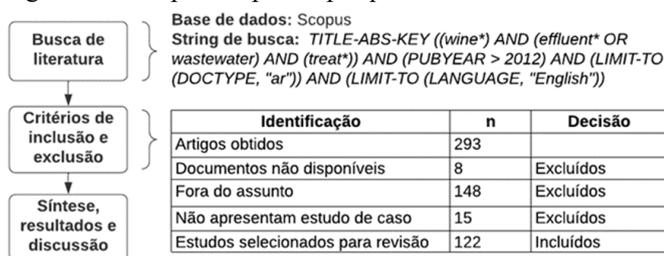
### 1. Metodologia

Uma metodologia sistemática para realizar a revisão da literatura e garantir o valor científico de seus achados foi adotada. A base de dados Scopus foi escolhida como fonte dos estudos por apresentar ampla cobertura de artigos publicados e revisão por pares. A busca da literatura foi limitada a artigos publicados entre

2013 e 2022, proporcionando uma imagem dos últimos 10 anos de desenvolvimento de tecnologias. A *string* de busca e as etapas principais da metodologia adotada são apresentadas na Figura 1.

A *string* de busca resultou em 293 artigos. Após uma primeira análise, seguindo os critérios de exclusão apresentados na Figura 1, 122 estudos foram selecionados como expressivos para a revisão sistemática aqui apresentada.

Figura 1. Principais etapas da pesquisa de revisão sistemática.



Fonte: autores (2023).

## 2. Resultados e discussão

Aplicando-se os critérios estabelecidos para seleção dos estudos publicados, 122 estudos foram considerados relevantes para a revisão. Na Figura 2, é apresentada a soma de publicações por país. A Espanha lidera em número de estudos publicados no tema (69 documentos), seguida por Portugal (33), Itália (23), África do Sul (21) e, em quinta posição, Brasil, com 16 publicações. A Figura 2 apresenta uma visão geral das eficiências de remoção (ER) dos principais poluentes encontrados nos efluentes de vinícola.

Em geral, os sistemas de tratamento disponíveis alcançam boas remoções de matéria orgânica, média de 86 e 78% para DBO e DQO, respectivamente. As remoções de sólidos, como turbidez e SST, também são aspectos bem estabelecidos nos tratamentos. Entretanto, as amplas distribuições nos valores de remoção de fósforo e nitrogênio total traduzem que as remoções de nutrientes ainda configuram desafios para os sistemas.

Os parâmetros de cor e fenóis apresentam elevadas remoções na Figura 2, porém essa conclusão é precipitada. Primeiro, devido à dificuldade de remoção desses parâmetros, são poucos os estudos que apresentam dados de remoção, 11 estudos para cor e 7 para fenóis, dentre os 122 estudos analisados. Ainda, os estudos em questão narram tecnologias avançadas de tratamento, não representando os sistemas amplamente utilizados nas vinícolas. Na Figura 3, é apresentada a evolução no número de estudos científicos publicados.

Os sistemas biológicos são os mais investigados. Foram analisados 24 estudos de tratamentos anaeróbios e 23 aeróbios. Os processos físico-químicos também são bastante empregados, contando com 13 estudos. Os *wetlands* construídos (WC)

apresentam 15 estudos e, por serem combinações de processos físico-químicos e biológicos, são considerados em uma categoria separada de discussão. Empregando processos oxidativos avançados combinados ou não, foram analisados 33 estudos. Na Figura 4, são apresentadas as ER de poluentes alcançadas por esses sistemas.

### 2.1 Processos físico-químicos

Em média, os processos físico-químicos apresentam 89% de remoção de DBO e 61% de DQO. Além da remoção de matéria orgânica, os sistemas físico-químicos possuem vantagens na adaptação operacional para acompanhar a sazonalidade na produção de vinho, o que é um desafio para os sistemas dependentes comunidades microbiológicas. Luz et al. [10] investigaram um processo de precipitação com cal (5 g L<sup>-1</sup>) e alcançaram remoções de 99, 87, 99,9 e 100% de DBO, turbidez, fósforo total, fenóis totais e coliformes fecais, respectivamente. Ainda, o resíduo precipitado, rico em cálcio, matéria orgânica (10%), fósforo (895 mg Kg<sup>-1</sup>) e potássio (999 mg Kg<sup>-1</sup>), apresenta grande potencial para fins agrícola.

Nos processos de adsorção, há uma tendência no reaproveitamento de resíduos da própria vinificação como adsorventes. Nayak et al. [11] usaram carvão ativado de bagaço de uva para recuperação de polifenóis, alinhando a necessidade de removê-los do efluente e a oportunidade de recuperá-los para uso na indústria alimentícia. O adsorvente investigado alcançou 84,3% de remoção de polifenóis, sendo uma alternativa ecoeficiente e econômica.

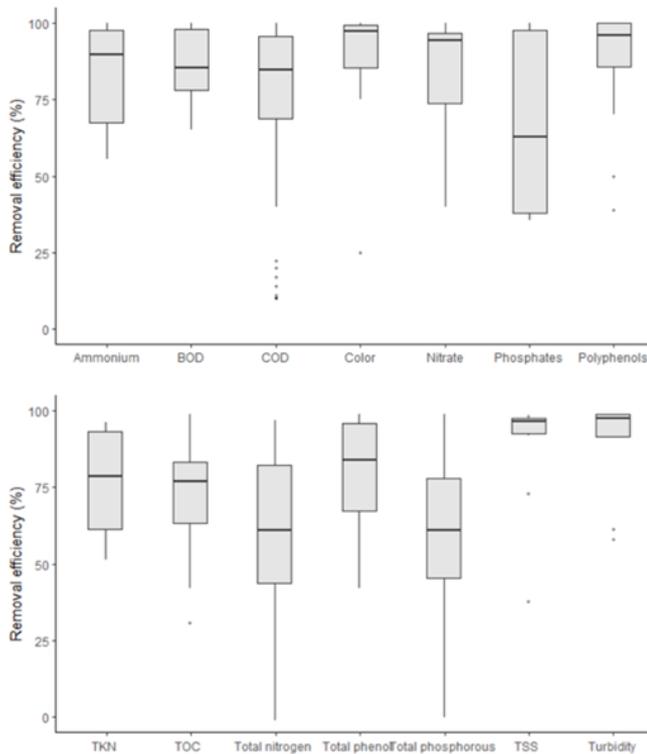
### 2.2 Sistemas biológicos

Os estudos sobre digestão anaeróbia demonstram remoção de DQO superior a 90%. Petta et al. [12] compararam diferentes sistemas, e o UASB apresentou as melhores remoções de DQO (97,5% para uma concentração inicial de 44 600 mg DQO L<sup>-1</sup>). A remoção se manteve estável, acima de 96%, mesmo com aumento da taxa de carga orgânica (3 para 11 kg DQO m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>). Entretanto, a amônia apresentou aumento médio de 20%. Além disso, também é enfatizado na literatura que os EV tratados anaerobiamente contém cores escuras [13]. Ou seja, apesar da satisfatória remoção de matéria orgânica, esses processos apresentam desafios por não serem capazes de garantir os padrões de descarga final, sendo normalmente utilizados como pré-tratamentos.

A digestão anaeróbia tem o benefício da geração de energia química na forma de biogás. No entanto, quando altas concentrações de matéria orgânica entram no reator, ácidos graxos voláteis podem levar a acidificação do sistema, diminuindo sua eficiência. Frente a esse desafio, Buitrón et al. [7] investigaram o uso de um sistema com dois reatores (dois estágios). Os pesquisadores revelam ser possível tratar EV com alta carga orgânica (até 220 000 mg DQO L<sup>-1</sup>), alcançando mais de 97% de remoção de DQO e gerando metano com rendimentos próximos ao valor teórico (máximo de 236 mL CH<sub>4</sub>/COD). Vital-Jacome

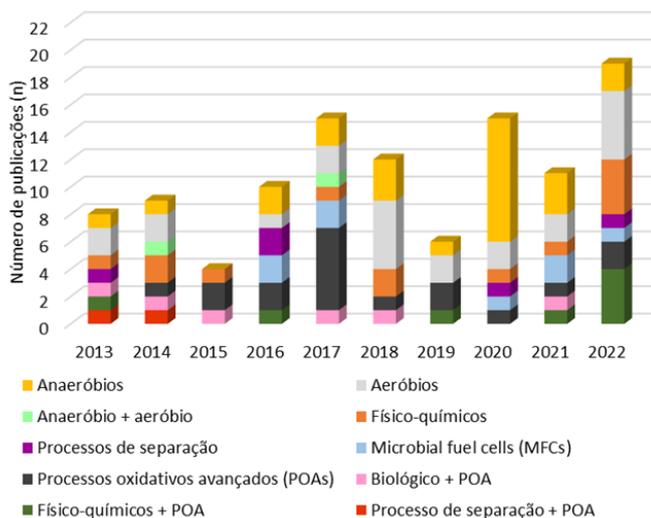
et al. [14] também pesquisaram reatores de dois estágios, e estes se mostraram menos dependentes de alcalinizantes. Isto é, os estudos comprovam que otimizações operacionais podem superar os desafios dos sistemas anaeróbios.

Figura 2. Eficiência geral dos tratamentos de efluentes de vinícola.



Fonte: autores (2023).

Figura 3. Evolução do número de estudos sobre tecnologias empregadas no tratamento de efluentes de vinícola.



Fonte: autores (2023).

Lagoas de tratamento aeróbias são amplamente utilizadas no tratamento de efluentes agroindustriais. Entretanto, as remoções

de poluentes muitas vezes são inferiores a outros sistemas estudados. Em Mosse et al. [15], por exemplo, não foi possível superar 43% de remoção do carbono orgânico dissolvido presente no EV e, por consequência, não alcançando os critérios legais para descarte do efluente tratado. Para melhorar a eficiência desses sistemas, Kalogerakis et al. [16] analisaram o uso de nano bolhas em uma lagoa destinada ao tratamento de EV e reduziram a DQO do efluente final de 3 000 para 322 mg L<sup>-1</sup> (taxa de redução de 39 mg DQO L<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>).

Os filtros biológicos de areia (FBA) para tratar EV também têm sido amplamente investigados. Estes não são sistemas robustos; no entanto, a areia pode adsorver poluentes e criar um meio físico para fixação do biofilme. Em Ramond et al. [17], um FBA foi empregado para tratar EV com DQO inicial de 2 304 mg L<sup>-1</sup> e apresentou remoções quase completas DQO e fenóis totais: 98 e 99%, respectivamente. As satisfatórias ER, aliadas aos baixos custos de implantação e operação, tornam os FBA opções interessantes para vinícolas de menor porte.

Sistemas de biorremediação baseados em microalgas também se mostram como uma tendência para o setor. Tsolcha et al. [18] investigaram o uso de microalgas visando à produção de biodiesel. As cianobactérias foram cultivadas com sucesso usando EV como nutriente. As máximas ER alcançadas foram de 93% para DQO e 78% para nitrogênio total. Em Ganeshkumar et al. [19], o EV foi misturado a efluentes da suinocultura e, em contato com *Chlorella* sp., foram removidos 89 e 49% de nitrogênio e fósforo total, respectivamente.

### 2.3 Wetlands construídos (WC)

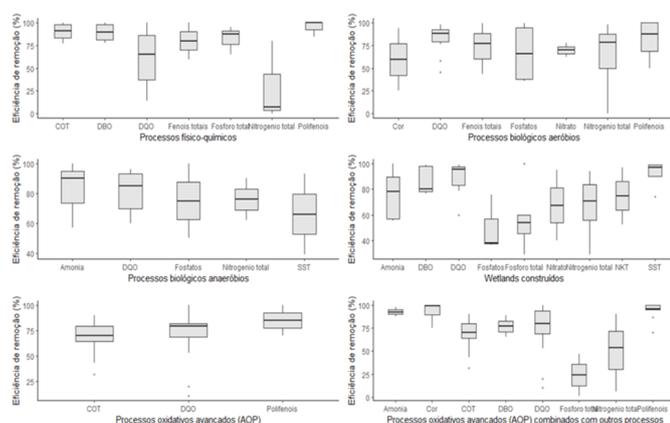
Os WC são sistemas artificiais que otimizam processos naturais de degradação que ocorrem em zonas úmidas e apresentam baixo custo e simplicidade de operação e manutenção. As ER de DQO em WC no tratamento de EV variam entre 60 e 99%, mas situações desfavoráveis têm sido investigadas para otimizar os sistemas. Kim et al. [20] avaliaram um WC parcialmente saturado e removeram 98% de DBO, 99% dos SST, 71% de nitrogênio total e 59% de fósforo total. Sánchez et al. [21] investigaram os impactos de tratar EV pobre em nutrientes e pH ácido. Os resultados mostraram que as condições adversas não impactaram na remoção de DQO (97,7% de ER), porém o pH ácido afetou as remoções de nitrogênio, indicando deterioração nos processos de nitrificação e desnitrificação.

Tecnologias emergentes também têm sido adaptadas para otimizar os WC. Kongthale et al. [22] analisaram um sistema combinado com características de células de microbianas de combustível (MFC) para produzir eletricidade e remover compostos fenólicos. Outra melhoria foi proposta por Rizzo et al. [23] com a instalação exitosa de sensores para monitoramento *online* da concentração de DQO.

## 2.4 Outros sistemas: POA, MFC, membranas e processos de filtração

Considerando limitações pontuais dos sistemas tradicionais apresentados, outras tecnologias emergentes vêm ganhando espaço no setor agroindustrial. Os processos oxidativos avançados (POAs) são alternativas para transformar e/ou mineralizar moléculas biorecalcitrantes e tóxicas (por exemplo, polifenóis) com o uso de agentes oxidantes. Os estudos apresentam remoções de DQO entre 53 e 100% e entre 96 e 100% para polifenóis.

Figura 4. Eficiências por tecnologia empregada no tratamento de EV.



Fonte: autores (2023).

A empregabilidade da ozonização no tratamento de EV foi estudada por Jorge et al. [24]. O processo foi avaliado isoladamente como pré e pós-tratamento de sistema de coagulação-floculação-decantação. Os melhores resultados foram obtidos no uso da ozonização como pré-tratamento, alcançando remoções de até 66% de DQO, 65% de DBO e 96% para polifenóis. Processos de foto-Fenton foram investigados por Yanez et al. [25] e combinados com adsorção por Guimarães et al. [26]. Ambos os trabalhos alcançaram reduções de TOC próximas a 90%. O primeiro grupo também investigou o uso da luz solar como fonte de irradiação, e a eficiência permaneceu semelhante.

O uso de membrana de filtração e outros processos de separação são frequentemente escolhidos quando se deseja alta qualidade do efluente final. Consequentemente, altas remoções de matéria orgânica são relatadas na literatura (entre 93 e 97% de ER de DQO). Thirugnanasambandham et al. [27] relataram a aplicabilidade da osmose reversa (OR) no tratamento EV. Nas condições otimizadas, foram obtidas remoções atendendo aos padrões de reuso: 93% de DQO, 91% de cor e 97% de sólidos dissolvidos.

Nos últimos anos, as células microbianas de combustível (MFCs, do inglês *microbial fuel cells*) têm atraído a atenção devido à possibilidade de geração direta de energia elétrica. A eficiência de remoção de DQO nesses sistemas varia de 10 a 96%. A remoção máxima foi apresentada por Liu et al. [9] para efluentes

sintéticos de vinificação com concentração inicial de 10 000 mg DQO L<sup>-1</sup>. Ainda, o sistema atingiu a geração de 410 mW m<sup>-3</sup>.

## Conclusões

Este estudo apresenta uma revisão sistemática para entender os desafios e as tendências das tecnologias empregadas no tratamento efluentes vinícolas. Os principais aspectos de 122 estudos publicados nos últimos dez anos foram compilados em dados quantitativos e discutidos usando uma abordagem narrativa.

Tratamentos biológicos são amplamente aplicados devido ao baixo custo e à remoção satisfatória de matéria orgânica, 85% em média. Em especial, o número de tratamentos anaeróbios estudados está aumentando em razão da possibilidade de produção de biometano. Além disso, há uma crescente área de estudo sobre a otimização desses processos adicionando-se algas e fungos aos sistemas. Os *wetlands* construídos, por não serem sistemas robustos e apresentarem boas médias de remoção de poluentes, incluindo nutrientes (76% de amônia e 58% de fósforo total em média), apresentam-se como uma ótima solução para vinícolas de pequeno e médio porte.

A tendência em tornar os tratamentos de efluentes da vinícola mais sustentáveis também é apoiada por estudos que reaproveitam resíduos da viticultura. O bagaço de uva, por exemplo, revelou-se uma solução ecoeficiente para a recuperação de polifenóis. As células microbianas de combustível (MFCs) também surgem como soluções sustentáveis no setor agroindustrial, por permitirem a recuperação de energia elétrica.

Existe uma vasta gama de processos para tratar águas residuais da agroindústria com eficiências satisfatórias. No entanto, a escolha do sistema mais adequado para uma vinícola específica depende de vários fatores, como o tamanho, capacidade de investimento e requisitos de qualidade final. Em geral, a revisão sistemática de literatura forneceu uma visão abrangente sobre o estado da arte nesse campo e destacou a tendência de desenvolvimento de soluções sustentáveis e eficientes para minimizar os impactos ambientais da indústria vinícola.

## Referências

- [1] International Organization of Vine and Wine. (2021). *State of the world vitivinicultural sector in 2020*. Recuperado de [https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/eng-state-of-the-world-vine-and-wine-sector-april-2022-v6\\_0.pdf](https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/eng-state-of-the-world-vine-and-wine-sector-april-2022-v6_0.pdf)
- [2] Holtman, G. A., Haldenwang, R. & Welz, P. J. (2022). Calcite Dissolution and Bionutralization of Acidic Wastewater in Biosand Reactors. *Water*, 14(21). Recuperado de <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/21/3482>
- [3] Milani, M., Consoli, S., Marzo, A., Pino, A., Randazzo, C., Barbagallo, S. & Cirelli, G. L. (2020). Treatment of Winery Wastewater with a Multistage Constructed Wetland System for



Irrigation Reuse. *Water*, 12(5), 1260. <https://doi.org/10.3390/w12051260>

[4] Amor, C., Marchão, L., Lucas, M. S. & Peres, J. A. (2019). Application of Advanced Oxidation Processes for the Treatment of Recalcitrant Agro-Industrial Wastewater: A Review. *Water*, 11(2), 205. <https://doi.org/10.3390/w11020205>

[5] Spennati, E., Casazza, A. A., Perego, P., Solisio, C., Busca, G. & Converti, A. (2019). Microalgae growth in winery wastewater under dark conditions. *Chemical Engineering Transactions*, 74, 1471–1476. <https://doi.org/10.3303/CET1974246>

[6] Fernandes, J. M. C., Sousa, R. M. O. F., Fraga, I., Sampaio, A., Amaral, C., Bezerra, R. M. F. & Dias, A. A. Fungal biodegradation and multi-level toxicity assessment of vinasse from distillation of winemaking by-products. *Chemosphere*, 218. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124572>

[7] Buitrón, G., Martínez-Valdez, F. J. & Ojeda, F. (2019). Biogas Production from a Highly Organic Loaded Winery Effluent Through a Two-Stage Process. *Bioenergy Research*, 12(3), 714–721. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09984-7>

[8] Policastro, G., Luongo, V. & Fabbicino, M. Biohydrogen and poly- $\beta$ -hydroxybutyrate production by winery wastewater photofermentation: Effect of substrate concentration and nitrogen source. *Journal of Environmental Management*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111006>

[9] Liu, T., Nadaraja, A. V., Shi, J. & Roberts, D. J. (2021). Stable Performance of Microbial Fuel Cell Technology Treating Winery Wastewater Irrespective of Seasonal Variations. *Journal of Environmental Engineering*, 147(10). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001921](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001921)

[10] Luz, S., Rivas, J., Afonso, A. & Carvalho, F. (2021). Immediate one-step lime precipitation process for the valorization of winery wastewater to agricultural purposes. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 18382–91. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11933-3>

[11] Nayak, A., Bhushan, B. & Rodriguez-Turienzo, L. (2018). Recovery of polyphenols onto porous carbons developed from exhausted grape pomace: A sustainable approach for the treatment of wine wastewaters. *Water Research*, 145, 741–756. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.017>

[12] Petta, L., de Gisi, S., Casella, P., Farina R. & Notarnicola, M. (2017). Evaluation of the treatability of a winery distillery (vinasse) wastewater by UASB, anoxic-aerobic UF-MBR and chemical precipitation/adsorption. *Journal of Environmental Management*, 201, 177–189. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.042>

[13] Ioannou, L. A., Puma, G. L. & Fatta-Kassinos, D. (2015). Treatment of winery wastewater by physicochemical, biological and advanced processes: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 286, 343–368. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.12.043>

[14] Vital-Jacome, M., Cazares-Granillo, M., Carrillo-Reyes, J. & Buitron, G. (2020). Characterization and anaerobic digestion of highly concentrated Mexican wine by-products and effluents. *Water Science and Technology*, 81(1), 190–198. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.102>

[15] Mosse, K. P., Verheyen, V., Cruickshank, A. J. & Patti, A. F. (2013). Soluble organic components of winery wastewater and implications for reuse. *Agricultural Water Management*, 120(1), 5–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.05.011>

[16] Kalogerakis, N., Kalogerakis, G. C. & Botha, Q. P. (2021). Environmental applications of nanobubble technology: Field testing at industrial scale. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 99(11), 2345–2354. <https://doi.org/10.1002/cjce.24211>

[17] Ramond, J. B., Welz, P. J., Tuffin, M. I., Burton, S. G. & Cowan, D. A. (2013). Assessment of temporal and spatial evolution of bacterial communities in a biological sand filter mesocosm treating winery wastewater. *Journal of Applied Microbiology*, 115, 91–101. <https://doi.org/10.1111/jam.12203>

[18] Tsolcha, O. N., Tekerlekopoulou, A. G., Akrotas, C. S., Aggelis, G., Genitsaris, A., Moustaka-Gouni, M. & Vayenas, D. V. (2017). Biotreatment of raisin and winery wastewaters and simultaneous biodiesel production using a Leptolyngbya-based microbial consortium. *Journal of Cleaner Production*, 148, 185–193. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.026>

[19] Ganeshkumar, V., Subashchandrabose, S. R., Dharmarajan, R., Venkateswarlu, K., Naidu, R. & Megharaj, M. (2018). Use of mixed wastewaters from piggery and winery for nutrient removal and lipid production by *Chlorella* sp. MM3. *Bioresource Technology*, 256, 254–258. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.025>

[20] Kim, B., Gutier, M., Prost-Boucle, S., Molle, P., Michel, P. & Gourdon, R. (2014). Performance evaluation of partially saturated vertical-flow constructed wetland with trickling filter and chemical precipitation for domestic and winery wastewaters treatment. *Ecological Engineering*, 71, 41–47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.045>

[21] Sánchez, M., Gonzalo, O. G., Yáñez, S., Ruiz, I. & Soto, M. (2021). Influence of nutrients and pH on the efficiency of vertical flow constructed wetlands treating winery wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102103>



- [22] Kongthale, G., Sotha, S., Michu, P., Madloh, A., Wetchapan, P. & Chaijak, P. (2023). Electricity Production and Phenol Removal of Winery Wastewater by Constructed Wetland – Microbial Fuel Cell Integrated With Ethanol Tolerant Yeast. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13(2). <https://doi.org/10.33263/BRIAC132.157>
- [23] Rizzo, A., Bresciani, R., Martinuzzi, N. & Masi, F. (2020). Online monitoring of a long-term full-scale constructed wetland for the treatment of winery wastewater in Italy. *Applied Sciences*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/app10020555>
- [24] Jorge, N., Teixeira, A. R., Matos, C. C., Lucas, M. S. & Peres, J. A. (2021). Combination of coagulation–flocculation–decantation and ozonation processes for winery wastewater treatment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168882>
- [25] Yáñez, E., Santander, P., Contreras, D., Yáñez, J., Cortejo, L. & Mansilla, H. D. (2016). Homogeneous and heterogeneous degradation of caffeic acid using photocatalysis driven by UVA and solar light. *Journal of Environmental Science and Health*, 51(1), 78–85. <http://dx.doi.org/10.1080/10934529.2015.1086211>
- [26] Guimarães, V., Lucas, M. S. & Peres, J. A. (2019). Combination of adsorption and heterogeneous photo-Fenton processes for the treatment of winery wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(30), 31000–13. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06207-6>
- [27] Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V., Loganathan, K., Jayakumar, R. & Shine, K. (2016). Pilot scale evaluation of feasibility of reuse of wine industry wastewater using reverse osmosis system: modeling and optimization. *Desalination and Water Treatment*, 57(53), p. 25358–68. <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1154894>