

APLICAÇÃO DO PROCESSO DE OZONIZAÇÃO EM EFLUENTES DOMÉSTICOS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

**ALESSANDRA MAGNUS LAZUTA¹; DANIELE MARTIN SAMPAIO²; CAROLINE
MENEZES PINHEIRO³; JULIA KAIANE PRATES DA SILVA⁴; AMANDA PERES
LEITE⁵; MAURIZIO SILVEIRA QUADRO⁶**

¹*Universidade Federal de Pelotas – alessandra.lazuta@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – dmartinsampaio@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – carolsmnz3@gmail.com*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – juliakaiane.prates@hotmail.com*

⁵*Universidade Federal de Pelotas – amanda.peresl@hotmail.com*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – mausq@hotmail.com*

1. INTRODUÇÃO

O processo de degradação dos recursos hídricos, principalmente em corpos d’água doce, vem sendo acelerado pelo crescimento populacional, juntamente com o desenvolvimento dos grandes centros urbanos (BERNAL; RESTREPO; GRUESO-CASQUETE, 2021). A falta de planejamento e investimento também contribuem para poluição dos corpos d’água. Em 2021, apenas 55% do esgoto gerado nas residências brasileiras foram devidamente coletados, e somente 50,8% recebeu tratamento. Ou seja, mais da metade do volume gerado de esgoto doméstico foi lançado de volta à natureza sem tratamento (SNIS, 2021).

Em vista do novo marco legal do saneamento básico proposto pela Lei nº 14.026/2020, os gestores públicos têm diversos desafios que incluem desde a metas de universalização que devem garantir até o final de 2033 o atendimento de 90% da população com coleta e tratamento de esgotos, além melhorias dos processos de tratamento (BRASIL, 2020). Ainda nesse contexto, sabe-se que a precariedade de serviços de esgotamento sanitário é acentuada em regiões rurais e periurbanas, principalmente por estarem localizadas longe de áreas centrais e apresentarem baixa densidade demográfica, inviabilizando projetos de sistema centralizado para essas áreas (MESQUITA et al., 2021).

A melhoria da qualidade dos efluentes domésticos para lançamento dependem de pesquisas que atendam a perspectiva da sustentabilidade, principalmente sendo viavelmente econômicos. Os processos oxidativos avançados, especialmente o tratamento com ozônio (O_3), vem sendo estudados mundialmente no refinamento de efluentes para degradação de compostos orgânicos e recalcitrantes, visando o aumento da biodegradabilidade do efluente, além de apresentar um sucesso na desinfecção (AKTER et al., 2022; ARAÚJO; SALLA; RODRIGUES, 2020).

Com isso, o objetivo principal deste trabalho é apresentar o panorama quantitativo geral do processo de ozonização em efluentes domésticos, através de uma revisão bibliométrica das publicações em revistas internacionais de referência, além de selecionar e discutir os artigos mais citados sobre este processo.

2. METODOLOGIA

Para realização deste trabalho foi feita uma revisão bibliométrica acerca da aplicação do processo de ozonização em efluentes domésticos selecionando apenas artigos científicos. Esses artigos foram pesquisados na base de dados do

Scopus com as seguintes palavras-chaves e operadores booleanos: “Ozone” AND NOT “Ozone layer” AND “Domestic Sewage” OR “Domestic Wasterwater”. Os indicadores analisados na revisão bibliométrica foram anos de publicação, país dos autores e os autores mais citados na área. Além disso, foram selecionados e discutidos 6 documentos mais citados. A ferramenta VOSviewer foi utilizada para construção das redes bibliométricas citadas acima, após isso exportou-se os dados que foram manipulados em planilha eletrônica para criação dos gráficos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa na base Scopus (Elsevier) encontrou 101 artigos científicos. Na Figura 1 são apresentados os resultados da revisão bibliométrica.

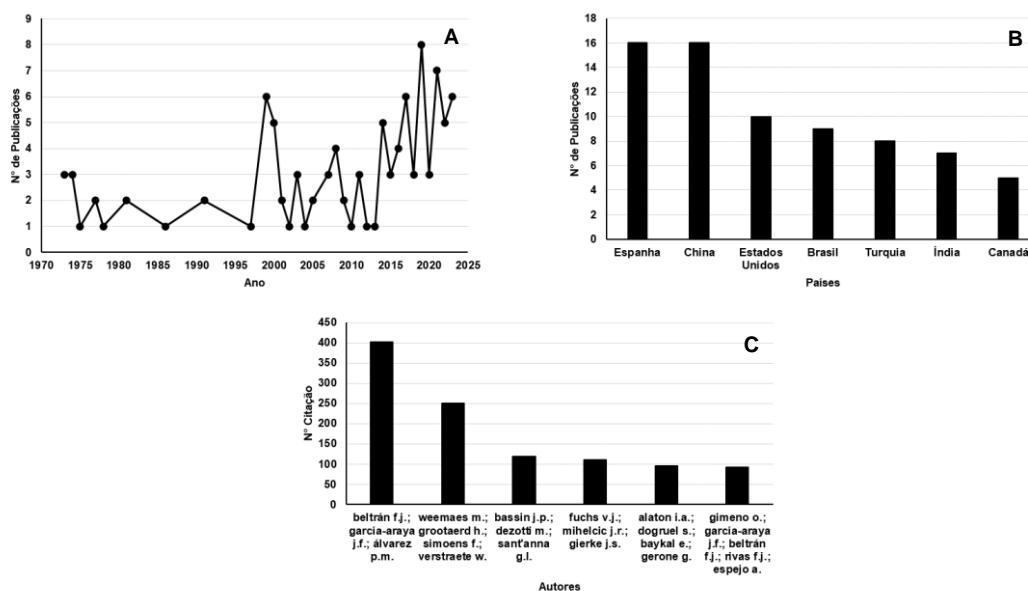


Figura 1 – a) número de publicações por ano; b) número de publicações por país; e c) número de citações por autores.

Na figura 1a observa-se que em 1973 começaram as pesquisas sobre a aplicação de ozonização em efluentes domésticos. No entanto, é a partir de 1999 em que se tem um nítido aumento de publicações e consequentemente gerando discussão científica sobre o tema. Com isso, 70% dos artigos científicos encontrados foram publicados nos últimos 20 anos. O ano de 2019 apresentou o maior número de publicações com 8 artigos sobre o assunto. A Figura 1b mostra o número de publicações por país, no total foram 31 países em que China, Espanha e Estados Unidos foram responsáveis por 42% dos documentos publicados. A China e Espanha publicaram mais sobre o processo de ozonização com 16 publicações cada. O Brasil ficou no quarto lugar em número de publicações com 9 documentos.

Os três autores mais citados na literatura podem ser visualizados na Figura 1c, que foram Beltrán; García-Araya; Álvarez (10 produções e 402 citações), Weemaes; Grootaerd; Simoens; Verstraete (1 produção e 251 citações) e Bassin; Dezotti; Sant'anna (1 produção e 118 citações). Contudo, se analisar a densidade de citações por publicação a classificação se altera em ordem do documento mais citado para o menos: Weemaes et al. (2000), Bassin et al. (2011), Fuchs et al. (2011), Alaton et al. (2004), Gimeno (2016) e Bentrán et al. (2000). Ao analisar os

artigos, a produção de Weemaes et al. (2000) e Fuchs et al. (2011) foram descartadas, uma vez que não relaciona a aplicabilidade do ozônio em efluentes. Sabe-se que o ano de publicação interfere nas citações, uma vez que documentos mais novos costumam ter poucas citações. Considerou-se que os autores Beltrán; García-Araya e Álvarez são os mais influentes na área de aplicação de ozônio em efluentes domésticos.

Todos esses documentos mais citados também foram analisados com base no contexto de aplicação e principais resultados encontrados. BASSIN et al. (2011) avaliaram o melhoramento da nitrificação em águas salinas com pré-tratamento das águas resíduas, uma vez que o ozônio tem potencial de remover substâncias inibidoras no processo de nitrificação. Os autores verificaram que o processo de ozonização não foi eficaz, podendo este estar relacionado a uma pobre mineralização durante o processo devido à persistência de compostos intermediários de oxidação, como os ácidos carboxílicos de cadeia curta. Também não foi verificada o aumento da biodegradabilidade de compostos inibidores.

ALATON et al. (2004) estudaram a degradação de antibiótico em efluentes domésticos, devido sua natureza recalcitrante, através de diversos processos oxidativos avançados. Uma dose de ozônio de 800 mg L^{-1} em 20 minutos foi suficiente para atingir uma biodegradabilidade de 0,45. Em seguida, essa amostra foi submetida ao tratamento biológico com lodo ativado. Pré-ozonização removeu pelo menos parcialmente a fração não biodegradável de DQO do efluente, melhorando a eficiência de remoção de DQO no processo de lodo ativado com 81% de remoção.

GIMENO et al. (2016) avaliaram a degradação dos compostos emergentes (ECs) em efluentes domésticos na ozonização fotocatalítica, em que a aplicação apenas de ozonização em 45 minutos foi capaz de reduzir as concentrações dos contaminantes emergentes abaixo do seu limite de detecção. Ozonização fotocatalítica levou a 41,3% na mineralização comparado com 34% alcançado apenas na ozonização. As análises de toxicidade demonstraram não toxicidade no efluente submetido aos tratamentos.

BÉLTRAN et al. (2000) avaliaram a remoção de compostos detergentes em soluções aquosas e águas residuais domésticas. Em pH alto a taxa de degradação foi rápida na ausência de eliminadores de radicais hidroxila. A matéria orgânica nas águas residuais compete com esses compostos detergentes, reduzindo a taxa geral de remoção do surfactante. A DQO e COT não foram completamente removidos das águas residuais devido a uma fração resistente ao ozônio que permaneceu após o tratamento. A biodegradabilidade aumentou das águas residuais devido a capacidade do ozônio em causar alterações nas estruturas moleculares dos compostos dissolvidos.

4. CONCLUSÕES

A revisão bibliométrica foi capaz de mostrar um panorama geral da produção de conhecimento sobre aplicação de ozônio em tratamento de efluentes domésticos. Os documentos publicados se concentram nos últimos 20 anos e nos países como China, Espanha e Estados Unidos. Os autores mais citados na literatura, também com alta produção de artigos sobre o tema, foram Beltrán; García-Araya e Álvarez. De forma geral, os artigos mais citados observaram um aumento na biodegradabilidade dos efluentes estudados, sempre em conjunto com outras tecnologias visando a melhoria do tratamento geral.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKTER, J.; LEE, J.; KIM, W.; KIM, I.. Changes in Organics and Nitrogen during Ozonation of Anaerobic Digester Effluent. **Water**, v. 14, n. 9, p. 1425, jan. 2022.
- ALATON, I. A.; DOGRUEL, S.; BAYKAL, E.; GERONE, G.. Combined chemical and biological oxidation of penicillin formulation effluent. **Journal of Environmental Management**, v. 73, n. 2, p. 155–163, 1 nov. 2004.
- ARAÚJO, R. F. DE; SALLA, M. R.; RODRIGUES, A. M. A.. OZONIZAÇÃO E ARRASTE DE GASES NO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE SANITÁRIO. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, p. 604–615, 6 ago. 2020.
- BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Disponível em: <<https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=14026&ano=2020&ato=cfaATWE9EMZpWT417>>. Acesso em: 3 set. 2023.
- BASSIN, J. P.; DEZOTTI, M.; SANT'ANNA, G. L. Nitrification of industrial and domestic saline wastewaters in moving bed biofilm reactor and sequencing batch reactor. **Journal of Hazardous Materials**, v. 185, n. 1, p. 242–248, 15 jan. 2011.
- BELTRÁN, F. J.; GARCÍA-ARAYA, J. F.; ÁLVAREZ, P. M. Sodium Dodecylbenzenesulfonate Removal from Water and Wastewater. 1. Kinetics of Decomposition by Ozonation. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 39, n. 7, p. 2214–2220, 1 jul. 2000.
- BERNAL, D.; RESTREPO, I.; GRUESO-CASQUETE, S. Key criteria for considering decentralization in municipal wastewater management. **Heliyon**, v. 7, n. 3, p. e06375, mar. 2021.
- GIMENO, O.; GARCÍA-ARAYA, J. F.; BELTRÁN, F. J.; RIVAS, F. J.; ESPEJO, A.. Removal of emerging contaminants from a primary effluent of municipal wastewater by means of sequential biological degradation-solar photocatalytic oxidation processes. **Chemical Engineering Journal**, v. 290, p. 12–20, 15 abr. 2016.
- MESQUITA, T. C. R.; ROSA, A. P.; GOMES, U. A. F.; BORGES, A. C.. Gestão descentralizada de soluções de esgotamento sanitário no Brasil: aspectos conceituais, normativos e alternativas tecnológicas. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 56, 26 mar. 2021.
- SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Esgotamento Sanitário – 2020.** Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snisdados/PANORAMA_DO_SANEAMENTO_BASICO_NO_BRASIL_SNIS_2021compartido.pdf>. Acesso em: 3 set. 2023.