

## **TRATAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS SÓLIDOS UTILIZANDO ADSORÇÃO: VISÃO GERAL E PERSPECTIVAS**

Tatiane Maria do Nascimento<sup>1</sup>  
Francisco Alex de Sousa Silva<sup>2</sup>  
Meiry Gláucia Freire Rodrigues<sup>3</sup>

### **RESUMO**

O Brasil é um dos países mais populosos do mundo, e com o progresso industrial muitas reflexões são realizadas e dentre elas é cabível o questionamento acerca dos problemas ambientais que acompanharam esse crescimento exponencial de forma proporcional ao seu acontecimento. Como resultado do crescimento populacional descontrolado e do crescimento econômico fundamentado na exploração dos recursos naturais ocorreu a grande formação de resíduos em suas variadas formas sendo sólidos, líquidos e gasosos. A consciência sobre os impactos causados pelos resíduos tem gerado uma mobilização por parte das indústrias e da sociedade que vem ocorrendo gradualmente, porém lenta. A má gestão dos resíduos sólidos (isto é, a destinação, transporte, descarte e o armazenamento incorreto dos resíduos) causam sérios impactos ambientais e danos à saúde humana. Os impactos da má gestão dos resíduos sólidos causam poluição atmosférica, poluição hídrica, poluição do solo e poluição visual, e, além disso, dependendo do tipo de resíduos, podem causar doenças para população, ocasionando dano à saúde humana. Outro impacto significativo é o risco de sofrer penalidades pela gestão inadequada. Dentro deste contexto, este estudo tem como objetivo analisar os principais resíduos industriais sólidos gerados e benefícios trazidos pela utilização deles como adsorventes no processo de remoção de efluentes têxteis, bem como apresentar o estado da arte deste processo tecnológico. Para esse fim foi utilizado a metodologia de pesquisa bibliográfica e como resultado o levantamento da discussão sobre as principais formas de tratamentos atuais que tem sido utilizada, principalmente, a técnica de adsorção. Os resultados obtidos fundamentam que a pesquisa com adsorventes (resíduos industriais sólidos) é uma solução simples e promissora na remoção de efluentes têxteis.

**Palavras-chave:** Resíduos industriais sólidos, Adsorvente, Adsorção.

### **INTRODUÇÃO**

A revolução industrial no século XVIII desencadeou o acelerado crescimento demográfico acrescido do desenvolvimento econômico, centrada principalmente nos núcleos urbanos, e teve como consequência o êxodo rural ocasionando um maior crescimento populacional além do progresso tecnológico e científico em busca de inovação e aperfeiçoamento dos produtos e técnicas (BAHAMONDE e VILLARES, 2008).

Na atual fase do capitalismo, presenciamos a expansão do capital, sobretudo dos grandes grupos empresariais, na escala global. Esse processo redefine o papel desempenhado pelos lugares, até então articulados em escalas local e regional. A instalação de novos equipamentos vinculados à economia permite aos lugares a ampliação de papéis, tanto na divisão territorial

do trabalho, como também na rede urbana em que está inserido e que mantém relações (BOMTEMPO, 2011).

No entanto, não é sempre que a tecnologia do desenvolvimento e seu progresso tem sido aliado da ciência do meio ambiente devido a presença dos resíduos industriais. De acordo com a Norma Brasileira NBR 10004/04 por definição, resíduos sólidos são os resíduos provenientes de atividades industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição presentes no estado sólido ou semi-sólido (NBR-10004, 2004, p.1).

Os resíduos são classificados de acordo com a periculosidade e solubilidade em Classe I- Perigosos; Classe II- Não perigosos; Classe II A- não inertes; Classe II B- inertes (NBR-10004, 2004, p. 3). Os resíduos industriais são considerados os maiores responsáveis pela poluição do meio ambiente e durante o seu processamento podem ser gerados resíduos não perigosos podendo ser inertes ou não inertes sendo recomendado atenção para que não haja mistura desses resíduos durante as outras operações como coleta, tratamento e destino final.

Dependendo de suas características e propriedades, resíduos são fontes perigosas de poluição e, em casos de contaminação, oferecem riscos severos ao meio ambiente. Por esse motivo, as atividades de gerenciamento de resíduos – seja o descarte, coleta, ou destinação – são potencialmente poluidoras e, portanto, devem estar regularizadas no que diz respeito ao seu licenciamento ambiental, que é tratado sob matéria de leis (federais, estaduais e municipais) as quais definem critérios e ditam as diretrizes do processo (LOPES, 2019).

A presença de resíduos sólidos industriais, quando não considera uma gestão eficiente em relação a destinação, transporte, descarte e armazenamento incorreto, causam sérios problemas ambientais e danos à saúde humana.

A poluição urbana pode ser considerada como um dano ambiental em sua forma mais ampla, pois todos os aspectos ligados à modificação do meio natural podem vir a causar a degradação das condições ambientais originais, resultando, na maioria das vezes, em aspectos negativos na utilização dos recursos naturais, tendo a água como um dos principais recursos a ser utilizado e normalmente afetado por toda esta modificação do meio (ANDRADE e FELCHAK, 2009).

A Resolução CONAMA nº 237 de 1997 informa as diretrizes de licenciamento no Brasil, em que o licenciamento é definido como procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação

ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso” (BRASIL, 1997).

O tratamento de resíduos sólidos industriais pode ser realizado por meio de processos físicos, no qual as substâncias contaminantes são transferidas para uma nova fase. Pode ser utilizado também como forma de tratamento o processo biológico, que pode ser subdividido em processos aeróbicos, anaeróbios e enzimáticos, este tratamento permitem o tratamento de grandes volumes de efluente transformando compostos orgânicos tóxicos em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O (ou CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>), com custos relativamente baixos (FREIRE, 2000).

O tratamento de resíduos por meio do processo químico tem como fundamento a degradação de poluentes por meio da oxidação da matéria orgânica. O processo eletrolítico faz uso de um potencial capaz de oxidar ou reduzir substratos de interesse. Além dos processos citados um novo método para a degradação de várias espécies orgânicas poluentes em efluentes é o processo de oxidação por meio de ultrassom (FREIRE, 2000).

Um processo que tem se mostrado eficiente no tratamento de resíduos sólidos industriais é a adsorção. A adsorção é um fenômeno físico-químico onde um componente de uma fase gasosa ou líquida é transferido para uma superfície de fase sólida. A fase cuja interface adsorverá o produto é denominada adsorvente ou substrato e a fase que será adsorvida, adsorvato. Apesar deste processo envolver fases resultantes de sistemas sólido-líquido, sólido-gás, líquido-gás e líquido-líquido, a maioria dos estudos concentra-se nos dois primeiros sistemas (DABROWSKI, 2001).

O presente trabalho objetiva a produção de um levantamento bibliográfico acerca do tratamento de resíduos industriais sólidos utilizando o processo de adsorção bem como apresentar o estudo da arte deste processo tecnológico.

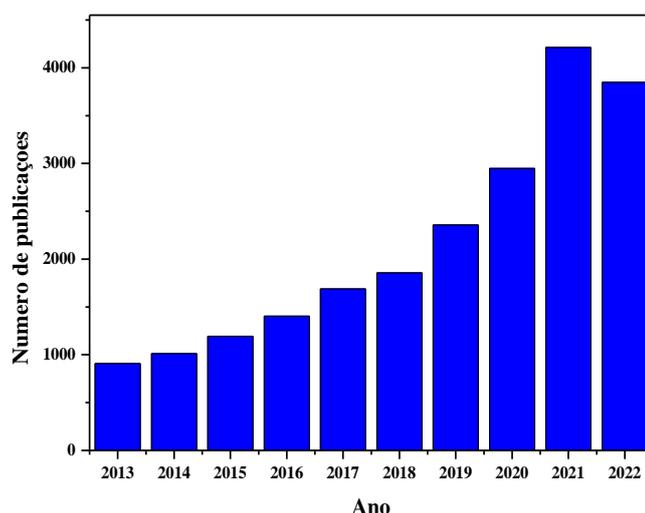
## **METODOLOGIA**

A metodologia apresentada neste trabalho de revisão bibliográfica consistiu na busca por palavras-chave Resíduos industriais sólidos, Adsorvente, Adsorção e a ferramenta utilizada foi o Google Acadêmico. Além das palavras-chave, assuntos correlacionados com o processo de adsorção e sua utilização no tratamento de resíduos sólidos industriais.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Distribuição de artigos por ano**

De acordo com pesquisa na base de dados do Science Direct utilizando como palavras-chaves Solid industrial waste, Adsorbent, Adsorption no período de 2013 a 2022 é possível fazer uma estimativa no número de publicações ao longo deste período.

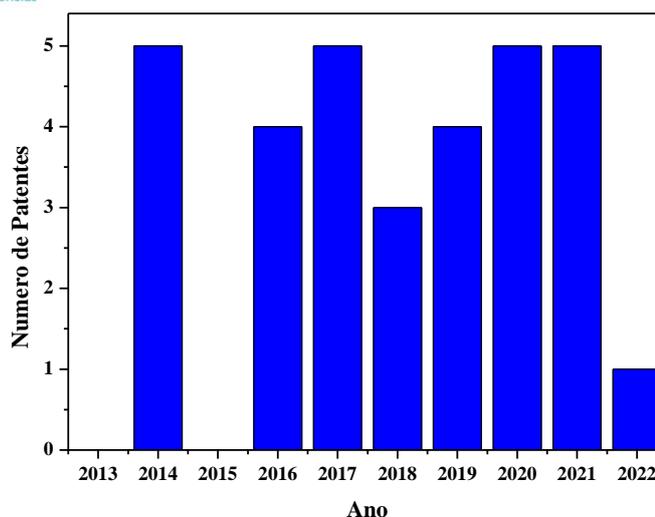


**Figura 1** – Publicação dos artigos encontrados no science direct relacionados as palavras-chave “Solid industrial waste, Adsorbent, Adsorption” no período de 2013 a 2022.

Evidencia-se, a partir da Figura 1, um aumento exponencial do número de artigos publicados no science direct. O máximo registrado do ano de 2021, este bem recente, explicita a atualidade do tema, em que 4214 artigos foram publicados. Esse aumento pode estar relacionado, principalmente, ao aumento na demanda do mercado por sustentabilidade e solução para os resíduos sólidos. Como o ano de 2022 ainda não terminou, então a quantidade de publicações ainda será maior do que o que foi coletado no science direct.

### **Distribuição de patentes por ano**

De acordo com pesquisa na base da patentscope (<https://patentscope.wipo.int>) utilizando como palavras-chaves Solid industrial waste, Adsorbent, Adsorption no período de 2013 a 2022 é possível fazer uma evolução no número de patentes ao longo deste período. A evolução está apresentada na Figura 2.



**Figura 2** – Publicação das patentes encontrada no site <https://patentscope.wipo.int> relacionados as palavras-chave “Solid industrial waste, Adsorbent, Adsorption” no período de 2013 a 2022.

Constata-se a partir da Figura 2 que nos anos de 2013 e 2015 não houveram publicações de patentes referentes ao tema. Nos anos de 2016 e 2019 foram 4 publicações, enquanto, nos anos de 2014, 2017, 2020 e 2021 foram publicadas 5 patentes. No ano de 2022, foi publicada 1 patente, mas como o ano ainda não terminou, possivelmente poderão existir mais patentes até o final de 2022.

Dentre as várias técnicas que utilizam a adsorção como princípio para separação de misturas químicas, os materiais mais empregados para esse fim são o carvão ativado, as zeólitas, as aluminas e as sílicas mesoporosas.

ALABA et al. (2018) revisaram o uso de adsorventes poliméricos tais como polímeros nano magnéticos, polissacarídeos, substâncias poliméricas extracelulares e polímeros orgânicos covalentes para descontaminação eficaz da água. E ainda ressaltam que os polímeros adsorventes demonstram notável eficiência de remoção para vários contaminantes. (PRADO et al., 2021).

A adsorção com carvão ativado é uma técnica empregada, com sucesso, no tratamento de efluentes contaminados com baixas concentrações de compostos fenólicos, por ser eficiente e econômica. Em temperaturas de adsorção relativamente altas, longos tempos de contato e elevadas concentrações de oxigênio, os compostos fenólicos tendem a ser irreversivelmente adsorvidos na superfície do carvão. (BRITTO e RANGEL, 2008).

Para que haja uma remoção eficiente de corantes no tratamento de águas residuais são utilizados vários métodos e dentre eles se encontra a utilização de separação por membrana

pode ser considerada uma técnica ligada a química verde e muito eficiente, pois a separação é baseada no mecanismo de peneiramento, fato que torna os processos de membrana relativamente mais adequados para a maioria das águas residuais industriais (CAO, X. et al, 2020).

Uma alternativa sustentável e de baixo custo para adsorção é a utilização de biomassas como adsorventes, promovendo o aproveitamento de vários resíduos agroindustriais que outrora eram descartados de maneira incorreta no ambiente. As biomassas são usualmente muito porosas, o que pode proporcionar alta área interfacial entre a partícula e o fluido durante a transferência de massa. (ALMEIDA e SANTOS, 2020).

Entre os adsorventes de baixo custo também existem as zeólitas de cinzas de carvão que têm se mostrado altamente eficientes para a remoção de corantes de efluentes, além de promover o reuso das cinzas de carvão geradas em termelétricas (BERTOLI et al, 2013; FUNGARO e MAGDALENA, 2014).

A utilização do rejeito da fabricação de alumina como adsorvente aplicado na adsorção de corantes mostra por meio dos resultados uma eficiência de remoção em seu processo alcançando inclusive, resultados mais satisfatórios do que quando comparado ao uso do carvão ativado como adsorvente. (RUTZ, 2007).

A literatura revela que, por meio da adsorção, a remoção de poluentes emergentes como produtos farmacêuticos, remédios, pesticidas, entre outros, apresenta-se eficiente. Diante do aumento da concentração desses poluentes em águas, novas pesquisas surgem com o intuito de melhorar a sua potabilidade, buscando a proteção da saúde humana, animal e do meio ambiente. (PRADO et. al., 2021).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das pesquisas abordadas neste artigo foi possível avaliar a evolução do tema adsorção em estudo e suas ascensões ao longo dos anos, ao analisar os artigos publicados no science direct de 2013 a 2022, pode-se destacar que houve um crescimento exponencial indicando que a adsorção é um tema atual e se encontra em evidência quando relacionado às questões ambientais. Ao realizar um estudo das patentes utilizando o site (<https://patentscope.wipo.int>) nota-se que ainda é pouco expressivo o número de publicações.

Dependendo das características e propriedades dos resíduos, são fontes perigosas de poluição e apresentam riscos de contaminação ao meio ambiente elevados caso não sejam devidamente gerenciados. Para esse fim, a adsorção tem ganhado espaço por possuir como principal vantagem a utilização de matérias primas de baixo custo, agregando produtividade ao processo. Portanto, esses processos apresentam grande potencial para aplicação no tratamento de resíduos sólidos industriais.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10004: resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ANDRADE, A. R.; FELCHAK, I. M. **A poluição urbana e o impacto na qualidade da água do rio das antas - Irati/PR**. Geoambiente On-line, Goiânia, n. 12, p. 01–25, 2013.

ALMEIDA N. P.; SANTOS K. G. **Chemical Engineering Laboratory teaching using Project-based learning approach: gas adsorption using banana peel**. Research, Society and Development, n.3, p.184932716, 2020.

BAHAMONDE, M.; VILLARES, R.- **El mundo contemporáneo, siglos XIX y XX**. Ed. Taurus: Madrid. 2008.

BERTOLINI, T. C. R.; IZIDORO, J. C.; MAGDALENA, C. P.; FUNGARO, D. A. **Adsorption of Crystal Violet Dye from Aqueous Solution onto Zeolites from Coal Fly and Bottom Ashes**. Orbital: The Electronic Journal of Chemistry, 5, n. 3, 179-191, 2013.

BOMTEMPO, D. C. **Dinâmica territorial, atividade industrial e cidade média: as interações espaciais e os circuitos espaciais da produção das indústrias alimentícias de consumo final instaladas na cidade de Marília – SP**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 237**, de 19 de dezembro de 1997.

BRITTO, J. M; RANGEL, M. C. **Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais**. Química Nova, v. 31, n.1, p. 114-122, 2008.

CAO, X.; YAN, Y.; ZHOU, F.; SUN, S, **Tailoring nanofiltration membranes for effective removing dye intermediates in complex dye-wastewater**. Journal of Membrane Science, v. 595, p. 2019.117476, 2020.

DABROWSKI, A. **Adsorption - from theory to practice**. Advances in Colloid and Interface Science, v. 93, p. 135–224, 2001.



FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, T. L.; DURÁN, N.; ZAMORA P. P. **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas.** Química nova, vol.23, n.4, p.504 -511, 2000.

FUNGARO, D. A., MAGDALENA, C. P. **Counterion Effects on the Adsorption of Acid Orange 8 from Aqueous Solution onto HDTMA-Modified Nanozeolite from Fly Ash.** Environment and Ecology Research, v. 2, n. 2, p. 97-106, 2014.

LOPES, L. **O Licenciamento ambiental e como ele ocorre na coleta e destinação de resíduos.** Residual, Belo Horizonte, MG, 16 de abril de 2019. Disponível em: <https://blog.residual.com/licenciamento-ambiental-no-gerenciamento-de-residuos>. Acessado em 20 de junho de 2022.

Organização Mundial da Propriedade Intelectual ( OMPI)

PRADO, A.; ENZWEILER, H.; PAULINO, A. T. **Processos de adsorção de poluentes emergentes em materiais poliméricos: Uma revisão.** 31º Seminário de Iniciação Científica da UDESC. ISSN 1983-8301, Florianópolis, 2021.

RUTZ, E. G. **Estudo da adsorção de corantes da indústria têxtil usando carvão ativado e o pó retido no filtro eletrostático da fabricação de alumina como adsorventes.** Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Mestrado em Engenharia Ambiental. Ouro Preto, 2007.