

Prospecção Tecnológica sobre o Uso de Bagaço de Cana-de-Açúcar e seus Derivados para a Adsorção Seletiva e Compostos Contendo Enxofre no Diesel

Technological Forecasting About the Use of Sugarcane Bagasse and its Derivatives for the Selective Adsorption of Sulfur Compounds

Ricardo Miguel Gonçalves da Silva¹

Patrícia Regina Sobral Braga¹

Andréia Alves Costa¹

¹Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi realizar uma prospecção tecnológica sobre o uso de bagaço de cana-de-açúcar e seus derivados para a adsorção seletiva de compostos contendo enxofre no diesel. A pesquisa se baseou na análise de documentos científicos provenientes das bases de dados Scopus e Web of Science, bem como na identificação de pedidos de patentes por meio da ferramenta Questel Orbit Intelligence®. Os resultados indicaram que os derivados do bagaço de cana-de-açúcar são adsorventes promissores, podendo ser aplicados na remoção de diversos compostos químicos presentes principalmente em águas residuais. No entanto, o uso no tratamento de combustíveis ainda não é uma aplicação amplamente desenvolvida.

Palavras-chave: Prospecção Tecnológica; Bagaço de Cana-de-açúcar; Adsorção.

Abstract

The goal of this research was to conduct a technological forecasting about the use of sugarcane bagasse and its derivatives for the selective adsorption of sulfur compounds in diesel fuel. The research was based on the analysis of scientific documents from the Scopus and Web of Science databases, as well as the identification of patent applications using the Questel Orbit Intelligence® tool. The results indicated that sugarcane bagasse derivatives are promising adsorbents and can be applied in the removal of several chemical compounds, mainly present in wastewater. However, the use in fuel treatment is not a widely developed application.

Keywords: Technological Forecasting; Sugarcane Bagasse; Adsorption.

Área Tecnológica: Prospecções Tecnológicas de Assuntos Específicos.



1 Introdução

O óleo diesel é um dos combustíveis mais utilizados em todo o mundo, sendo essencial para o funcionamento de veículos de transporte, maquinário industrial e geração de energia. No entanto, ao passar pelo processo de combustão, os compostos contendo enxofre presentes no óleo diesel se transformam em substâncias tóxicas, que apresentam impactos muito negativos tanto ao meio ambiente quanto à saúde humana. A queima de diesel com alto teor de enxofre resulta na liberação de óxidos de enxofre (espécies do tipo SO_x) na atmosfera, contribuindo para a formação de chuva ácida e para a poluição do ar. Como resultado, muitos países têm adotado legislações cada vez mais restritivas e rigorosas para limitar o teor de enxofre presente no diesel. Dessa forma, a remoção de compostos contendo enxofre do óleo diesel é uma questão de significativa importância ambiental e tecnológica nas últimas décadas (Silva, 2013).

O método mais utilizado para a remoção de enxofre do diesel é o processo de hidrotreamento, também conhecido como hidrodessulfurização (HDS). O processo HDS ocorre na presença de hidrogênio sob alta pressão e elevadas temperaturas, na presença de catalisadores específicos. As operações sob essas condições rigorosas são extremamente severas e trazem para as instalações de hidrodessulfurização uma série de riscos significativos, incluindo a possibilidade de incêndios e de explosões (Tanaka, 2018).

Por não ocorrer em condições severas, os processos de dessulfurização oxidativa de diesel, que ocorrem via mecanismos de adsorção, surgem como uma alternativa promissora ao método convencional de hidrodessulfurização para a remoção de enxofre de combustíveis, como o diesel. A dessulfurização por adsorção se baseia na capacidade de certos materiais porosos – como exemplo, é possível citar zeólitas e carvão ativado – de adsorver seletivamente os compostos contendo enxofre presentes no combustível, e, a partir daí, ocorrerem os processos de dessulfurização oxidativa (Tanaka, 2018).

A substituição da hidrodessulfurização pela dessulfurização por adsorção acarretaria uma grande necessidade de se encontrar um material capaz de adsorver os compostos sulfurados e, ao mesmo tempo, tratar esse combustível, o que poderia comprometer a viabilidade do processo (Tanaka, 2018; Brandão, 2006). Dessa forma, é fundamental desenvolver tecnologias e buscar novos materiais capazes de atuar como adsorventes eficientes e de baixo custo que sejam adequados para remover os compostos sulfurados do diesel.

O Brasil destaca-se mundialmente na produção de cana-de-açúcar. A produção anual ultrapassa os 480 milhões de toneladas de cana. Dessa forma, o Brasil também se destaca na produção de açúcar e etanol. Como consequência dessa volumosa produção, o bagaço de cana-de-açúcar é o resíduo em maior quantidade da agroindústria brasileira. Segundo a Embrapa, a cada 1.000 toneladas de cana-de-açúcar produzidas são geradas 270 toneladas de bagaço de cana (Embrapa, 2022).

Esse resíduo de biomassa é um material fibroso, macio e de baixa densidade que tem sua composição química formada principalmente por celulose, hemicelulose e lignina. A sua composição físico-química e o fato de poder ter a sua área superficial modificada por processos de tratamento térmico e químico favorecem o uso do bagaço de cana-de-açúcar como material adsorvente (Bhatnagar; Sillanpää, 2010).

A imposição de regulamentações cada vez mais rigorosas sobre a quantidade de enxofre nos combustíveis tem impulsionado a busca por inovações em tecnologias de dessulfurização. Nesse contexto, o bagaço de cana-de-açúcar surge como uma opção promissora de adsorvente em processos de dessulfurização por adsorção, devido às suas macromoléculas que abrangem uma ampla variedade de grupos funcionais. A capacidade do bagaço de cana-de-açúcar de adsorver compostos de enxofre o torna um forte candidato para contribuir eficazmente na remoção desses elementos indesejados dos combustíveis, alinhando-se, assim, às exigências ambientais cada vez mais acentuadas (Sarker *et al.*, 2017).

A prospecção tecnológica é uma das várias ferramentas disponíveis para examinar inovações emergentes. Essa abordagem envolve um método organizado de análise e de identificação de tendências associadas a uma tecnologia específica (Teixeira, 2013). Dessa forma, o propósito primordial deste estudo foi realizar uma prospecção tecnológica sobre o uso de bagaço de cana-de-açúcar e seus derivados para a adsorção seletiva de compostos contendo enxofre no diesel. Por meio de uma avaliação estruturada, o progresso e a aplicação de novos materiais e tecnologias de adsorção foram examinados, mediante a busca por resultados de pesquisas e por pedidos de patente relacionados ao tema.

2 Metodologia

Esta prospecção tecnológica mapeou e analisou publicações científicas e depósitos de patentes. O mapeamento científico tem como objetivo compreender o estado da arte da utilização do bagaço de cana-de-açúcar (*sugarcane bagasse*, ou SCB) em processos de adsorção. Para esse mapeamento foram realizadas três buscas com o propósito de observar o potencial do SCB e seus derivados em processos de adsorção, em processos de adsorção de compostos de enxofre e, por fim, em processos de dessulfurização de combustíveis.

O Quadro 1 indica os termos utilizados para buscar por publicações científicas nas bases de dados Web of Science e Scopus. Na base de dados Web of Science, os termos de buscas foram aplicados em todos os campos disponíveis (*all fields*) e, na base de dados Scopus, os termos foram buscados no título, resumo ou palavras-chave (*articletitle, abstract, keywords*). Com o intuito de alcançar o maior número de publicações internacionais sobre o tema, foram utilizados termos de busca em inglês.

Quadro 1 – Termos de busca utilizados nas bases Web of Science e Scopus

BUSCA	TERMO DE BUSCA
1	“Sugarcane Bagasse” AND “Adsor*”
2	“Sugarcane Bagasse” AND (“Adsor*” AND “Sul*”) OR “Desul*urization”
3	“Biochar” AND (“Diesel” OR “Fuel”) AND (“Sulfur” OR “Sulphur”)

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo

Foram selecionados para análise do mapeamento científico apenas artigos, artigos de revisão e capítulos de livros. Também foi utilizada uma delimitação temporal para analisar as publicações mais recentes acerca do tema. Dessa forma, foram analisadas publicações realizadas entre os anos de 2013 e de 2022. O mapeamento científico foi feito em agosto de 2023.

O montante de documentos obtidos pelas buscas foi analisado de acordo com a produção anual e a distribuição por países de publicação. Além dos resultados por base de dados, também foi realizada uma união desses dados (removendo duplicatas), a qual também foi analisada. A leitura inicial dos títulos, resumos e conclusões foi realizada para selecionar os principais artigos relacionados ao tema para leitura completa e análise das informações. Os dados foram sintetizados e expostos nos resultados desta prospecção tecnológica.

A ferramenta Questel Orbit Intelligence® foi utilizada para realizar duas buscas por famílias de patentes relacionadas ao tema deste estudo prospectivo. A primeira busca teve como foco a identificação de famílias de patentes relacionadas ao uso do bagaço de cana-de-açúcar em processos de adsorção. A segunda busca foi mais específica e teve como objetivo buscar por famílias de patentes relacionadas a processos de adsorção de compostos de enxofre. Para a busca por pedidos de patentes, não foram aplicados outros filtros. Os termos de busca utilizados, que podem ser visualizados no Quadro 2, foram aplicados nos campos Título (*Title*), Resumo (*Abstract*), Vantagens (*Advantages*) e Reinvidicações independentes (*Independent claims*). A prospecção de patentes também foi realizada em agosto de 2023.

Quadro 2 – Termos de busca utilizados no Questel Orbit Intelligence®

Busca	Termo de Busca
1	Sugarcane Bagasse AND Adsor*
2	Sugarcane Bagasse AND ((Adsor* AND Sul*) OR Desul*urization)

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo

3 Resultados e Discussão

Com o objetivo de avaliar o estado da arte da utilização do bagaço de cana-de-açúcar em processos de adsorção de compostos de enxofre, foram realizadas as buscas conforme apresentado na Quadro 1. A quantidade de documentos foi registrada e, com o *software* Microsoft Excel 2019, foi contabilizada também a quantidade total de documentos ao remover artigos e capítulos de livros duplicados por estarem presentes em ambas as bases. Esses valores podem ser observados no Quadro 3.

Quadro 3 – Quantidade de documentos encontrados por busca do mapeamento científico

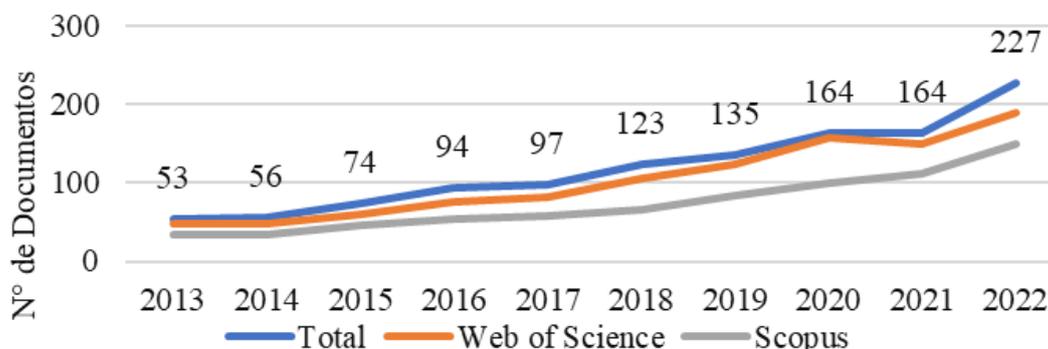
BUSCA	WEB OF SCIENCE	SCOPUS	TOTAL SEM DUPLICATAS
1	1.037	732	1.187
2	110	58	128
3	80	80	120

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo

Ao associar o bagaço de cana-de-açúcar com processos de adsorção por meio da busca 1, foi encontrado um grande volume de estudos sobre o tema, conforme apontam os resultados apresentados no Quadro 3. Para compreender a distribuição da produção de documentos ao longo do tempo, foram criadas curvas que apresentaram a quantidade de artigos produzidos,

em cada ano, desde 2013, nas bases de dados utilizadas, e o total de artigos encontrados após a remoção de duplicatas. O resultado obtido pode ser observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Quantidade de publicações por ano encontradas por meio da busca 1



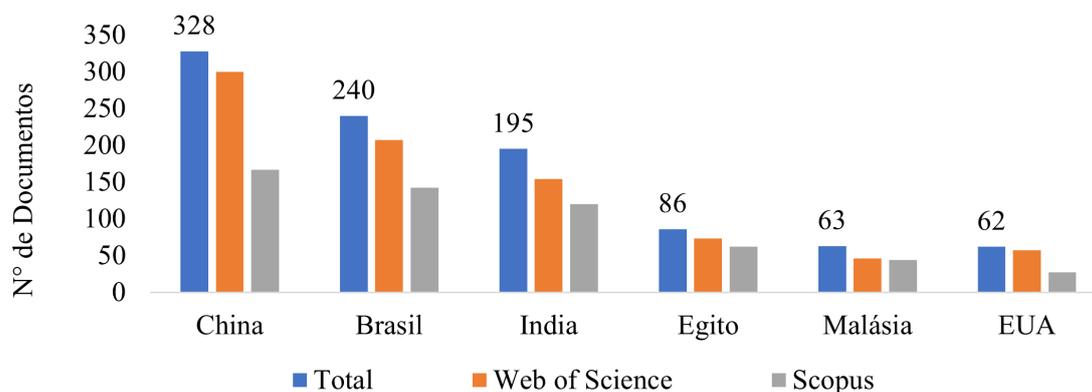
Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo

É notável que a produção de artigos sobre temas que associam bagaço de cana-de-açúcar e adsorção vem aumentando ao longo dos anos. Logo, conclui-se que o uso desse tipo de tecnologia tem sido um tema atual e ainda se realizam muitos estudos sobre a temática, mesmo já existindo uma quantidade considerável de estudos nos últimos 10 anos.

Os resultados indicaram que a crescente preocupação com a poluição ambiental e a necessidade de soluções eficazes para o tratamento de efluentes industriais e remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos têm direcionado esforços para a investigação de materiais adsorventes de baixo custo, alta eficiência e alta renovabilidade, características inerentes ao bagaço de cana-de-açúcar.

Também foi possível analisar a distribuição regional desses estudos, baseando-se na localização em que os trabalhos foram desenvolvidos. Para realizar essa análise, foi criado um gráfico de colunas que representa a quantidade de artigos desenvolvidos em cada país para cada base de dados, sem remoção de duplicatas (Gráfico 2). Além disso, foram inseridas colunas que indicaram o total de artigos encontrados em cada país ao reunir as duas bases de dados e remover duplicatas.

Gráfico 2 – Principais países de origem dos documentos encontrados por meio da busca 1



Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo

É fundamental compreender que um artigo pode ser contabilizado em mais de uma coluna, pois em casos de documentos produzidos por meio de contribuição internacional, o documento pode ser registrado em ambos os países. Sabendo que os três principais produtores de cana-de-açúcar no mundo são Brasil, Índia e China, é notável o interesse de pesquisadores desses países em encontrar um destino mais nobre para o bagaço da cana-de-açúcar, maior resíduo da produção dessa planta.

A China se destaca como líder na produção de documentos científicos nesse tema, contribuindo com um total de 328 publicações (27,6% do total encontrado). Esse resultado ressalta o interesse e o comprometimento desse país em explorar as aplicações do bagaço de cana-de-açúcar em processos de adsorção.

O Brasil, com 240 documentos produzidos (20,2% do total), também emergiu como um ator significativo nesse campo de estudo. Sua presença expressiva pode ser atribuída a sua relevante indústria de cana-de-açúcar (a maior do mundo) e, conseqüentemente, a sua contínua busca por alternativas sustentáveis e inovadoras para aproveitar os subprodutos da indústria sucroenergética.

A Índia, com 195 documentos produzidos (16,4% do total), posicionou-se como outro grande contribuinte para o corpo de conhecimento sobre o uso do bagaço de cana-de-açúcar em processos químicos.

Além disso, o Egito, a Malásia e os Estados Unidos da América também tiveram um papel notável na produção científica nessa área, com 86, 63 e 62 publicações, respectivamente.

A análise dos dados revelou uma distribuição geográfica abrangente no que diz respeito à produção de textos acadêmicos relacionados ao uso do bagaço de cana-de-açúcar em processos de adsorção pelo mundo. Essa diversidade de contribuições indicou uma cooperação global para desenvolver soluções para a utilização desse resíduo agroindustrial.

Os trabalhos mais citados e mais relevantes que associam o bagaço de cana-de-açúcar com processos de adsorção foram analisados e descritos separadamente.

Ding *et al.* (2014) examinaram a eficiência de biocarvões criados a partir do bagaço da cana-de-açúcar para adsorver compostos de chumbo. Os autores observaram características que influenciaram a capacidade de adsorção do biocarvão e notaram que um dos fatores que mais impactou nesta capacidade foi a temperatura de pirólise, com maior capacidade de sorção apresentada pelos biocarvões produzidos em 250°C e 500°C.

Wang *et al.* (2017) desenvolveram um adsorvente à base de bagaço de cana-de-açúcar e observaram a sua capacidade de adsorver íons metálicos de soluções aquosas, sendo que os metais a serem adsorvidos foram o zinco, o cobre e o chumbo. Percebeu-se que a adsorção foi impulsionada pela coordenação do metal, troca iônica e associação eletroestática entre as espécies.

Zhang *et al.* (2013) criaram um biocarvão magnético por meio da pirólise do material e a incorporação de partículas de óxido de ferro ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Esse biocarvão foi caracterizado por meio de diversos testes de laboratório, entre eles, testes de adsorção. O material mostrou-se eficiente para a adsorção de arsênio em meio aquoso.

Abdolali *et al.* (2014) realizaram uma revisão sobre o uso de compostos com lignocelulose (entre eles, o bagaço de cana-de-açúcar) na remoção de íons metálicos tóxicos e corantes de fluxos de águas residuais. A revisão abordou também a eficiência de cada composto em determinadas condições operacionais, modificação química na capacidade de adsorção, métodos de preparação e características cinéticas e termodinâmicas.

Creamer, Gao e Zhang (2014) utilizaram biocarvões produzidos a partir de cana-de-açúcar e de madeira de nogueira para adsorver dióxido de carbono. Os pesquisadores analisaram a capacidade de adsorção para biocarvões produzidos em diferentes temperaturas de pirólise e notaram uma alta capacidade de adsorção no adsorvente produzido a partir do bagaço de cana-de-açúcar.

Guo *et al.* (2020) prepararam um carvão ativado poroso a partir do bagaço de cana-de-açúcar. Nesse estudo, foram utilizados quatro agentes ativadores diferentes, e as propriedades físico-químicas do carvão ativado obtido foram analisadas. Entre os quatro tipos de carvões ativados obtidos, os que foram ativados por hidróxido de sódio (NaOH) se destacaram.

Lyu *et al.* (2018) produziram um biocarvão a partir do bagaço de cana-de-açúcar moído em um moinho de bolas planetário para adsorver o corante azul de metileno aquoso. O estudo comparou a eficiência de adsorção entre o biocarvão produzido após a moagem e o carvão produzido a partir de bagaço não moído. Foi possível concluir que o carvão obtido com o bagaço moído se mostrou mais eficaz em processos de adsorção de azul de metileno.

Gan *et al.* (2015) desenvolveram um biocarvão de cana-de-açúcar modificado por zinco para a realização de adsorção de cromo hexavalente. O biocarvão modificado se mostrou ao menos 20% mais eficiente no processo de adsorção que o biocarvão convencional. Além disso, utilizando hidróxido de sódio, o estudo também indicou o potencial de regeneração do biocarvão modificado.

Ullah *et al.* (2013) realizaram experimentos com biomassa imobilizada e biomassa nativa de cana-de-açúcar para adsorver óxido de cromo e cromo hexavalente. Com a variação de pH, concentração inicial e tempo de contato, foi comparada a capacidade de adsorção de ambos os tipos de biomassa utilizados. A biomassa imobilizada, em todos os casos, destacou-se em relação à biomassa nativa. Além disso, notou-se que a capacidade de sorção da biomassa do bagaço de cana-de-açúcar varia muito com o pH inicial, dose de biossorvente, concentração inicial de íons metálicos e tempo de contato.

Portanto, esses resultados indicaram que o bagaço de cana-de-açúcar possui propriedades físicas e químicas favoráveis para a adsorção de diferentes compostos, pois a aplicação eficiente como adsorvente para uma variedade de íons e moléculas indica sua capacidade de interagir e de reter diferentes substâncias em sua superfície. Essas moléculas adsorvidas podem incluir diferentes compostos poluentes, contaminantes, produtos químicos indesejados, entre outros.

Com a realização da busca 2, foram encontrados sete trabalhos que tratavam da remoção de compostos que contêm enxofre por meio da adsorção em derivados da cana-de-açúcar. No entanto, não foram encontrados trabalhos em que o bagaço de cana-de-açúcar fosse utilizado como adsorvente de compostos contendo enxofre no diesel. Foram encontrados seis trabalhos que utilizaram o bagaço de cana-de-açúcar para adsorver compostos contendo enxofre em água, sendo que o principal composto foi o sulfametoxazol (SMX). O SMX é um antibiótico que possui enxofre em sua composição molecular e, ao ser ingerido, é muitas vezes excretado pelo corpo nas urinas e fezes, podendo contaminar a água e o solo. A ingestão de água ou alimentos que contenham esse composto (considerando a cadeia alimentar) pode causar diversos riscos à saúde humana, por exemplo, a resistência a antibióticos (Américo *et al.*, 2013). Sendo assim, informações acerca dessas publicações, relacionadas à busca 2, foram coletadas.

Shikuku e Jemutai-Kimosop (2020) utilizaram o bagaço de cana-de-açúcar para produzir um biocarvão por pirólise térmica. Esse biocarvão foi utilizado para a adsorção de sulfametoxazol presente em água. Foram utilizadas diversas isotermas para a análise do processo de adsorção, e a isoterma de Sips foi a que melhor previu os dados. Os resultados indicaram que o biocarvão proveniente do bagaço de cana-de-açúcar foi um adsorvente eficaz e de baixo custo.

Juela *et al.* (2021) também estudaram as propriedades de adsorção de sulfametoxazol pelo bagaço de cana-de-açúcar e por espigas de milho. Por meio de experimentos em leito fixo contínuo, foi notada uma maior capacidade de adsorção e percentual de remoção de sulfametoxazol ao utilizar o bagaço de cana-de-açúcar.

Prasannamedha *et al.* (2021) produziram biocarvão a partir do bagaço de cana-de-açúcar por meio de carbonização hidrotérmica seguida de ativação com hidróxido de sódio (NaOH) em atmosfera inerte, com o objetivo de remover sulfametoxazol da água. O biocarvão ativado com NaOH apresentou grande afinidade de adsorção, demonstrando ser um adsorvente eficaz para o sulfametoxazol.

Prasannamedha, Kumar e Shankar (2022) realizaram síntese, caracterização e análise das propriedades de um material compósito magnético mesoporoso obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar e nitrato de ferro (III), bem como sua aplicação potencial na remoção de sulfametoxazol da água. O biocarvão produzido apresentou grande capacidade de adsorção de sulfametoxazol em meio aquoso ($169,49 \text{ mg g}^{-1}$).

Prasannamedha *et al.* (2022) realizaram a síntese de carbono magnético a partir do bagaço de cana-de-açúcar. Inicialmente, o bagaço de cana foi submetido a um processo de carbonização hidrotérmica, seguido por ativação térmica. O produto resultante desse processo foi convertido em forma sólida como pequenas esferas utilizando alginato de sódio. Essas esferas foram então utilizadas como adsorvente para a remoção de sulfametoxazol em sistemas de batelada e coluna e mostrou-se um adsorvente viável.

A adsorção de sulfametoxazol indica que biocarvões derivados do bagaço de cana-de-açúcar se mostraram eficientes na remoção de compostos orgânicos aromáticos sulfurados, como é o caso dos tiofenos, benzotiofenos, dibenzotiofenos e seus derivados. Além disso, no sulfametoxazol, o enxofre está em seu estado hexavalente (Juela *et al.*, 2021), mesmo estado dos compostos sulfurados presentes no diesel após submetidos a um processo oxidativo (Tanaka, 2018).

Também foi encontrado o estudo de Hassan *et al.* (2022), no qual os pesquisadores utilizaram um biocarvão derivado do bagaço de cana-de-açúcar para adsorver o ácido perfluoro-octanossulfônico (PFOS). Foram utilizadas nanopartículas de hematita para modificar o biocarvão e, assim, induzir propriedades magnéticas. Utilizando o modelo da isoterma de Langmuir, eles calcularam a capacidade máxima de adsorção de PFOS: $120,44 \pm 12,37 \text{ mg/g}$.

Por meio da busca 3, foram encontrados dois trabalhos que abordaram a remoção de compostos de enxofre do diesel em compostos relacionados ao bagaço de cana-de-açúcar.

Golnari *et al.* (2022) utilizaram um biocarvão derivado do bagaço de cana-de-açúcar para remover compostos sulfurados do diesel. Foram sintetizados diversos adsorventes formados pelo biocarvão e CuFe_2O_4 , alcançando uma eficiência de adsorção de até 98,6%. A reação de adsorção se adequou ao modelo da isoterma de Langmuir e é uma reação espontânea, tornando o processo favorável.

Li *et al.* (2016) desenvolveram diversos biocarvões derivados da lignina e modificados por hidrogenofalato de potássio. O biocarvão foi utilizado para remover dibenzotiofeno de um padrão modelo de óleo. O biocarvão ativado à temperatura de 800°C apresentou uma alta capacidade de adsorção e pode ser reciclado por até cinco vezes. Sabendo que o bagaço de cana-de-açúcar é rico em lignina, o biocarvão desenvolvido por Li *et al.* (2016) pode ser desenvolvido a partir desse resíduo.

Com o objetivo de identificar tendências tecnológicas, inovações e lacunas associadas a dessulfurização utilizando bagaço de cana-de-açúcar, foram realizadas buscas por pedidos de patentes na ferramenta Questel Orbit Intelligence®. A quantidade de famílias de patentes encontradas ao realizar as buscas indicadas no Quadro 2 pode ser visualizada no Quadro 4.

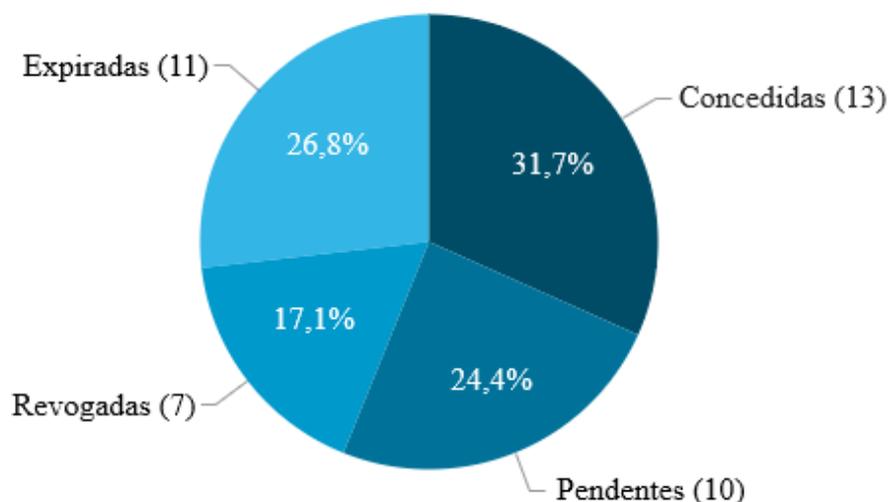
Quadro 4 – Quantidade de famílias de patentes por busca na ferramenta Questel Orbit Intelligence®

BUSCA	QUANTIDADE DE FAMÍLIAS DE PATENTES
1	41
2	10

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo

Na primeira busca, foram identificadas as famílias de patentes que exploraram o potencial do bagaço de cana-de-açúcar em processos de adsorção de diversos tipos de componentes químicos. Foram encontradas 41 famílias de patentes, no entanto, nem todas estão ativas. O Gráfico 3 indicou o *status* legal das famílias de patentes encontradas.

Gráfico 3 – Famílias de patentes por *status* legal



Fonte: Adaptado do Questel Orbit Intelligence® (2023)

Os resultados da busca por pedidos de patentes relacionados ao uso de bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente revelaram uma variedade de *status* legais. A maior parte das patentes encontradas (31,7%) está concedida, o que significa que os detentores dessas patentes têm o direito legal de exclusividade com base nas reivindicações patenteadas. Isso sugere um interesse significativo na proteção dessas inovações e implica um potencial valor comercial desses materiais adsorventes.

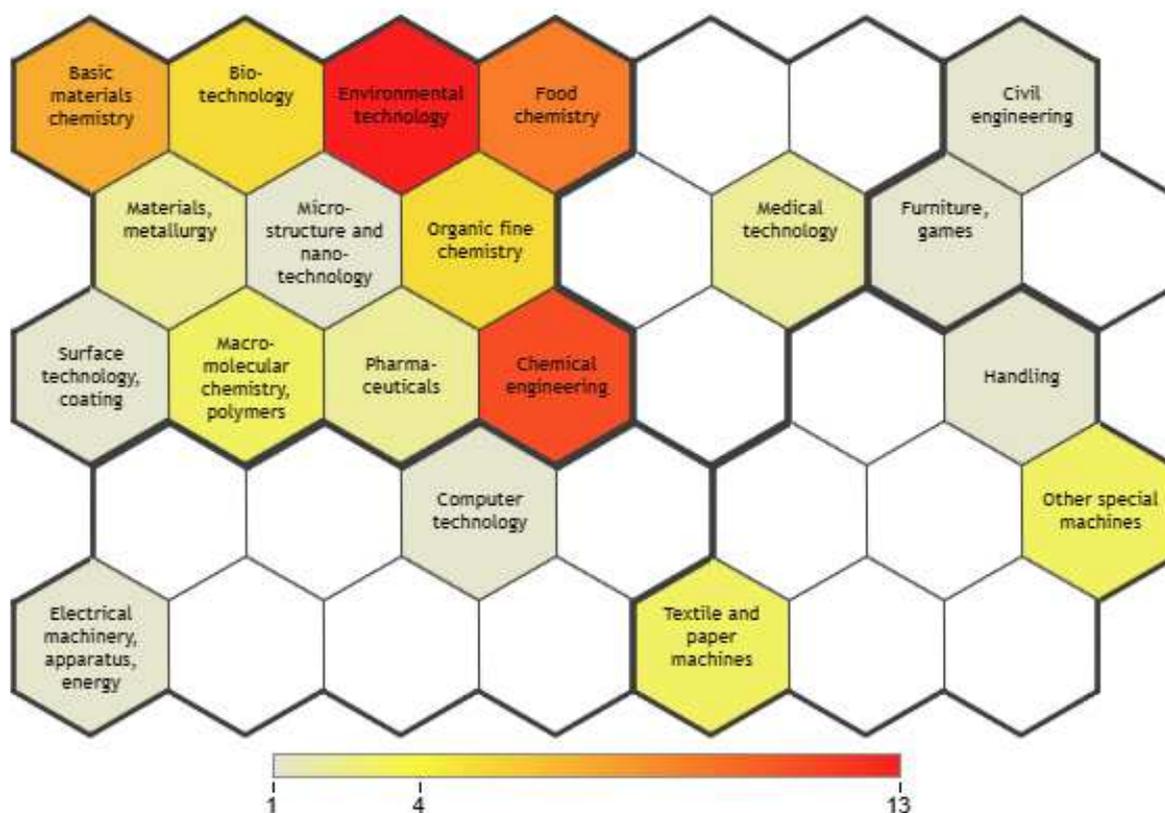
Além disso, um grupo considerável (26,8%) de patentes está expirado, o que indica que suas reivindicações de exclusividade não são mais válidas. Isso pode sugerir que inovações relacionadas ao uso do bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente estiveram sob proteção em algum momento no passado, mas agora estão disponíveis para uso público.

Há também um conjunto de pedidos de patentes (24,4%) que está pendente, ainda em processo de avaliação pelas autoridades competentes. Embora não tenham garantido proteção legal completa, esses pedidos podem receber concessões de patente no futuro, indicando atividade atual de pesquisa e desenvolvimento na área, com inventores buscando proteger essas novas tecnologias.

Finalmente, um percentual menor (17,1%) representa as patentes revogadas, que inicialmente foram concedidas, mas perderam seu *status* devido a razões específicas. Isso sugere que, embora tenha havido tentativas anteriores de proteger inovações relacionadas ao uso do bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente, algumas tentativas não foram bem-sucedidas ou foram retiradas voluntariamente.

Entretanto, vale ressaltar que grande parte das famílias de patentes encontradas não se referem diretamente ao uso do bagaço de cana-de-açúcar como material adsorvente. Dessa forma, foi necessário analisar os tipos de tecnologias presentes nos resultados encontrados. O Gráfico 4 indicou a distribuição das famílias de patentes por domínio tecnológico.

Gráfico 4 – Famílias de patentes da busca 1 por domínio tecnológico



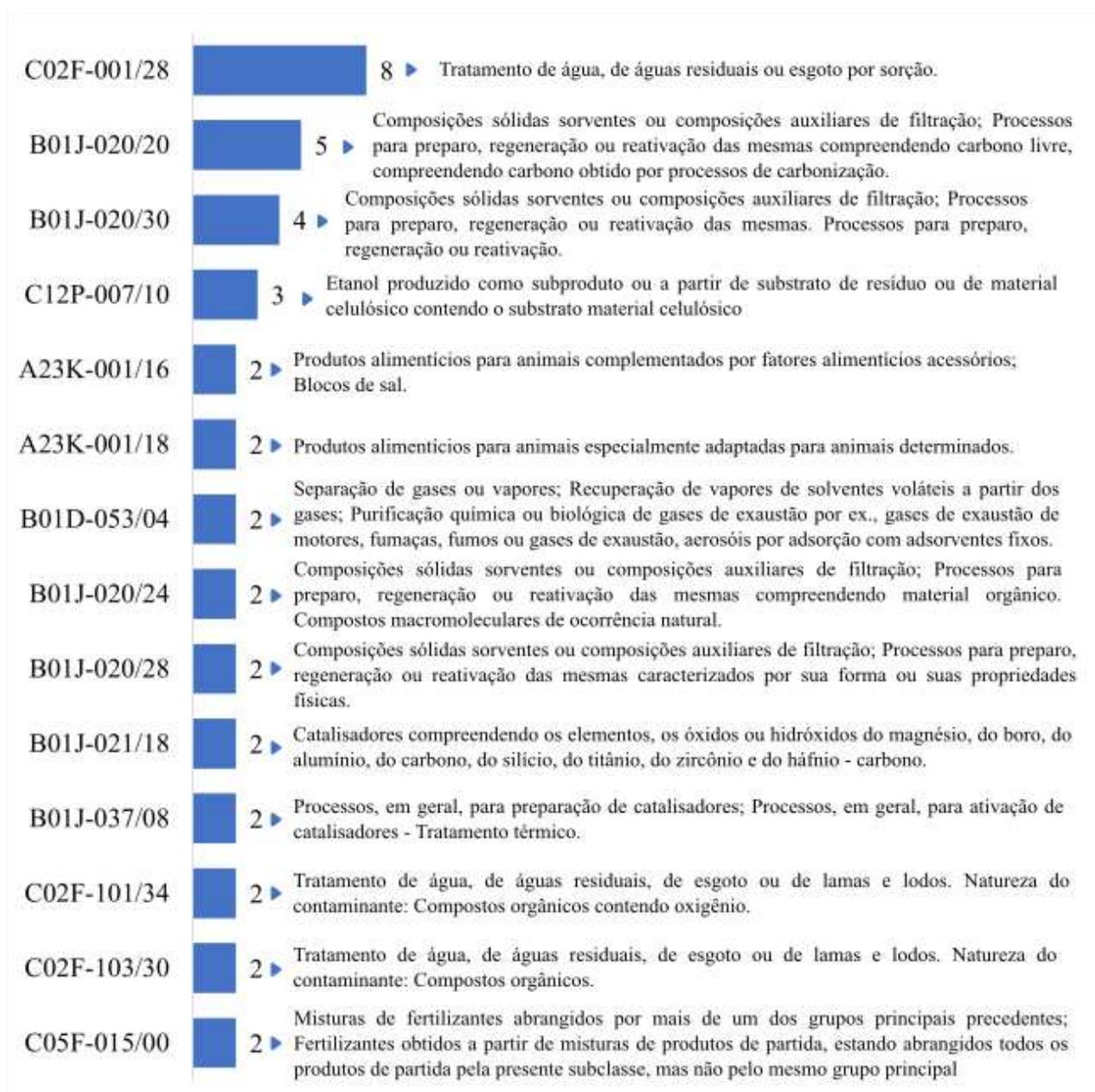
Fonte: Adaptado do Questel Orbit Intelligence® (2023)

O Gráfico 4 revelou um panorama interessante no que diz respeito aos domínios tecnológicos abordados. Esperava-se encontrar predominantemente áreas correlatas, como Engenharia Química, Tecnologia Ambiental, Biotecnologia e Materiais Básicos de Química, o que de fato se confirmou, indicando que a busca está bem direcionada para as áreas de interesse deste estudo.

No entanto, surpreendentemente, também foram identificados domínios tecnológicos que não possuem uma relação evidente com o tema da pesquisa. Entre eles, destacam-se Química Alimentar, Engenharia Civil, Máquinas Elétricas e Tecnologia Médica. Essas áreas indicaram a presença de famílias de patentes que não estão associadas com o tema principal desta prospecção. Dessa forma, foram necessárias outras análises sobre as tecnologias presentes nos resultados dessa busca.

Ainda com o objetivo de analisar os tipos de tecnologias presentes nos resultados da busca 1, foi possível observar os principais códigos da Classificação Internacional de Patentes (CIP) das famílias de patentes encontradas. O Gráfico 5 indica a quantidade de famílias de patentes por Código CIP, sendo que estão presentes no gráfico apenas os códigos que apareceram em, no mínimo, duas famílias de patentes.

Gráfico 5 – Quantidade de famílias de patentes por Código CIP



Fonte: Adaptado do Questel Orbit Intelligence®, (2023)

Diante desses resultados, destaca-se nessa busca a publicação de patentes em seções diferentes, como: Seção A (Necessidades Humanas), Seção B (Operações de Processamento; Transporte) e Seção C (Química, Metalurgia). Portanto, é possível observar que se destacaram na busca o desenvolvimento de adsorventes, principalmente para tratamento de águas residuais. Considerando a diferença de tecnologias presentes nos resultados da busca, as descrições das invenções foram analisadas, e as famílias de patentes que associaram o bagaço de cana-de-açúcar com processos de adsorção foram descritas. Entre as patentes que estão concedidas ou pendentes (pedidos de patente), destacaram-se as seguintes.

JP2022077525 – Desenvolvimento de um desodorizante de ambientes utilizando bagaço de cana-de-açúcar. Esse bagaço remove o odor por meio do processo de adsorção (Questel Orbit Intelligence®, 2023).

IN202241028661 – Método de fabricação de um compósito de filtração derivado do bagaço de cana-de-açúcar e estruturas metalorgânicas (MOFs). Esse compósito realiza a filtragem por adsorção (Questel Orbit Intelligence®, 2023).

IN201821019585 – Processo para conversão de fibras de bagaço de cana-de-açúcar em nanofibras. Essas nanofibras podem ser utilizadas em processos de adsorção (Questel Orbit Intelligence®, 2023).

IN201911014266 – Tratamento de águas residuais utilizando uma mistura de nanopartículas de titânio e bagaço de cana-de-açúcar. O tratamento é focado na adsorção de compostos orgânicos e corantes presentes em águas residuais de indústrias de tinta (Questel Orbit Intelligence®, 2023).

IN201721013594 – Aero-Adsorber: um equipamento projetado para controlar, por meio da adsorção, a poluição do ar na fonte. O equipamento funciona com diversos adsorventes de baixo custo, entre eles, o bagaço de cana-de-açúcar (Questel Orbit Intelligence®, 2023).

IN432714 – Membrana de nanocristais de celulose provenientes do bagaço de cana-de-açúcar, quitosana e N,N-metilenobisacrilamida para adsorver corantes (Questel Orbit Intelligence®, 2023).

IN426632 – Processo de tratamento de efluentes por adsorção, utilizando diversas etapas e bioadsorventes. O bagaço de cana-de-açúcar é um dos bioadsorventes utilizados na remoção de metais dos efluentes nesse processo (Questel Orbit Intelligence®, 2023).

IN202311011421 – Desenvolvimento de um adsorvente compósito hidrofílico para remoção de corantes. O adsorvente é composto de álcool polivinílico e cristais de nanocelulose provenientes do bagaço de cana-de-açúcar (Questel Orbit Intelligence®, 2023).

CN114177886 – Desenvolvimento de um material compósito, formado por biocarvão derivado do bagaço de cana-de-açúcar e por óxido de alumínio. O material foi aplicado para adsorção de ofloxacina (Questel Orbit Intelligence®, 2023).

Além dessas, algumas famílias de patentes que foram revogadas ou expiradas também foram analisadas.

CN103551124 – Método de preparação para um adsorvente derivado do bagaço de cana-de-açúcar e modificado por poliamino com o objetivo de adsorver corantes aniônicos de águas residuais (Questel Orbit Intelligence®, 2023).

WO2014/012134 – Biossorvente baseado em bagaço de cana-de-açúcar, casca de melancia e grama de jardim. É apresentado também um método de utilização do biossorvente para adsorção de toxinas, metais e metais pesados em água ou terra (Questel Orbit Intelligence®, 2023).

CN106732375 – Preparação de um biocarvão modificado por argila mineral. O biocarvão é derivado de diversos resíduos agroindustriais, entre eles, o bagaço de cana-de-açúcar, e tem como objetivo adsorver estrogênio de cursos d'água (Questel Orbit Intelligence®, 2023).

CN106744938 – Descreve um método de produção de carvão ativado a partir do bagaço de cana-de-açúcar. Esse carvão ativado apresenta alta capacidade de adsorção de diversos corantes (Questel Orbit Intelligence®, 2023).

Essa variedade de invenções mostrou uma grande diversidade de compostos que podem ser adsorvidos pelo bagaço de cana-de-açúcar. A existência de patentes indicou a presença de valor comercial nesse tipo de aplicação, sendo que as tecnologias que utilizam o bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente demonstraram seu potencial como um material sustentável e de baixo custo para melhorar a qualidade de diversos produtos e processos industriais.

Notou-se também que a maior parte dos documentos encontrados que utilizaram o bagaço de cana-de-açúcar e seus derivados como adsorventes foram publicados pelos mesmos países que mais produziram documentos científicos (Gráfico 2). Esses países estão entre os maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo, o que leva a uma disponibilidade significativa de bagaço. Além disso, a crescente preocupação com a poluição ambiental e a necessidade de tratamento de águas residuais impulsionaram a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, como o uso do bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente, levando ao pedido de patentes nessa área.

Todos os resultados obtidos pela busca 2 estavam contidos na busca 1. Dessa forma, a análise das famílias de patentes encontradas por essa busca não foi realizada.

Portanto, apesar das diversas aplicações dos derivados do bagaço de cana-de-açúcar em processos de adsorção, em nenhuma das buscas foram encontradas invenções que o utilizaram como adsorvente em combustíveis ou em processos de adsorção de compostos sulfurados. Isso indicou uma lacuna nessa área que pode ser explorada, pois o bagaço de cana-de-açúcar já se mostrou eficiente em remover compostos sulfurados em soluções que mimetizam o diesel (Golnari *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2016).

4 Considerações Finais

A realização desta prospecção tecnológica sobre o uso do bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente para a remoção de enxofre do diesel permitiu a obtenção de um mapeamento tecnológico significativo a partir da análise dos dados coletados e da discussão dos resultados. Ao longo desta prospecção, foi possível identificar uma variedade de estudos científicos e de patentes que evidenciaram o potencial uso do bagaço de cana-de-açúcar como um adsorvente eficaz e de baixo custo para diversas aplicações.

Os resultados das pesquisas e das patentes analisadas demonstraram consistentemente a capacidade do bagaço de cana-de-açúcar e seus derivados de adsorver diversos compostos químicos, destacando sua viabilidade como uma alternativa promissora em processos de purificação e remoção de compostos contendo enxofre. A abundância e a renovabilidade da

matéria-prima, aliadas à sua eficiência de adsorção, tornam esse resíduo um recurso atrativo para soluções ambientalmente amigáveis em diversos setores.

Os países com maior produção de bagaço de cana-de-açúcar também foram os que mais publicaram artigos e pedidos de patentes sobre processos de adsorção utilizando esse resíduo. Observou-se um comportamento crescente na produção sobre esse tipo de aplicação para o bagaço. Além disso, a quantidade significativa de patentes encontradas indicou a presença de interesse comercial em proteger inovações sobre essa tecnologia.

Entretanto, é interessante ressaltar que, apesar da ampla documentação encontrada sobre as diversas aplicações do bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente, foram encontrados poucos estudos relacionados ao tema em questão, e nenhuma patente acerca da remoção de compostos sulfurados no diesel. Essa lacuna abre espaço para futuras pesquisas e desenvolvimentos nessa direção. A remoção de compostos sulfurados do diesel é uma questão de primordial importância, considerando os impactos ambientais e de saúde associados à emissão desses poluentes na atmosfera após o processo de combustão desse combustível.

5 Perspectivas Futuras

Embora o bagaço de cana-de-açúcar tenha demonstrado ser uma alternativa promissora para a adsorção de íons e moléculas poluentes em diferentes contextos, sua aplicação específica para a remoção de compostos sulfurados do diesel necessita de maior atenção. Este estudo ressaltou a necessidade de explorar e de investigar mais profundamente essa aplicação potencial, abrindo oportunidades para contribuições científicas e tecnológicas significativas no campo da remoção desses poluentes dos combustíveis e, conseqüentemente, a mitigação de seus impactos ambientais.

O resíduo proveniente da cana-de-açúcar, conhecido como bagaço, é uma substância em abundância tanto no Brasil quanto globalmente. Portanto, torna-se crucial explorar o potencial desse subproduto em aplicações tecnológicas mais sofisticadas. Dessa forma, a criação de tecnologias voltadas para a adsorção de compostos de enxofre a partir de resíduos industriais assume uma grande relevância. Isso se deve à necessidade crescente de desenvolver novas abordagens de dessulfurização, impulsionadas por regulamentações cada vez mais rigorosas.

Esta prospecção analisou dados com algumas limitações, como idioma de busca e bases de dados utilizados. Além da produção de artigos, artigos de revisão e capítulos de livros, uma análise mais detalhada, que inclua trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado, pode apresentar novas perspectivas sobre o estado da arte desse tipo de aplicação do bagaço de cana-de-açúcar.

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições FAPDF, CNPq, Capes e FINATEC pelo suporte financeiro.

Referências

- ABDOLALI, A. *et al.* Typical lignocellulosic wastes and by-products for biosorption process in water and wastewater treatment: a critical review. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 160, p. 57-66, 2014.
- AMÉRICO, J. H. P. *et al.* Ocorrência, destino e potenciais impactos dos fármacos no ambiente. **SaBios – Revista de Saúde e Biologia**, [s.l.], v. 8, n. 2, 2013.
- BHATNAGAR, Amit; SILLANPÄÄ, Mika. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment – a review. **Chemical Engineering Journal**, [s.l.], v. 157, n. 2-3, p. 277-296, 2010.
- BRANDÃO, Poliana Cardoso *et al.* **Avaliação do uso do bagaço de cana como adsorvente para a remoção de contaminantes, derivados do petróleo, de efluentes**. 2006. 160p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.
- CREAMER, Anne Elise; GAO, Bin; ZHANG, Ming. Carbon dioxide capture using biochar produced from sugarcane bagasse and hickory wood. **Chemical Engineering Journal**, [s.l.], v. 249, p. 174-179, 2014.
- DING, Wenchuan *et al.* Pyrolytic temperatures impact lead sorption mechanisms by bagasse biochars. **Chemosphere**, [s.l.], v. 105, p. 68-74, 2014.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cana**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana> Acesso em: 20 ago. 2023.
- GAN, Chao *et al.* Effect of porous zinc–biochar nanocomposites on Cr (VI) adsorption from aqueous solution. **RSC Advances**, [s.l.], v. 5, n. 44, p. 35.107-35.115, 2015.
- GOLNARI, Kobra *et al.* High-performance total sulfur removal from diesel fuel using amine functionalized biochar: Equilibrium, kinetic study and experimental design. **Chemical Engineering Research and Design**, [s.l.], v. 185, p. 253-266, 2022.
- GUO, Yafei *et al.* Porous activated carbons derived from waste sugarcane bagasse for CO₂ adsorption. **Chemical Engineering Journal**, [s.l.], v. 381, p. 122736, 2020.
- HASSAN, Masud *et al.* Magnetic biochar for removal of perfluorooctane sulphonate (PFOS): interfacial interaction and adsorption mechanism. **Environmental Technology & Innovation**, [s.l.], v. 28, p. 102593, 2022.
- JUELA, Diego *et al.* Adsorption properties of sugarcane bagasse and corn cob for the sulfamethoxazole removal in a fixed-bed column. **Sustainable Environment Research**, [s.l.], v. 31, n. 1, p. 1-14, 2021.
- LI, Jing-Jing *et al.* Adsorptive desulfurization of dibenzothiophene over lignin-derived biochar by one-step modification with potassium hydrogen phthalate. **RSC Advances**, [s.l.], v. 6, n. 102, p. 100352-100360, 2016.
- LYU, Honghong *et al.* Experimental and modeling investigations of ball-milled biochar for the removal of aqueous methylene blue. **Chemical Engineering Journal**, [s.l.], v. 335, p. 110-119, 2018.

PRASANAMEDHA, G. *et al.* Enhanced adsorptive removal of sulfamethoxazole from water using biochar derived from hydrothermal carbonization of sugarcane bagasse. **Journal of Hazardous Materials**, [s.l.], v. 407, p. 124825, 2021.

PRASANAMEDHA, G. *et al.* Sodium alginate/magnetic hydrogel microspheres from sugarcane bagasse for removal of sulfamethoxazole from sewage water: Batch and column modeling. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 307, p. 119523, 2022.

PRASANAMEDHA, G.; KUMAR, P. Senthil; SHANKAR, Vignesh. Facile route for synthesis of FeO/Fe₃C/ γ -Fe₂O₃ carbon composite using hydrothermal carbonization of sugarcane bagasse and its use as effective adsorbent for sulfamethoxazole removal. **Chemosphere**, [s.l.], v. 289, p. 133214, 2022.

QUESTEL ORBIT INTELLIGENCE®. **Site Oficial**. 2023. Disponível em: <https://www.orbit.com/>. Acesso em: 20 set. 2023.

SARKER, Tushar C. *et al.* Sugarcane bagasse: a potential low-cost biosorbent for the removal of hazardous materials. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [s.l.], v. 19, p. 2.343-2.362, 2017.

SHIKUKU, Victor O.; JEMUTAI-KIMOSOP, Selly. Efficient removal of sulfamethoxazole onto sugarcane bagasse-derived biochar: Two and three-parameter isotherms, kinetics and thermodynamics. **South African Journal of Chemistry**, [s.l.], v. 73, n. 1, p. 111-119, 2020.

SILVA, Thiago Emanuel Pereira da *et al.* Enxofre: um poluente em potencial na composição do óleo diesel brasileiro. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 25 a 28 de novembro de 2013, Centro Universitário Jorge Amado, Unijorge, Salvador, BA. 2013. **Anais** [...]. Salvador, BA, 2013.

TANAKA, Fabiana Lie. **Revisão dos métodos alternativos à hidrodessulfurização do diesel: desafios e perspectivas**. 2018. 83p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Departamento Acadêmico de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, PR, 2018.

TEIXEIRA, Luciene Pires. **Prospecção tecnológica: importância, métodos e experiências da Planaltina**, DF: Embrapa Cerrados, 2013.

ULLAH, Ihsan *et al.* Biosorption of chromium onto native and immobilized sugarcane bagasse waste biomass. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 60, p. 99-107, 2013.

WANG, Futao *et al.* Single and binary adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions using sugarcane cellulose-based adsorbent. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 241, p. 482-490, 2017.

ZHANG, Ming *et al.* Preparation and characterization of a novel magnetic biochar for arsenic removal. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 130, p. 457-462, 2013.

Sobre os Autores

Ricardo Miguel Gonçalves da Silva

E-mail: ricardomiguel.gds21@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5350-0408>

Graduando de Engenharia de Energia pela Faculdade UnB Gama, Universidade de Brasília.

Endereço profissional: Laboratório de Tecnologias Ambientais, Materiais e Energia (LATAME), Laboratório Biogama, Faculdade UnB Gama, Universidade de Brasília, Brasília, DF. CEP: 72444-210.

Patrícia Regina Sobral Braga

E-mail: sobral.patricia@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0149-3663>

Doutora em Química pela Universidade de Brasília em 2011.

Endereço profissional: Laboratório de Tecnologias Ambientais, Materiais e Energia (LATAME), Laboratório Biogama, Faculdade UnB Gama, Universidade de Brasília, Brasília, DF. CEP: 72444-210.

Andréia Alves Costa

E-mail: andreiaacosta@unb.br

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9043-6910>

Pós-doutora em Química pela Universidade de Brasília em 2011.

Endereço profissional: Laboratório de Tecnologias Ambientais, Materiais e Energia (LATAME), Laboratório Biogama, Faculdade UnB Gama, Universidade de Brasília, Brasília, DF. CEP: 72444-210.