



KARINA KELLY CORREA MOREIRA

**REVISÃO DA LITERATURA SOBRE A PRODUÇÃO DE
CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO BAGAÇO DE CANA-DE-
AÇÚCAR**

**LAVRAS – MG
2021**

KARINA KELLY CORREA MOREIRA

**REVISÃO DA LITERATURA SOBRE A PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A
PARTIR DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de conclusão de curso (TCC)
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso
de Engenharia Química, para a obtenção do
título de Bacharel.

Prof. (a) Dr. (a) Evanise Silva Penido
Orientadora
Prof. Dr. Fabiano Magalhães
Coorientador

LAVRAS – MG
2021

KARINA KELLY CORREA MOREIRA

**REVISÃO DA LITERATURA SOBRE A PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A
PARTIR DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**LITERATURE REVIEW ON THE PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON
FROM SUGARCANE BAGASSE**

Trabalho de conclusão de curso (TCC)
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso
de Engenharia Química, para a obtenção do
título de Bacharel.

_____Aprovada_____ em 18 de novembro de 2021

Dr^a Evanise Penido Silva - UFLA
Ms. Pedro Barroso Gomes - UFLA
Dr^a Natália Maira Braga Oliveira - UFLA

Prof. (a) Dr. (a) Evanise Silva Penido
Orientadora
Prof. Dr. Fabiano Magalhães
Coorientador

**LAVRAS – MG
2021**

RESUMO

Pretendeu-se, neste trabalho, realizar uma revisão bibliográfica sobre a produção de carvão ativado a partir do bagaço de cana-de-açúcar, considerando, principalmente, as metodologias aplicadas na preparação desse precursor, os tipos de ativações, as capacidades de adsorção e áreas superficiais desenvolvidas. Sendo assim, foram realizadas buscas nas principais bases científicas, acessadas pelo site periódicos CAPES (<https://www-periodicos-capes-gov-br>), tais como SCOPUS, Web of Science, Scielo e Google Scholar. No decorrer do trabalho, estão descritos em forma de tabela as metodologias de ativação (química e física), a área superficial e a capacidade de adsorção dos 112 artigos diretamente relacionados com a produção de carvão (biocarvão) ativado a partir do bagaço da cana-de-açúcar encontrados entre os anos de 1998 a 2021. Ressalta-se que a maioria dos artigos analisados que optaram por realizar a ativação química, empregaram o ácido fosfórico como agente ativante (H_3PO_4). Entretanto, a maior área superficial ($3554,8 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) foi obtida a partir da ativação com o hidróxido de potássio (KOH). Em relação a ativação física com vapor d'água a maior área obtida foi de $1174,3 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Já a ativação física com CO_2 a maior área superficial alcançada foi de $900 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. O trabalho em questão permitiu a ampliação sobre um tema relevante, visto que o bagaço de cana-de-açúcar é um resíduo gerado em grandes quantidades. Logo, tem-se a necessidade de buscar métodos para transforma-lo em novos produtos e neste contexto, a produção de CA se demonstra como uma alternativa eficiente, visto que tal adsorvente possui diversas aplicações.

Palavras-chave: Bagasso de cana-de-açúcar. Carvão ativado. Metodologias. Área superficial.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVO	8
3 METODOLOGIA	8
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
4.1 Bagaço de cana-de-açúcar e suas propriedades.....	9
4.2 Pirólise	10
4.3 Carvão ativado.....	12
4.3.1 Ativação física	13
4.3.2 Ativação Química.....	14
4.4 Propriedades dos CAs	15
4.4.1 Área superficial	16
4.4.2 Morfologia e grupos de superfície	17
5 RESULTADOS.....	18
5.1 Ativação Física com vapor d'água.....	19
5.2 Ativação física com CO ₂	22
5.3 Ativação Química.....	23
6 CONCLUSÃO	35
7 REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

A cana de açúcar, cultura cultivada mundialmente, é a matéria-prima para a produção do açúcar e do álcool, produtos essenciais e de extrema contribuição para a economia global. Segundo a Companhia Nacional do Abastecimento (CONAB, 2021), a segunda estimativa da safra 2021/2022 é para uma produção de cerca de 592 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Ainda de acordo com a Companhia estima-se que o processamento dessa cultura será destinado para a produção de 36,9 milhões de toneladas de açúcar e 25,8 bilhões de litros de etanol.

A importância econômica do cultivo da cana-de-açúcar para o agronegócio brasileiro é evidente, porém, o processamento dessa cultura resulta na geração de enormes quantidades de resíduos. Portanto, tem-se a necessidade de buscar soluções alternativas de reuso e de descarte desses resíduos, em decorrência dos impactos negativos causados por uma destinação incorreta desses subprodutos no meio ambiente (LORENA *et al.*, 2017).

Atualmente, diversas empresas do setor sucroenergético buscam um desenvolvimento sustentável, a partir de uma economia circular. A transformação dos resíduos provenientes do processamento da cana-de-açúcar em novos recursos e em produtos de valor agregado, vem sendo objeto de estudo de diversos pesquisadores. Meghana e Shastri (2020) relataram que na colheita da cana-de-açúcar são geradas grandes quantidades de palha de cana e na etapa de moagem, são gerados resíduos como o bagaço, o melaço e a lama de compactação. Dentre os resíduos citados, o bagaço de cana destaca-se como um dos resíduos mais gerados na rota de produção do açúcar. De acordo com a CONAB (2020), a moagem de 1 tonelada de cana-de-açúcar gera como resíduo cerca de 280 kg de bagaço. Considerando que a produção de cana-de-açúcar da safra 2021/2022 está estimada em cerca de 592 milhões de toneladas, a quantidade de bagaço de cana-de-açúcar gerado nesta safra é de aproximadamente 165,8 milhões de toneladas, representando cerca de 28 % da produção de cana-de-açúcar.

Dentre os usos mais comuns do resíduo, as usinas utilizam o bagaço de cana-de-açúcar como combustível em caldeiras de cogeração para a geração de calor útil (vapor) e de eletricidade (JAMES; PANDIAN, 2017). De acordo com Gopinath *et al.* (2018), as usinas brasileiras de açúcar que utilizam as caldeiras de cogeração são auto suficientes energeticamente e o excedente de eletricidade é exportado para a rede elétrica nacional. Os autores também destacaram o uso do bagaço de cana-de-açúcar para a fabricação de bioóleo a partir de um processo de pirólise rápida. Um outro uso do bagaço de cana é na construção

civil. Jagadesh, Murthy e Murugesan (2020), estudaram o uso das cinzas do bagaço de cana em várias proporções na argamassa de cimento. Segundo os autores, as propriedades mecânicas e de fratura da argamassa de cimento apresentaram propriedades aprimoradas, a partir da substituição de 10 % do cimento Portland por cinzas do bagaço de cana. Outra aplicação desse resíduo é na produção de etanol de segunda geração. Para a produção do bioetanol são utilizados o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, fontes de celulose que apresentam dois terços da energia da planta. Esses resíduos são picados e processados separadamente em um processo denominado hidrólise, nessa etapa ocorre a quebra da estrutura molecular da celulose em açúcares simples e solúveis, passíveis de se transformarem em etanol pela ação de microrganismos na etapa de fermentação (HAMELINCK; HOOIJDONK; FAAIJ, 2005). A utilização desses subprodutos para a produção do etanol de segunda geração é relevante, visto que todo o potencial energético desses insumos é explorado.

Além das soluções alternativas de reuso do bagaço de cana-de-açúcar citadas anteriormente, uma outra alternativa para o aproveitamento desse resíduo é a sua utilização como material precursor para a obtenção de carvão ativado (CA). Os CAs apresentam estruturas de carbono com alta porosidade e área superficial. Essas características conferem ao material uma capacidade de reter diversas substâncias, em um processo de adsorção (KWIATKOWSKI, 2012).

Encontra-se na literatura diversos estudos sobre o uso do CA obtido do bagaço de cana-de-açúcar para a descontaminação de variados sistemas poluídos. Por exemplo, Brito *et al.* (2020) estudaram o uso do CA obtido do bagaço de cana-de-açúcar na adsorção de herbicidas provenientes da produção agrícola encontrados em corpos d'água. Outra aplicação desse adsorvente, é no processo de descontaminação de poluentes orgânicos encontrados no ar (WANG *et al.*, 2020). Além disso, CAs vem sendo utilizado no tratamento de água cinza. O tratamento dessa água residual é considerado uma alternativa para aliviar o estresse hídrico (PATEL; MUTEEN; MONDAL, 2020). De acordo com Asadi-Kesheh *et al.* (2014), o bagaço é um resíduo agroindustrial com grande fração de carbonos. Tal característica é extremamente importante para a transformação desse subproduto em CA.

Sendo assim, o uso do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de CA é uma solução interessante para o aproveitamento desse material. São realizados diferentes processos de carbonização e ativação no bagaço para a produção do adsorvente. Geralmente, a

ativação química e a ativação física são os métodos de ativação mais utilizados (QIN; LIANG; WANG, 2014).

Muitas pesquisas sobre diferentes metodologias empregadas na preparação do carvão do bagaço de cana-de-açúcar têm sido realizadas. O precursor e a metodologia de ativação influenciam diretamente na área superficial, na capacidade de adsorção e no rendimento do adsorvente obtido. A problemática do descarte e corrosão ao equipamento que o agente químico pode causar e o baixo rendimento encontrado na produção de CA, são fatores que impulsionam as pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias empregadas na preparação desse material (LIANG; QIN; WANG, 2014).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar e apresentar uma revisão da literatura sobre a produção de carvão ativado a partir do bagaço de cana-de-açúcar.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é realizar e apresentar revisão da literatura sobre a produção de carvão ativado a partir do bagaço de cana-de-açúcar, levando em consideração, principalmente, as metodologias aplicadas na preparação desse precursor, os tipos de ativações, áreas superficiais desenvolvidas e adsorção de analitos.

3 METODOLOGIA

Foram realizadas buscas nas principais bases científicas, acessadas pelo site periódicos CAPES (<https://www-periodicos-capes-gov-br>), tais como SCOPUS, Web of Science, Scielo e Google Scholar. As seguintes palavras-chaves foram utilizadas, tanto em inglês, quanto em português: carvão ativado (activated carbon); biocarvão ativado (activated biochar); bagaço de cana-de-açúcar (sugarcane bagasse); ativação química (chemical activation); e ativação física (physical activation). Os artigos diretamente relacionados com a produção de carvão (biocarvão) ativado a partir do cana-de-açúcar foram escolhidos para serem analisados. Inicialmente, os dados e resultados principais dos artigos, tais como título, ano de publicação, tipo de ativação e agente ativador, pirólise/ativação, área superficial e volume de poros, rendimento e capacidade de adsorção de compostos orgânicos e inorgânicos, foram tabelados. Posteriormente, foram gerados gráficos com as informações para classificação em ano de

publicação, tipo de ativação, tipos de agentes ativadores, etc, seguido de análise e leitura aprofundada de cada artigo.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Bagaço de cana-de-açúcar e suas propriedades

A cana-de-açúcar é uma planta de clima tropical que pertence ao gênero *Saccharum*. As espécies de cana-de-açúcar são originárias do sul e sudeste asiático e existem pelo menos seis espécies pertencente ao gênero (RODRIGUES; ROSS, 2020). De acordo com o United States Department of Agriculture (2021), o Brasil é o maior produtor desta cultura, seguido pela Índia e pela União Europeia.

Rodrigues e Ross (2020) descrevem a estrutura da cana-de-açúcar. Segundo os autores, a cana cresce em forma de touceiras, constituídas por uma parte aérea e outra subterrânea. Os constituintes da planta que estão na parte aérea são: os colmos, as folhas e as flores. Na parte subterrânea são encontrados as raízes e os rizomas. É a partir dos rizomas que surge uma nova touceira, após o corte da cana. Já o colmo, possui uma forma cilíndrica e atinge na primeira rebrota cerca de 2 metros de altura. Do colmo é extraído o caldo da cana, a principal matéria-prima para a produção de açúcar e do álcool.

Segundo a CONAB (2020), além da produção de etanol e açúcar, as unidades de produção estão buscando aumentar sua eficiência na geração de energia elétrica, auxiliando no aumento da oferta e redução dos custos, contribuindo para ampliar a sustentabilidade do setor. Para a geração de energia elétrica utiliza-se o bagaço da cana-de-açúcar, um dos subprodutos mais gerados no processamento da cana. Na Figura 1, é uma foto de amostras de bagaço de cana-de-açúcar.

Figura 1- Foto do bagaço de cana-de-açúcar.



Fonte: Da Autora (2021).

Existem inúmeros estudos sobre a aplicabilidade do bagaço na literatura, o que demonstra a versatilidade desse resíduo obtido a partir da moagem e extração do caldo da cana. Da Costa e Bocchi (2012) destacam o uso do bagaço na produção de compósitos, na produção de papel e bioplástico e como substrato na produção de milho hidropônico para a alimentação animal. Além disso, como citado anteriormente, o bagaço é utilizado como matéria-prima para a produção de etanol de segunda geração (FAAIJ; HAMELINCK; HOOIJDONK, 2005) e um outro uso é na construção civil (JAGADESH; MURTHY; MURUGESAN, 2020), sendo empregado na produção de cimento, dentre várias outras aplicações.

Em relação a composição química encontrada nesse resíduo, estudos relatam que o bagaço in-natura é composto, aproximadamente, por 50% de celulose, 25% de hemicelulose e 25% de lignina (MANIKANDAN; MOGANRAJ, 2014). De acordo com De Castro, Cassiano e Ferreira (2009), o bagaço apresenta uma composição de 45,15 % de carbono, oxigênio 41,80 %, hidrogênio 5,40 % e cinzas 7,40 %. A estrutura química do bagaço e o seu alto teor de carbono são características importantes deste material lignocelulósico. Tais características demonstram que o bagaço é um excelente precursor e tornam a conversão pirolítica dessa biomassa atrativa.

4.2 Pirólise

A pirólise é definida como a conversão termoquímica de biomassa em um ambiente pobre em oxigênio a temperaturas acima de 300°C. Sob essas condições, os materiais orgânicos se decompõem em gases não condensáveis, líquidos orgânicos condensáveis e um sólido carbonáceo (biochar) (KYLECROMBI; MASEK, 2015). O tempo de residência, a taxa de aquecimento, a atmosfera da pirólise, o tipo de reator/forno e a temperatura final são parâmetros do processo de pirólise que influenciam diretamente no tipo de coproduto obtido (GHODAKE *et al.*, 2021). Segundo Wang *et al.* (2017) a pirólise da biomassa é um método promissor para a produção de combustíveis e produtos químicos de valor agregado, visto que esse material é o único recurso carbonáceo renovável.

De acordo com Baldassin Junior (2015) no processo de pirólise a degradação da biomassa acontece nos três principais polímeros presentes nesse material lignocelulósico, ou seja, na celulose, na hemicelulose e na lignina. Inicialmente, diferentes ligações químicas dentro dos polímeros são quebradas, esse rompimento é o responsável por liberar os

compostos voláteis e por favorecer a formação de reações de rearranjo dentro da matriz do resíduo. Tais reações são conhecidas como reações primárias. Já as reações secundárias que ocorrem no processo de pirólise são resultantes da instabilidade de alguns compostos voláteis liberados nas reações primárias que sofrem conversões adicionais, como craqueamento ou recombinação. No craqueamento, ocorrem quebra de ligações químicas dentro dos compostos voláteis, que resultam na formação de moléculas de menor peso molecular. Entretanto, no mecanismo primário (reações primárias) ocorrem reações de fragmentação formando também compostos de baixo peso molecular (COLLARD; BLIN, 2014).

Como citado anteriormente, os parâmetros do processo de pirólise influenciam no tipo de co-produto obtido. Quando o objetivo é obter um biochar, emprega-se o processo de pirólise convencional (pirólise lenta) (MESA, 2011). Nesse processo ocorrem reações de rearranjo intra e intermolecular, que resultam em um maior grau de reticulação e em uma maior estabilidade térmica do resíduo. Durante essa etapa são formados anéis de benzeno e a combinação desses anéis resulta na formação de uma estrutura policíclica. Todas essas reações de rearranjo são geralmente acompanhadas pela liberação de água ou gás incondensável, que causam um aumento no conteúdo relativo de carbono fixo do sólido (COLLARD; BLIN, 2014; WEBER; QUICKER, 2018).

As aplicações do biochar são diversas, variando desde a produção de calor e energia, limpeza de gases de combustão, aplicações metalúrgicas, uso na agricultura e pecuária, material de construção e em uso medicinal (WEBER; QUICKER, 2018). Ainda de acordo com os autores, o biochar vem se destacando como um substituto para portadores de carbono fóssil em várias dessas aplicações. Outra aplicação do biochar é no processamento do minério de ferro. Sua utilização apresenta grandes vantagens em comparação com o uso de carvão mineral, por não conter chumbo, enxofre e mercúrio e por apresentar baixo conteúdo de cinzas (PELÁEZ-SAMANIEGO *et al.*, 2006 *apud* PELÁEZ-SAMANIEGO, 2007).

Além disso, diversos estudos relatam que a aplicabilidade de materiais carbonáceos como adsorvente pode ser melhorada, a partir de tratamentos físicos e/ou químicos, os quais são fundamentais para a produção de um material de alta área superficial, conhecido como carvão ativado (DAWARE; GOLGATE, 2020; FINGOLO *et al.*, 2020; PANG, *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020).

4.3 Carvão ativado

Segundo Badosz (2006), o carvão ativado (CA) é um material carbonáceo, que passou por processo de ativação, caracterizado por possuir cristalitos em sua estrutura, distribuídos e reticulados de forma aleatória, contendo também baixas proporções de matéria inorgânica (cinzas), derivada do precursor. Durante o processo de ativação, os espaços entre os cristalitos tornam-se livre de matéria carbonosa menos organizada e, ao mesmo tempo, parte do carbono é removido dos cristalitos. Os canais resultantes através das regiões grafíticas e dos interstícios entre os cristalitos do carvão ativado, juntamente com fissuras dentro e paralelamente aos planos grafíticos, constituem a estrutura porosa, que contém pequenas quantidades de diferentes heteroátomos, como oxigênio e hidrogênio, e, geralmente, possui uma elevada área superficial.

Em relação aos precursores utilizados na preparação do CA, considera-se, normalmente, materiais classificados como biomassa e que possuem alto teor de carbono, podem ser ativados. Tais materiais são constituídos principalmente de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio (YUNUS *et al.*, 2020). Geralmente os resíduos agrícolas apresentam em sua composição uma alta quantidade de carbono e baixo conteúdo inorgânico, por essas características são conhecidos como precursores atraentes para a produção de CA (DÍAZ-MUÑOZ *et al.*, 2016; AGARWAL; GUPTA; NAYAK, 2015).

Diversos estudos destacam o uso de CAs para a adsorção de várias substâncias. Ding *et al.* (2021) utilizam resíduos de chá para a produção de CA usado como adsorvente de glicoproteínas. Tais proteínas atuam como biomarcadores no diagnóstico de doenças. Já no estudo de Yuhan, Amano e Machida (2021) é usado o bambu como precursor para a fabricação de CA, sendo o material empregado para a adsorção de um poluente facilmente penetrante em solos e em corpos d'água, o íon nitrato (NO_3^-). Outra aplicação do carvão ativado é na adsorção de gases. Al Mesfer (2020) estuda o uso de CA a partir de casca de noz para a captura de CO_2 , um gás presente em alta quantidade na atmosfera e responsável pelo aquecimento global.

Nos diferentes processos de adsorção, tanto na fase gasosa quanto na fase líquida, as moléculas ou átomos (adsorvíveis) são fixados (adsorvidos) na superfície do carbono (adsorvente) por interações físicas (forças eletrostáticas e dispersivas) e/ou ligações químicas. A adsorção ocorre nos poros encontrados na superfície do CA, tais cavidades podem ser classificados em três grupos: poros com diâmetros menores que 2 nm (microporos), poros

com diâmetros maiores que 50 nm (macroporos) e poros entre esses valores (mesoporos). Os valores relativamente altos das áreas de superfície dos carvões ativados são principalmente devido a contribuição dos microporos e a maior parte da adsorção ocorre nestes poros. Os mesoporos e macroporos também desempenham um papel muito importante em qualquer processo de adsorção (BANDOSZ, 2006).

Para maximizar o potencial dos poros é necessário realizar o processo de ativação no adsorvente, o qual é fundamental para a formação de poros com diâmetro interno apropriado para uma determinada aplicação, elevando a área superficial, e no desenvolvimento de grupos químicos eficazes na adsorção, como cetonas, carboxis, fenóis, éteres ou lactonas na superfície do CA (AFKHAMI; KARIMI; MANDRAKIAN, 2007). Geralmente, os métodos de ativação empregados na produção de CA, são classificados em físicos, químicos e físico-químicos (KHATAEE *et al.*, 2012).

4.3.1 Ativação física

De acordo com Basu (2013), na ativação física, é necessário, inicialmente, realizar a pirólise do precursor em temperaturas de 500 a 900 °C em uma atmosfera sem oxigênio. Após esse processo, é feita a ativação física em temperaturas de 800 a 900° C utilizando como agente ativante vapor d'água, dióxido de carbono ou ambos (GUO *et al.*, 2020; HASS; LIMA, 2018). Esses gases oxidantes reagem com os átomos de carbono e removem parte da massa interna do sólido nos microporos, contribuindo para o desenvolvimento da mesoporosidade no material (BANDOSZ, 2006). As reações entre os gases ativantes e o carbono estão representadas nas Equações 1 e 2.

Ativação com vapor d'água:



$$\Delta H = + 132 \text{ KJ/mol}$$

A reação de gaseificação de vapor "queima" o carbono (como a reação de combustão), mas segue um padrão endotérmico (BANDOSZ, 2006).

Ativação com dióxido de carbono:



$\Delta H = + 159 \text{ KJ/mol}$. A reação heterogênea entre carbono e dióxido de carbono produz monóxido de carbono e também segue um padrão endotérmico (BANDOSZ, 2006).

4.3.2 Ativação Química

O método de ativação química consiste em impregnar o precursor com um reagente químico. Geralmente, são utilizados o ácido fosfórico, hidróxido de potássio, cloreto de zinco, ácido sulfúrico entre outras substâncias, na ativação. A impregnação pode ser realizada no precursor não carbonizado, com posterior ativação por meio da pirólise em temperaturas entre 300 e 1000 °C. Após a ativação, o agente ativante é removido, expondo a estrutura porosa do carvão ativado (NIJU *et al.*, 2019; LORYUENYONG *et al.*, 2015).

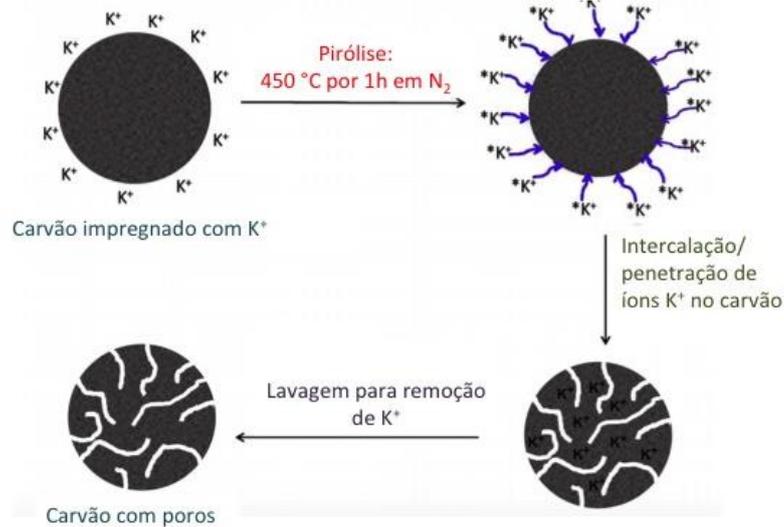
De acordo com Marsh e Rodríguez-Reinoso (2006), alguns parâmetros empregados na metodologia de ativação química, tais como a razão de impregnação e a temperatura de ativação, são condições que dependem do material utilizado para obtenção do CA e da substância ativante. Para que ocorra a interação entre o precursor e o reagente químico, é necessária uma faixa de temperatura de ativação específica. Un *et al.* (2015) e Yahya, Al-Qodah e Ngah (2015) destacam que a estrutura das moléculas do agente ativante e sua composição química são fatores que influenciam o formato, a distribuição relativa dos poros e a química superficial desenvolvidas no CA.

Por exemplo, quando KOH é impregnado na biomassa, em soluções aquosas, os íons de potássio são distribuídos aleatoriamente e podem se mover livremente, que leva à formação de poros na estrutura do carvão ativado. Em seguida, na etapa de lavagem, os íons de potássio são removidos do carvão ativado, conforme ilustrado na Figura 2.

Dentre os diversos agentes ativadores, KOH tem sido amplamente utilizado devido à sua capacidade de produzir carvão ativado com grande área superficial e distribuição de poros finos, além de baixa poluição ambiental, menor corrosividade e menor custo (Zuo *et al.*, 2016; Heidarinejad *et al.*, 2020). De maneira geral, a ativação química de ácido fosfórico e cloreto de zinco é mais utilizada para ativar materiais lignocelulósicos que não foram previamente carbonizados, enquanto compostos de metal, como hidróxido de potássio, são utilizados para ativar os precursores de carvão (Heidarinejad *et al.*, 2020). Por exemplo, Yorgun e Yıldız (2015), produziram carvões ativados com elevadas áreas superficiais a partir da ativação química de madeira de *Paulownia* (*Paulownia elongata*), utilizando H_3PO_4 como agente desidratante. O uso de H_3PO_4 durante o processo de ativação promove a despolimerização, desidratação e redistribuição dos biopolímeros constituintes. Além de favorecer a conversão de compostos alifáticos em aromáticos, aumentando assim o rendimento do carvão ativado. O H_3PO_4 tem duas funções significativas: (i) promove a decomposição pirolítica do material

inicial e (ii) promove a formação da estrutura reticulada no CA. No caso da ativação do H_3PO_4 , o ácido e seus derivados (ácido polifosfórico) interagem com o componente orgânico funcional da biomassa. Para formar uma ligação de fosfato, como ésteres de fosfato e polifosfato que se conectam e se reticulam em biopolímeros. Os poros são gerados devido à formação dessas ligações que expandem a estrutura da biomassa (Danish & Ahmad, 2018).

Figura 2 - Ilustração do processo de ativação química, com impregnação de KOH.

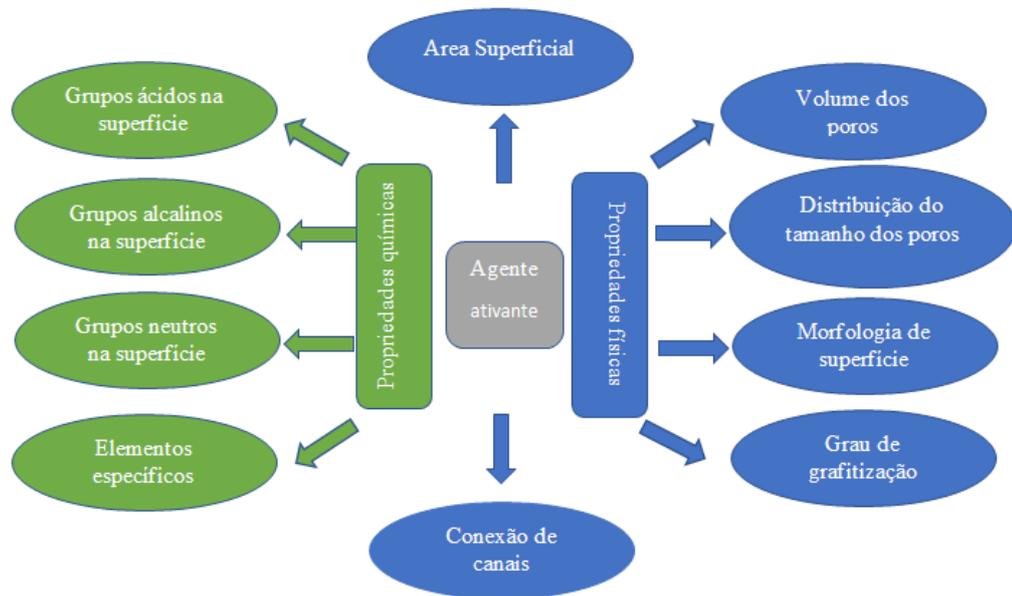


Fonte: adaptado de Heidarinejad *et al.* (2020).

4.4 Propriedades dos CAs

Na Figura 3 são apresentadas algumas das propriedades físico-químicas encontradas no carvão ativado desenvolvidas pelo agente ativante. De acordo com Gao *et al.* (2020) os agentes ativadores são fundamentais na formação das propriedades físico-químicas do CA. Em relação ao grau de grafitação do material, ou seja, no rendimento de carbono do carvão ativado, as substâncias ativantes alcalinas são responsáveis por um rendimento de carbono inferior ao rendimento encontrado nos CAs produzidos com agentes ativantes ácidos. Outras propriedades fundamentais são a área superficial e a distribuição do tamanho dos poros.

Figura 3 - Propriedades físico-químicas encontradas no CA.



Fonte: adaptado de Gao *et al.* (2020).

4.4.1 Área superficial

Um método utilizado para medir as áreas superficiais dos carvões ativados é o proposto por Brunauer-Emmett-Teller (BET). Tal procedimento emprega a adsorção de nitrogênio em diferentes pressões na temperatura do nitrogênio líquido (77 K) (NUNES; GUERREIRO, 2011). A área superficial é determinada pelo método de BET a partir do produto da área da seção transversal da molécula de nitrogênio, do número de Avogadro e da capacidade específica da monocamada de nitrogênio, que é obtida por uma equação proposta por BET com modificações adicionais. Em relação a determinação do volume de poro, o método geralmente empregado utiliza dados de isoterma de adsorção de nitrogênio. Sendo que o volume total do poro é estimado a partir da quantidade de nitrogênio adsorvido na pressão relativa mais alta e o volume do microporo é calculado a partir das isotermas de adsorção de nitrogênio usando a equação de Dubinin-Radushkevich (CASTRO *et al.*, 2000). Ressalta-se que os adsorbatos usados na adsorção, também fornecem informações sobre a estrutura dos carvões ativados, as quais, são obtidas a partir das características de adsorção de diferentes adsorbatos (NUNES; GUERREIRO, 2011).

Gao *et al.* (2020) relata que o uso de KOH como agente de ativação pode produzir um CA com uma área superficial de até 4000 m²/g e uma distribuição estreita de tamanho de

poros. Os adsorventes com essas características geralmente são empregados para o armazenamento de H_2 , CO_2 e supercapacitores. De acordo com Kumar e Jena (2016); Kumar e Jena (2017); Zhang *et al.* (2020) quando a ativação é feita com H_3PO_4 , são encontradas áreas superficiais menores em comparação as áreas dos CAs ativados com KOH. Já em relação ao volume dos poros, o CA fabricado com KOH apresenta uma microporosidade homogênea e no CA feito com H_3PO_4 observa-se a formação de mesoporos e macroporos. O desenvolvimento de poros de diferentes tamanhos também é encontrado nos carvões ativados com $ZnCl_2$ que apresentam microporosidade e uma pequena quantidade de mesoporos (HEIDARI *et al.*, 2014; SALAME; BANDOZ, 2000). Outra propriedade química dos carvões é a morfologia da superfície.

4.4.2 Morfologia e grupos de superfície

O princípio utilizado para caracterizar a superfície do CA é baseado na microscopia eletrônica de varredura (MEV). Dentre as diversas técnicas utilizadas para a análise da superfície de uma amostra, uma comumente utilizada é a espectroscopia de absorção no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Neste método, é utilizado um espectrofotômetro de transformada de Fourier que fornece o espectro de IR com maior agilidade em comparação ao espectrofotômetro tradicional. Tal método é utilizado para análise estrutural e de grupos funcionais em moléculas orgânicas, como o carvão ativado (MOHAMED *et al.*, 2017). No estudo de Wibawa *et al.* (2020), por exemplo, o espectrofotômetro FTIR é empregado para analisar a superfície de um carvão ativado com ácido fosfórico. O autor relata que os espectros demonstram que a estrutura molecular do CA possui vários grupos funcionais e que as vibrações dessas ligações atômicas indicam que o material é constituído por estruturas moleculares semelhantes ao grafeno.

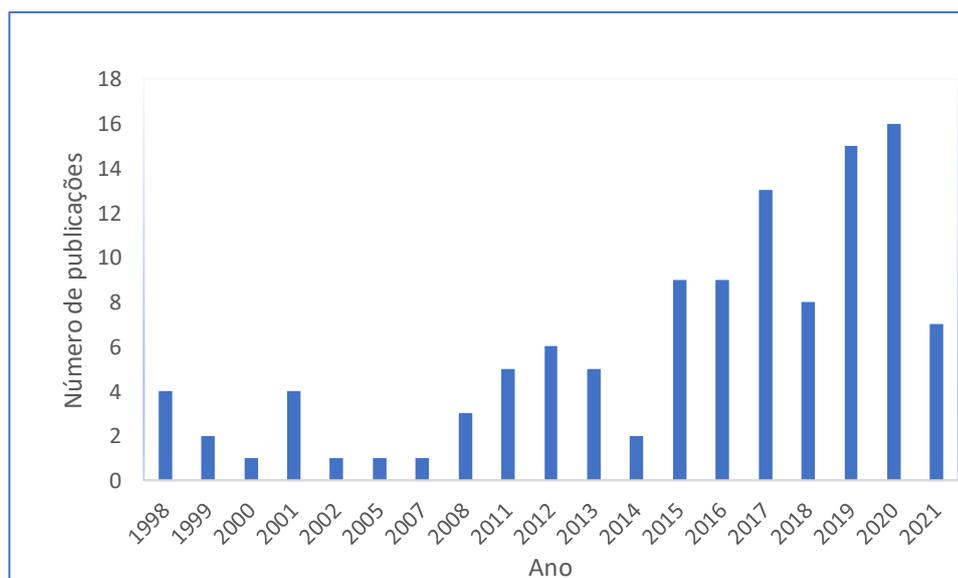
Wei *et al.* (2019) relataram em seu estudo, a partir da análise da morfologia da superfície, que o carvão ativado com $ZnCl_2$ apresenta uma estrutura rugosa e com pequenos poros. Já as superfícies dos carvões ativados com H_3PO_4 e KOH são lisas com poros grandes. No adsorvente ativado com o KOH, a estrutura dos poros é semelhante a favos de mel devido a gaseificação catalítica do agente alcalino. Os agentes alcalinos também formam na superfície grupos funcionais básicos e os agentes ácidos desenvolvem grupos funcionais ácidos (DANISH *et al.*, 2018). De acordo com as pesquisas de Gao *et al.* (2013) na superfície dos CAs ativados com KOH foram desenvolvidos grupos alcalinos, como pironas ou

cetoderivados. No CA-H₃PO₄ foram encontrados grupos funcionais ácidos, incluindo grupos fenólicos, carboxílicos e carbonil e no carvão ativado com ZnCl₂ foram observados grupos carbonil, fenóis, anéis aromáticos, grupos neutros e fracamente ácidos.

5 RESULTADOS

Foram tabulados 112 artigos diretamente relacionados com a produção de carvão (biocarvão) ativado a partir de bagaço de cana-de-açúcar, entre os anos de 1998 e 2021. A Figura 4 mostra a quantidade de publicações ao longo dos anos. As maiores quantidades de publicações concentram-se entre 2015 a 2021.

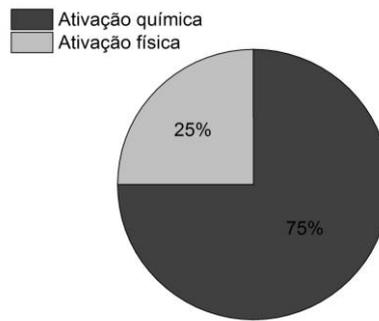
Figura 4 - Quantidade de publicações relacionadas à produção de carvão ativado a partir de bagaço de cana-de-açúcar ao longo dos anos.



Fonte: Da Autora (2021).

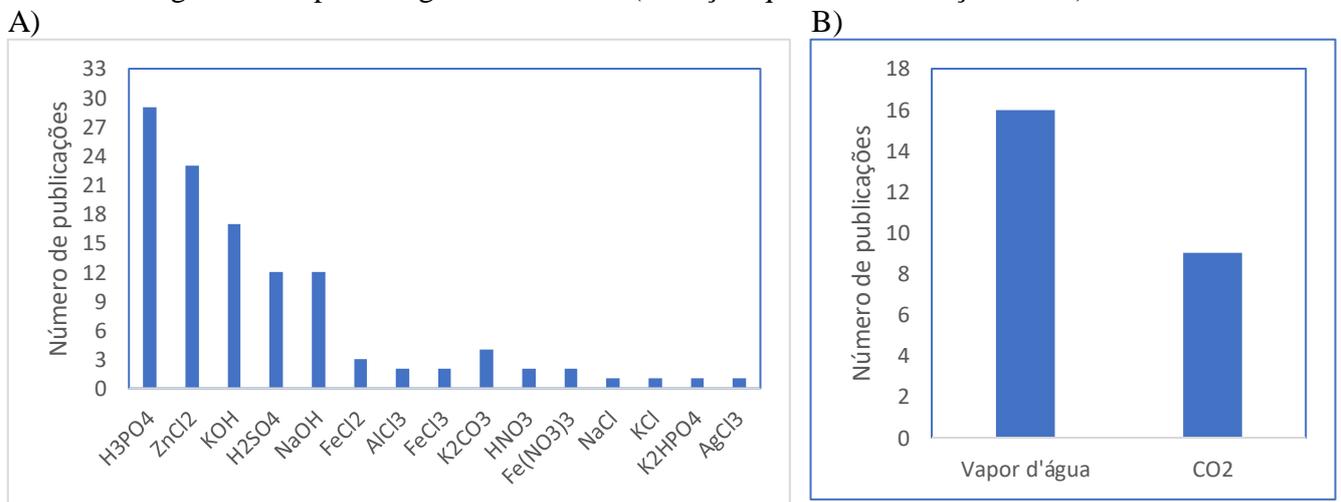
Em relação ao tipo de ativação, 75% dos artigos reportam ativação química e 25% ativação física (Figura 5). Com relação ao tipo de ativante, percebe-se que H₃PO₄ é o agente mais utilizado para ativações químicas, seguido de ZnCl₂, KOH e NaOH (Figura 6A). Já em relação a ativação física, 9 artigos reportam ativação com gás e 16 com vapor (Figura 6B).

Figura 5 – Tipos de ativação (% de artigos).



Fonte: Da Autora (2021).

Figura 6 – Tipos de agentes ativantes (ativação química e ativação física).



Fonte: Da Autora (2021).

A seguir, são apresentadas as principais observações sobre os processos de ativação apresentados nos artigos encontrados na literatura.

5.1 Ativação Física com vapor d'água

Os principais resultados encontrados nos artigos que utilizaram ativação com vapor d'água encontram-se na Tabela 1.

No geral, nos artigos em estudo, o processo de ativação com vapor envolve a carbonização do bagaço em atmosfera livre de oxigênio, com temperaturas variando de 200 a 850 °C. Os tempos de residência na temperatura desejada variam entre 40 min a 2h. Já no processo de ativação, o fluxo e a pressão de vapor são introduzidos a taxas variáveis. A

temperatura de ativação varia entre 110 e 900 °C, sendo que a maioria dos trabalhos utiliza temperatura de ativação de 800 °C. Os tempos de residência durante a ativação variam entre 20 min a 4h, com exceção de Johns et al. (1998), os quais utilizaram 12h de ativação.

Considerando a área superficial (BET) dos CAs produzidos por vapor, os valores variam entre 188,2 (DA COSTA et al., 2021) a 1174,3 m² g⁻¹ (JÚNIOR et al., 2008). Alguns trabalhos não apresentam valores de área.

No geral, para ativação com vapor, a biomassa é primeiro carbonizada, para posterior ativação com fluxo de vapor. Alguns estudos mostram a utilização de apenas uma etapa (*one step*) para produzir CAs. Considerando o caso específico do bagaço de cana-de-açúcar, Albuquerque Júnior et al. (2008) prepararam CA em um reator cilíndrico de leito fixo de aço inoxidável, aquecido por um forno elétrico com um dispositivo de controle de temperatura ligado a dois termopares. Um gerador de vapor foi colocado na entrada do reator. Cargas sucessivas (500-700 g) em base seca da matéria-prima foram colocadas no reator, o qual foi aquecido a 500 °C e mantido por 1 h sob fluxo de nitrogênio (600 cm³ min⁻¹). Os materiais carbonizados foram ativados com vapor a 850 °C por 1 h. Dentre os trabalhos com ativação por vapor citados na Tabela 1, o estudo de Albuquerque Júnior et al. (2008) foi o que apresentou maior área de superfície (1174 m² g⁻¹). Ogasawara et al. (2001) também encontraram valores elevados de área superficial (1096 m² g⁻¹), utilizando ativação por uma etapa. Já Sousa et al. (2012) testaram dois processos: pirólise e ativação em dois ensaios diferentes e pirólise e ativação sequencial em um único experimento. Os autores observaram que quanto maior o tempo de ativação (1 a 4 h), maior a área superficial específica, chegando ao valor máximo BET de 824,30 m² g⁻¹, sendo o processo em etapas (a 850 °C) mais efetivo do que o sequencial. Kaushik et al. (2017) encontraram área superficial de 700 m² g⁻¹, com tempo de ativação de 3h. Os resultados mostrados evidenciam que maiores tempos de ativação acarretam maiores valores de área nos CAs.

Devido às excelentes propriedades como adsorventes, muitos trabalhos testam a capacidade de remoção de diferentes substâncias, orgânicas e inorgânicas, dos CAs (Tabela 1). Corantes, tais como azul de metileno (AM), também são amplamente utilizados como moléculas modelos em testes de adsorção. Por exemplo, Kaushik et al. (2017) encontraram, para CA ativado com vapor, uma capacidade de remoção de 140 mg g⁻¹ de AM. Além disso, Carrier et al. (2012), encontraram que CAs obtidos em temperaturas de ativação de 800-900 °C tiveram uma maior eficiência de adsorção de AM do que aqueles ativados a 700 °C.

Tabela 1 - Principais propriedades dos carvões ativados produzidos a partir de bagaço de cana-de-açúcar produzidos por ativação física com vapor d'água.

Referência	Pirólise	Condições de ativação	Área superficial BET (m ² /g)	Capacidade de adsorção
Da Costa et al. (2021)	500 °C por 40 min (10 K/min)	Fluxo de vapor 0,8 kg/h a 110 °C por 20 min	188,2	Remoção de até 93 % da cor e 55% de DQO do efluente têxtil
Brito et al. (2020)	800 °C por 1h (5°C/min fluxo de argônio)	Fluxo de vapor 0,55 g/min 200 °C por 1h	547	153,94 mg/g 2,4-D
Chakraborty et al. (2018)	-	Fluxo de vapor 1,5 kg/cm 500 °C por 1h	557	13,51 mg/g ibuprofeno
Hass et al. (2018)	350-800 °C (6 °C/min)	Fluxo de vapor com N ₂ 3 mL/min 800 °C	493	Cd, Pb e Cu
Kaushik et al. (2017)	Carbonizado	800 °C por 3h	700	140 mg/g Azul de metileno
Krishnan et al. (2016)	400 °C (5 °C/min) por 2h.	600 °C por 2h 10 mL/min por 5 min após cada 15 min	536	88,7 Zn
Carrier et al. (2012)	Pirólise a vácuo 460 °C (17 °C/min) por 1h	60 mol% vapor e fluxo de N ₂ a 350 L/h	418	Azul de metileno
Sousa et al. (2012)	850 °C (14 °C/min) por 1h com fluxo de N ₂ a 150 mL/min	850 °C fluxo de N ₂ a 250 mL/min e vapor a 67 °C por 1-4h	824	-
Krishnan et al. (2011)	400 °C por 1h	600 °C com fluxo de vapor por 2h (5 mL/min por 5 min após cada 10 min)	536	140,85 mg/g Ni
Albuquerque Júnior et al. (2008)	Uma etapa	850 °C por 1h	1174	Remoção de toxinas 98%
Jaguaribe et al. (2005)	500 °C	800 °C por 20 min (10K/min) com fluxo de vapor 0,8 kg/h	806	Remoção de Cl 100%
Krishnan et al. (2002)	200 °C por 2h	400 °C por 2h com taxa de 10 °C/min e fluxo de vapor de 3 mL/min	536	-
Xia et al. (2001)	-	800 °C (5 °C/min) por 1h e fluxo de vapor de 6 kg/kg de bagaço	793	-

Ogasawara et al. (2001)	Uma etapa	800 °C (5 °C/min) por 1h e fluxo de vapor de 6 kg/kg de bagaço	1096	Vários compostos orgânicos
Johns et al. (1998)	750 °C por 1h	800 °C por 12h (fluxo de vapor 0,4 cm ³ /min)	-	-
Xia et al. (1998)	800 °C	800 °C por 1h com fluxo de vapor de 3 g/g de bagaço	878	Fenol e Ácido Acético

Fonte: Da Autora (2021).

5.2 Ativação física com CO₂

Os principais resultados encontrados nos artigos que utilizam ativação com CO₂ são apresentados na Tabela 2.

Considerando a ativação com gás CO₂, no geral, nos artigos em estudo, a carbonização do bagaço é primeiramente realizada em atmosfera livre de oxigênio, com temperaturas variando de 400 a 800 °C. Os tempos de residência na temperatura desejada variam entre 1h a 2h. Já no processo de ativação, os fluxos de gás são introduzidos a taxas variáveis. A temperatura de ativação varia entre 800 a 900 °C. Os tempos de residência durante a ativação variam entre 1h a 4,5h, com exceção de Johns et al. (1998), Pendyal et al. (1999a) e Pendyal et al. (1999b), os quais utilizaram até 12h de ativação.

Considerando a área superficial (BET) dos CAs produzidos por ativação com CO₂, os valores variam entre 99,0 (GUO et al., 2020) a 900 m² g⁻¹ (GONÇALVES et al., 2016). Dos trabalhos analisados (Tabela 2), as maiores áreas superficiais foram encontradas por Gonçalves et al. (2016) e Giusto et al. (2017). Em Gonçalves et al. (2016), os autores observaram ser possível obter CA com área superficial de até 844 m² g⁻¹ ao longo de 4 h de tempo de ativação, com predominância de micro e mesoporos, a partir de CAs obtidos por processo de ativação com CO₂. Os autores misturam melão ao bagaço de cana antes de produzir os CAs. No trabalho de Giusto et al. (2017), foi obtido CA a partir da fuligem do bagaço de cana-de açúcar, com área de 829 m² g⁻¹ após ativação realizada a 900 °C por 1h. Considerando a produção de CA a partir de apenas bagaço, Sutrisno et al. (2016) encontraram valor de área superficial BET de 661 m² g⁻¹, utilizando temperatura de 800 °C e tempo de 120 min.

Tabela 2 - Principais propriedades dos carvões ativados obtidos a partir do bagaço de cana-de-açúcar, produzidos por ativação física com CO₂.

Referência	Pirólise	Condições de ativação	Área superficial BET (m ² /g)	Capacidade de adsorção
Guo et al. (2020)	750 °C por 1h	850 °C em 13% CO ₂ com N ₂ por 120 min	99	161 mg/g CO ₂
Seixas et al. (2017)	400- 800 °C	150 mL/min CO ₂ 800 °C por 2 h (10 °C/min)	300-410	-
Giusto et al. (2017)	-	Fluxo de CO ₂ (150 cm ³ /min) (800,850, and 900 °C) (20 °C/min) por 1 h.	829	331 mg/g Azul de Metilo
Gonçalves et al. (2016)	850 °C por 1h	Fluxo de CO ₂ (75 mL/min) por 0.5 a 4.5 h	354.2 a 900	27.51% remoção cor do melasso
Sutrisno et al. (2016)	400, 600 800 °C (10 °C/min) por 2 h	800 °C Fluxo de CO ₂ (100 cm ³ /min) por 2 h	400, 600 e 800°C = 225; 405 e 661	-
Marshall et al. (2000)	750 °C por 1h	900 °C por 4h (CO ₂ 13% e N ₂ 87%)	Até 298	-
Pendyal et al. (1999a)	750 °C por 1h	800 °C por 6h (CO ₂ 13% e N ₂ 87%)	Até 524	-
Pendyal et al. (1999b)	700 °C por 1h	800 °C por 6h (CO ₂ 13% e N ₂ 87%)	Até 440	-
Johns et al. (1998)	750 °C por 1h	800 °C por 10h (CO ₂ 13% e N ₂ 87%)	-	-

Fonte: Da Autora (2021).

Os resultados evidenciam, mais uma vez, que são necessários maiores tempos e temperaturas de ativações para gerar maiores áreas superficiais.

5.3 Ativação Química

O processo de ativação química ocorre com o uso de agentes ativantes, tais como ZnCl₂, H₂SO₄, KCl, NaOH, KOH, K₂CO₃ e H₃PO₄, entre outros. Nesse tipo de ativação, o bagaço é previamente impregnado com uma solução contendo o agente ativante e, posteriormente, ativado em temperatura geralmente mais amena que na ativação física, podendo variar de 350 a 900 °C (BANDOSZ, 2006). Em seguida, é necessário a lavagem com água ou uma solução ácida/básica, expondo a estrutura porosa do CA. Na Tabela 3, são mostrados os principais resultados encontrados nos artigos que utilizam ativação química para produção de carvão ativado a partir do bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 3 - Agente ativante e principais propriedades dos carvões ativados obtidos a partir de bagaço de cana-de-açúcar, produzidos por ativação química.

Referência	Pirólise ou tratamento do bagaço	Agente ativante	Condições de ativação	Área superficial BET (m ² /g)	Adsorção
Abd Elhafez et al. (2021)	Impregnação	H ₃ PO ₄	500 °C por 1h	-	Até 99,6 % remoção de azul de metileno
Beyan et al. (2021)	Impregnação	H ₂ SO ₄	450 °C por 2h	-	Remoção de DBO e DQO.
El Nemr et al. (2021)	Impregnação	ZnCl ₂	500,600,700,800 e 900 °C por 30, 60 e 90 min	Até 1402,2	Até 95,65 % remoção de iodo
Khalil et al. (2021)	Impregnação	ZnCl ₂	400, 500 e 600 °C por 1h	1762, 2046 e 1925	Adsorção eficiente de fenóis via interação sintonizada adsorbente / adsorbato
Qu et al. (2021)	Impregnação de H ₂ SO ₄ em 240 °C por 10h.	KOH	800 °C por 1 h sob fluxo de N ₂ , com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min.	Até 2455	Capacidade de adsorção de tolueno de até (771,1 mg/g).
Tahir et al. (2021)	Impregnação	H ₂ SO ₄	Forno de micro-ondas 250 °C por 6h	901,36	Degradação de 63 % do fármaco Iverzine.
Dwiyanti et al. (2020)	500 °C por 1h	KOH	800 °C por 1h	Até 3554,8	-
Daware et al. (2020)	500 °C por 2h	H ₃ PO ₄	impregnação por 24h a 60 °C por 4 h	119	54.4 mg/g 3-aminopiridina
Wang et al. (2020)	600 °C por 30 min	KOH	500, 600, 700 e 800 °C	1381	Tolueno
Fingolo et al. (2020)	400 °C (20 °C/min) por 30 min com fluxo N ₂ (10 L/min)	NaOH	Atmosfera inerte (N ₂ 20 L/min) a 700 °C (20 °C/min) por 90 min	1636	Até 90% remoção fenol e azul de metileno
Pang et al. (2020)	550 °C por 2h	Fe ²⁺ /Fe ³⁺	550 °C por 2h	-	Até 86.84% remoção verde malaquita

Guo et al (2020)	750 °C em N ₂ por 60 min Impregnação por 12h	H ₃ PO ₄ e NaOH	750 °C e 850 °C em N ₂ por 90 min	873 e 1149	2.68 e 4.28 CO ₂ /g
Chien et al. (2020)	Impregnação por 10 h	KOH	600 °C por 1 h	489	Até 99% remoção de fenol
Sarkar et al. (2020)	Impregnação	K ₂ CO ₃ , KOH e NaOH	650 °C por 2 h (10 °C/min)	725	-
Adio et al. (2020)	Impregnação	Melamina	900 °C por 1 h	1111	CO ₂
Ahmad et al. (2020)	Impregnação	H ₂ SO ₄	6 h a 160°C	-	1-[2-(2-chloroethoxy)phenyl]sulfonyl-3-(4-methoxy-6-methyl-1,3,5-triazin-2-yl) urea
Joshi et al. (2020)	Impregnação	ZnCl ₂	400 °C (fluxo de N ₂ 100 mL/min) por 3 h	-	-
Patel et al. (2020)	Impregnação por 24h.	ZnCl ₂	500 °C (fluxo N ₂ 80 mL/min) por 1h (taxa 10°C/min)	730	142,85
Li et al. (2020)	Impregnação 6 h a 70°C	NaOH e H ₂ O ₂ .		-	-
Tang et al. (2020)	-	KOH em N ₂ ou CO ₂	-	1019	-
Solís-Fuentes et al. (2019a)	Impregnação por 16h	ZnCl ₂ e H ₃ PO ₄	600 °C	-	-
Joshi et al. (2019)	Impregnação por 24h	H ₃ PO ₄	500 °C por 3h (fluxo de N ₂ 75 mL/min)	-	Remoção 29% As
Han et al. (2019)	Impregnação por 12 h 600 °C (10 °C/min) por 0.5 h	KOH	500-800 °C por 1h	1113	CO ₂
El Naga et al. (2019)	Impregnação	ZnCl ₂	500 °C (fluxo de N ₂ 150 mL/min) por 2 h (5 °C/min)	1145	315 mg/g

Solís-Fuentes et al. (2019b)	Impregnação	H ₃ PO ₄	600 °C	-	-
Cai et al. (2019)	Impregnação	ZnCl ₂	600°C (10 °C /min) por 120 min	831	Tetracycline Hydrochloride
Sharma et al. (2019)	700 °C por 60 min	NaOH	48h de impregnação	551	2.433
Moughaoui et al. (2019)	Impregnação	KOH, NaOH, K ₂ CO ₃ , HNO ₃ , H ₃ PO ₄ , H ₂ SO ₄ ;	400°C por 36 min e 400°C por 90 min	-	99.86% azul de metileno e 99.75% verde malaquita
Watcharabundit (2019)	Impregnação 24 h	H ₃ PO ₄	600°C por 1 h	309	131,5 mg/g Fe(II)
Alsadi e Esfandiari (2019)	Impregnação por 5 h a 100 °C.	H ₃ PO ₄	600 °C por 90 min	1023	82,8 mg/g mercúrio
Luo et al. (2019)	250 °C for 2 h	ZnCl ₂	600 °C (10°C/min) por 2h	916	Cr
Jiang et al. (2019)	Impregnação	Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	300 °C por 60 min	109	36.14 mg/g Azul de metileno
Ahire et al. (2019)	Impregnação por 24 h seco 110°C for 6 hr	FeCl ₂	800 °C por 1h	519	80% remoção Azul de metileno
Andrade et al. (2019)	450 °C por 15 min (10 °C/min)	K ₂ CO ₃	800 °C por 1h	760	86% MB
Niju et al. (2019)	700 °C for 4 h	NaOH	300°C por 1 h	-	-
Eslami et al. (2018)		KOH	800°C por 1 h (10 °C/min) fluxo N ₂ 100 mL/min	692	192,3 mg/g Naftaleno
Adib et al. (2018)	Impregnação	H ₃ PO ₄	500 °C por 2h	-	o-toluidine and benzidine
Alhassan et al. (2018)	680 °C (10°C/min) por 1 h	ZnCl ₂ H ₃ PO ₄ e NaOH	5 h a 110 °C	800 (Base) 602 (ácido) 563	48.5, 42.2 e 37 mg/g CO ₂

				(ZnCl ₂)	
Wang et al. (2018)	-	NaOH	-	-	76.98 mg/g Nitrobenzeno
Mohtashami et al. (2018)	Impregnação	H ₃ PO ₄	550 °C por 1h.	972	95% remoção fenol
Chakraborty et al. (2018)	Impregnação	H ₃ PO ₄	400 °C por 1 h	Maior do que 557	13.51 mg/g Ibuprofeno
El-Salamony et al. (2017)	200 °C por 24 h	H ₂ SO ₄	600°C por 4 h	437	Remoção 90% Azul de metileno
Isa et al. (2017)	Impregnação	H ₂ SO ₄	900 °C (10 °C/min) por 3 h	599	23.4 mg/g Pb
Salihi et al. (2017)	Impregnação	H ₂ SO ₄	900 °C (10 °C/min) por 3 h (fluxo de N ₂ 100 mL/min).	-	87.3 % remoção Pb
Li et al. (2017)	-	ZnCl ₂	-	1843	reactive turquoise blue
Van Tran et al. (2017a)	Impregnação por 24h	ZnCl ₂	332–668 °C	400 C = 1495 500 C = 1502 600 = 1143	2.7% remoção Cu ²⁺
Chaiwon et al. (2017)	Impregnação	H ₂ SO ₄	600°C por 2h	836	Azul de metileno
Mohamed et al. (2017)	Impregnação	Polyethylenimine	65°C for 6h.	-	Remoção de 70%.
Suriyachai et al. (2017)	-	H ₂ SO ₄ e H ₃ PO ₄	230 °C (fluxo de N ₂ 100 cm ³ /min)	801 e 853	-
Van Tran et al. (2017b)	Impregnação	ZnCl ₂	500 °C por 1 h	1502	Ni ²⁺ 2.99 mg/g Cu ²⁺ 13.24 mg/g Pb ²⁺ 19.3 mg/g
Lado et al. (2017)	Impregnação	ZnCl ₂ e KOH	Pirólise	1025 e 1172	-

Koo et al. (2016)	Impregnação	H ₃ PO ₄	400 °C por 1h.	-	-
Adinaveen et al. (2016)	400 °C (5°C/min) por 4h	H ₃ PO ₄	600,700 e 800 °C por 1h	676 para T = 600°C.	-
Madhu et al. (2016)	Impregnação a 60 °C por 24 h	ZnCl ₂	900°C por 2h (10 °C/min)	1130	-
Mohd Tahir et al. (2016)	impregnação 6 h a 150 °C	KOH	800 °C por 1 h	-	-
Azmi et al. (2016b)	700 °C por 2 h	KOH	3 h a 600°C (10°C/min)	99	NH ₃ -N = 14.62 mg/g
Gonçalves et al. (2016)	400 °C (20 °C/min) por 30 min em fluxo N ₂ (10 L/min)	NaOH	700 °C (20 °C/min), por 1.5 h	1489	-
Mohamed et al. (2015)	500 °C por 2 h	H ₃ PO ₄	Tratado por 24h	557	67% remoção formaldeído
Coscione e Ramos (2015)	Impregnação	H ₃ PO ₄	450 °C	-	Zn, Cd e Pb
Tao et al. (2015)	105 °C por 15 min	KOH	800 °C por 30 min	806	131.07 mg/g azul de metileno
Azmi et al. (2015)	2 h a 700 °C	KOH	687 °C por 2 h	99	Remoção NH ₃ -N 41.05%
Nadzirah et al. (2015)	Impregnação	H ₃ PO ₄	2h	-	-
Elwakeel et al. (2015)	Impregnação	H ₃ PO ₄	500°C por 2 h	671	7.01 and 5.40 mg/g para Fe(II) and Mn(II)
Asadi-Kesheh et al. (2015)	Impregnação	H ₃ PO ₄ e ZnCl ₂	350,450 e 550°C por 30, 60 and 120 (2.5°C/min)	973 para H ₃ PO ₄ e 1303 para ZnCl ₂ .	291.36 para H ₃ PO ₄ e 324.54 para ZnCl ₂ Analito = ouro
Gardare et al. (2015)	Impregnação por 6h	K ₂ HPO ₄	Reator a 300 rpm a (30°C)	-	136.84

Loryuenyong et al. (2015)	Impregnação	K_2CO_3 e $Fe(NO_3)_3$	800-1000°C por 30 min	Até 1159	-
Suescún-Mathieu et al. (2014)	Impregnação	H_3PO_4 e $ZnCl_2$	850 °C por 4 h (10 K/min)	. 2285 (20%); 2236 (35%) p/ H_3PO_4 e 1617 (40%); 1997 (30 %) p/ $ZnCl_2$.	-
Triyana et al. (2014)	-	KOH	-	-	-
Adinaveen et al. (2013)	400 °C (5 °C min) por 4 h	H_3PO_4	600, 700 and 800 °C (5 °C/min) por 1 h	Até 676	-
Yadav et al. (2013)	Impregnação	H_2SO_4	24 h a 150 °C	-	Fluoride
Deng; Dong (2013)	450 °C for 2 h	KOH	130–280 °C por 3 h	1325	100 mg/g Atrazina
Foo et al. (2013)	700 °C	KOH	Micro-ondas	1620	138.46 e 12.81 mg/g N e P
Altenor et al. (2013)	Impregnação por 24 h.	H_3PO_4	650 °C por 1 h	1030	-
Vacca et al. (2012)	Impregnação por 12 h.	H_3PO_4	500 °C por 1 h	1293	Remoção DQO de 67%
Ravichandran et al. (2012)	Impregnação por 4h	H_2SO_4	400 °C por 12h	1403	-
Khan et al. (2012)	300 °C por 3h	H_2SO_4 , NaOH e Ureia	-	-	Remoção de 37% de Levofloxacin, Hydrochlorothiazide, e Paracetamol
Chen et al. (2012)	Impregnação por 45 min	H_3PO_4	400 °C por 1h	1254	150 mg/g Azul de Metileno
Cronje et al. (2011)	Impregnação 50 °C por 1 h	$ZnCl_2$	-	-	Cr
Xu et al. (2011)	Impregnação a 400 °C por 2 dias	NaOH, KOH, NaCl, KCl, $ZnCl_2$, $AlCl_3$, $FeCl_3$ e $FeCl_2$	700–1000 °C por 1h	Até 404,8	-

Shi et al. (2011)	Impregnação a 400 °C por 2 dias	AlCl ₃	900 °C por 100 min	-	99.27% remoção de P
Tandon; Nandini (2011)	Impregnação e 300 °C por 3 h	H ₃ PO ₄ e HNO ₃	300 °C por 3h	-	Remoção 90% corante básico
Kalderis et al. (2008)	Impregnação	ZnCl ₂	700 °C	864	Arsênio, ácido húmico, fenol
Amin et al. (2008)	Impregnação	H ₃ PO ₄ e ZnCl ₂	600 °C por 1h	-	Corante reativo
Acevedo et al. (2007)	Impregnação por 14 h	H ₃ PO ₄	400 e 500 °C por 1h	994 e 1344	níquel(II)
Tsai et al. (2001a)	Impregnação 500 °C por 0.5h	ZnCl ₂	-	-	Corante ácido
Tsai et al. (2001b)	Impregnação	ZnCl ₂	500°C por 0.5h	904	
Xia et al. (1998)	800 °C	ZnCl ₂	800 °C por 1h	878	Fenol e Ácido Acético

Fonte: Da Autora (2021).

Analisando a Tabela 3, observa-se que o agente ativante mais empregado nos artigos em estudo é o ácido fosfórico (H₃PO₄). Suescún-Mathieu *et al.* (2014) relataram as maiores áreas superficiais que foram de 2285 m² g⁻¹ quando foi utilizado uma solução de 20 % de H₃PO₄ e 2236 m² g⁻¹ para uma solução de 35% de H₃PO₄. Na ativação, os autores não informaram a razão de impregnação, descreveram apenas que usaram 50 g de precursor e soluções com diferentes concentrações de ácido fosfórico (H₃PO₄), logo depois as amostras foram aquecidas em um forno a 80 °C por 3 dias e posteriormente para a ativação foram para um forno a 850 °C por 4h em atmosfera inerte. Em contrapartida, no estudo de Daware *et al.* (2020), a área superficial obtida foi de apenas 119 m² g⁻¹, e a metodologia se baseou inicialmente em pirolisar o bagaço em um forno a 500 °C por 2h. Em seguida, o precursor foi impregnado com uma solução de 30% de H₃PO₄ com uma razão de impregnação de 1:1. Logo depois, a mistura permaneceu em contato por 24h e após foi ativada a 60 °C por 4h. Observando esses resultados, pode-se constatar que o parâmetro temperatura está diretamente relacionado com a formação de poros no precursor e conseqüentemente aumento da área

superficial. No artigo de Daware *et al.* (2020), foi utilizado no processo de ativação uma temperatura inferior em comparação ao estudo de Suescún-Mathieu *et al.* (2014). Outro fator relevante é a pirólise que foi realizada antes da impregnação na metodologia proposta por Daware *et al.* (2020). Observou-se, no geral, que os artigos que não fizeram a pirólise antes da impregnação do ácido fosfórico no bagaço de cana-de-açúcar obtiveram uma área superficial média de $583,8 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, já os artigos que realizaram esse processo a área superficial média foi de $1149,3 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, demonstrando que realizar esse processo antes da impregnação do H_3PO_4 , pode ser um fator importante para o aumento da área superficial do CA produzido.

Verificando os trabalhos que empregaram o cloreto de zinco (ZnCl_2) como agente ativante, constatou-se que a maioria dos artigos encontraram uma área superficial superior a $900 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, demonstrando a eficiência dessa substância ativante e dos métodos de ativação aplicados. O estudo de Khalil *et al.* (2021) apresentou a maior área superficial entre todos os artigos, com um valor de $2046 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Em relação as condições de ativação, observou-se nas pesquisas de El Naga *et al.* (2019), Khalil *et al.* (2021), Patel *et al.* (2020), Tsai *et al.* (2001b) e Van Tran *et al.* (2017b) um parâmetro comum de ativação, a temperatura. Em ambos os trabalhos foi empregada a temperatura de $500 \text{ }^\circ\text{C}$. Nos estudos de Khalil *et al.* (2021), Patel *et al.* (2020) e Van Tran *et al.* (2017b), o tempo de residência foi de 1h e ocorreu uma variação apenas na razão de impregnação entre o precursor e o ZnCl_2 , sendo que no estudo de Khalil *et al.* (2021) o bagaço de cana-de-açúcar seco ao ar, foi imerso em 200 ml de uma solução de ZnCl_2 a 10 % e nos outros artigos a razão foi de 1:1 e 1:1,5 respectivamente. As áreas superficiais obtidas foram de $730 \text{ m}^2/\text{g}$ no artigo de Patel *et al.* (2020) e $1502 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ para o artigo de Van Tran *et al.* (2017b), o que demonstra que aumentar a quantidade de cloreto de zinco e manter as condições de $500 \text{ }^\circ\text{C}$ por 1h na ativação, pode contribuir para o aumento da área superficial. Esse fato pode ser justificado analisando os artigos de El Naga *et al.* (2019) e Tsai *et al.* (2001b) onde foram usados um tempo de residência de 2 e 0,5h e razões de impregnação de 1:3 e 1:1,25, respectivamente. Os valores das áreas superficiais obtidas foram de $1145 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ para o estudo de El Naga *et al.* (2019) e $904 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ para o estudo de Tsai *et al.* (2001b), ou seja, alterar o tempo de residência e modificar a razão de impregnação em comparação com as condições propostas no artigo de Van Tran *et al.* (2017b) não ocasionaram em um aumento na área superficial.

Outra substância usada na ativação química é o hidróxido de potássio (KOH). A partir dos artigos estudados constatou-se que a maioria dos estudos optaram por realizar um tratamento térmico no bagaço de cana-de-açúcar antes da impregnação. O artigo de Dwiyaniti

et al. (2020) obteve uma área superficial de 3554,8 m² g⁻¹, a maior área entre os artigos que usaram KOH como agente ativante. Na metodologia proposta pelo autor, foi utilizado a temperatura de pirólise de 500 °C no precursor por 1h, depois foi feita a impregnação com uma razão de 1:4 entre o carvão e o KOH. Em seguida, a ativação foi realizada em um forno a 800 °C por 1h. O artigo de Qu *et al.* (2021) relatou um processo de ativação com o KOH diferente dos outros trabalhos. Os autores realizaram a impregnação de H₂SO₄ com um aquecimento de 240 °C por 10h e posteriormente usaram o KOH como agente ativante com razão de impregnação de 1:1, nas condições de ativação, foram usados uma temperatura de 800 °C com um tempo de residência de 1h sob fluxo de N₂. A partir dessa metodologia foi obtida uma área superficial BET de 2455 m² g⁻¹, um valor considerável. Já a menor área superficial foi relatada no estudo de Azmi *et al.* (2016b), no valor de 99 m²/g. Em relação, aos parâmetros, o autor realizou a pirólise do bagaço na temperatura de 700 °C por 2h, após ocorreu a impregnação com uma razão de 1:2,7 e em sequência a mistura foi seca a 105 °C por três dias e ativada em forno mufla a 600 °C por 3h. Pode-se observar que as condições do processo de ativação estão semelhantes a outros estudos, o valor mínimo da área superficial pode estar relacionado com a obstrução de alguns poros por moléculas de KOH e ou outras substâncias formadas na ativação, as quais, não foram retiradas corretamente no processo da lavagem do CA.

Além do KOH, foi encontrado alguns artigos que utilizaram uma outra base forte, o hidróxido de sódio (NaOH). No geral, os autores que utilizaram o NaOH como agente ativante também optaram por realizar um tratamento térmico no precursor antes da impregnação. Considerando agora, as áreas superficiais obtidas após a ativação, verificou-se que a maior área foi encontrada no estudo de Fingolo *et al.* (2020), com um valor de 1636 m²/g. No estudo analisado, no processo de pirólise empregou-se uma temperatura de 400 °C por um período de 30 min. A razão de impregnação utilizada pelo autor foi de 1:3 entre o bagaço pirolisado e o NaOH e os parâmetros na ativação foram de uma temperatura de 700 °C por 90 min sob fluxo de N₂. A menor área foi de 150,8 m² g⁻¹, descrita no artigo de Xu *et al.* (2011). A metodologia foi baseada em realizar a impregnação com o NaOH com uma razão de 1:8, em seguida a temperatura ótima de ativação foi entre 800-1000 °C com um tempo de residência ótimo entre 60-100 min. Em relação as maiores áreas encontradas, no trabalho de Gonçalves *et al.* (2016) foi encontrado uma área de 1489 m² g⁻¹, sendo que o autor utilizou as mesmas condições de temperatura e tempo de residência na pirólise e na ativação, em comparação com o estudo de Fingolo *et al.* (2020). Porém, foi utilizada uma razão de

impregnação de 1:2,25. Demonstrando assim, que para as mesmas condições de ativação (temperatura e tempo) encontradas nos dois estudos, aumentar a razão de impregnação resultou em um aumento na área superficial do CA produzido.

Considerando o ácido sulfúrico (H_2SO_4) como agente ativante verificou-se nos artigos em estudo, que nenhum trabalho optou por realizar o processo de pirólise no bagaço antes da impregnação. Analisando as áreas superficiais obtidas, apenas um estudo encontrou uma área BET superior a $1000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. O valor obtido foi de $1403 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ no artigo de Ravichandran *et al.* (2012), os quais realizaram uma impregnação por 4h com uma temperatura de $160 \text{ }^\circ\text{C}$ no precursor imerso em uma solução de 20% de H_2SO_4 . Em seguida, a ativação foi realizada em uma temperatura de $400 \text{ }^\circ\text{C}$ por 12h. A menor área foi de $437 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ relatada por El-Salamony *et al.* (2017). A preparação do CA baseou-se em impregnar o material em uma solução concentrada de H_2SO_4 com uma temperatura de $200 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24h, e a ativação ocorreu com uma temperatura de $600 \text{ }^\circ\text{C}$ por 4h. Constatou-se que os artigos que encontraram as menores áreas superficiais (El-SALAMONY *et al.*, 2017; ISA *et al.*, 2017), optaram por realizar tratamentos térmicos com temperaturas mais elevadas, em comparação com os artigos que relataram maiores áreas BET (RAVICHANDRAN *et al.*, 2012; TAHIR *et al.*, 2021). Demonstrando assim, que o uso de elevadas temperaturas na ativação com o ácido sulfúrico (H_2SO_4) pode não auxiliar no aumento da área superficial do CA desenvolvido.

Além das substâncias citadas anteriormente, constatou-se em alguns estudos o uso de outros reagentes químicos na ativação, os quais foram o FeCl_2 , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, HNO_3 , K_2CO_3 , AlCl_3 , K_2CO_3 , K_2HPO_4 e KCl . Loryuenyong *et al.* (2015) ao usar K_2CO_3 e $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ obtiveram a maior área superficial de $1159 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, em comparação com os outros agentes ativantes. Na metodologia de ativação o bagaço foi inicialmente pulverizado em tamanhos de partículas menores de $500 \text{ }\mu\text{m}$ usando um liquidificador doméstico e um agitador de peneira. Em seguida, ocorreu a impregnação com uma razão de K_2CO_3 /peso de bagaço de 1:1,25 e após foi adicionado na mistura uma solução alcoólica de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ em uma proporção de 1:7 entre o bagaço e a solução catalisadora. A mistura foi levada para um forno sob fluxo de N_2 e foram feitos testes em temperaturas diferentes entre $800 - 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ com um tempo de residência de 30 minutos, sendo que a maior área foi observada na temperatura de ativação de $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Os valores obtidos para a área BET na temperatura de $800 \text{ }^\circ\text{C}$ foi de $30 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ e na temperatura de $900 \text{ }^\circ\text{C}$ foi de $225 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Outros artigos usaram as substâncias K_2CO_3 e $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ isoladamente e encontraram áreas superficiais inferiores, em comparação com o estudo de Loryuenyong *et al.* (2015). No estudo de Andrade *et al.* (2019) foi encontrado uma

área de $760 \text{ m}^2/\text{g}$. No processo de ativação, realizou-se inicialmente a pirólise do precursor na temperatura de $450 \text{ }^\circ\text{C}$ por 15 min, depois foi feita a impregnação com K_2CO_3 e a ativação ocorreu nas condições de $800 \text{ }^\circ\text{C}$ com um tempo de residência de 1h. Já no artigo de Jiang *et al.* (2019) foi utilizado o $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ e a área obtida foi de $109,07 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. No método de preparação, os autores não optaram por realizar a pirólise no precursor, foi realizado apenas um tratamento para retirar as impurezas da superfície e depois foi feita a secagem. Em seguida, foi feita a impregnação com uma razão de 1:1,5 e a ativação ocorreu em um forno micro-ondas por 75s com uma potência de entrada de 750 W e frequência de 2,75 GHz. Segundo Njoku *et al.* (2014), o aquecimento por micro-ondas possui vantagens em relação ao tratamento térmico convencional. Tais como, curto tempo de aquecimento, baixo consumo de energia, promoção rápida e controle da temperatura preciso e além disso o tamanho do equipamento é inferior aos fornos convencionais. Em relação as metodologias propostas pelos estudos de Loryuenyong *et al.* (2015) e Andrade *et al.* (2019), onde foram empregados a mesma temperatura de ativação de $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Observou-se que o estudo de Andrade *et al.* (2019) se mostrou mais eficiente, pois a área BET encontrada foi maior em comparação com o outro estudo. Isso pode ter ocorrido, devido a pirólise realizada no bagaço antes da impregnação. Auxiliando na formação da estrutura interna do material para posterior impregnação do K_2CO_3 .

No geral, os valores de áreas superficiais de CAs produzidos por ativação química são maiores que os produzidos por ativação física, podendo atingir $3554,8 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (DWIYANITI *et al.*, 2020) (Tabela 3).

Muitos dos trabalhos recentes listados na Tabela 3 apresentam valores de área próximos ou maiores do que $1000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (El NEMR *et al.*, 2021; QU *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2020; TANG *et al.*, 2020).

Não se tratando de uma regra, os maiores valores de área superficial (acima de $1000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) são encontrados em trabalhos que utilizam ZnCl_2 , H_3PO_4 e as bases fortes KOH e NaOH (Tabela 3).

No geral, é notável os menores valores de temperatura de ativação quando se compara processos de ativação química (Tabela 3) com a ativação física (Tabelas 1 e 2), o que gera uma economia de energia. Contudo, após o processo de ativação química, é necessário, ainda, uma etapa de lavagem do material produzido, o que aumenta os gastos com água, equipamentos, destinação ou tratamento do efluente gerado.

Em relação a adsorção, os estudos sobre a produção de CA a partir do bagaço de cana-de-açúcar envolvem testes da capacidade de adsorção do material produzido, utilizando analitos orgânicos e inorgânicos, como listado na última coluna (Tabelas 1, 2 e 3). O corante azul de metileno é amplamente utilizado como molécula modelo, considerando experimentos de adsorção (Abd Elhafez et al., 2021; Chaiwon et al., 2017; Chen et al., 2012). Outros compostos orgânicos incluem nitrobenzeno (Wang et al., 2018), formaldeído (Mohamed et al., 2015), tolueno (Qu et al., 2021), fenóis (Khalil et al., 2021), naftaleno (Eslami et al., 2018), entre outros. Já em relação aos inorgânicos, elementos potencialmente tóxicos (metais pesado), também são amplamente utilizados. Por exemplo, níquel (Krishnan et al., 2011), zinco (Krishnan et al., 2016), cádmio, chumbo e cobre (Hass et al., 2018), arsênio (Joshi et al., 2019), cromo (Luo et al., 2019).

Observou-se que os CAs preparados a partir do bagaço são eficazes considerando as capacidades máximas de remoção dos analitos, que são considerados contaminantes ambientais, evidenciando a eficiência dos CAs como adsorvente. Os trabalhos exploram o reuso do bagaço para produzir materiais de valor agregado, que podem substituir carvões ativadas comerciais.

6 CONCLUSÃO

A partir dos artigos estudados nesse trabalho, constatou-se que várias pesquisas sobre a produção de CA estão sendo realizadas, com a finalidade de reutilizar o bagaço de cana-de-açúcar, um resíduo agroindustrial produzido em grande escala. Dentre os métodos empregados para a ativação, ressalta-se que a maioria dos estudos optaram por utilizar a ativação química. Foi possível observar que a ativação química demonstrou ser mais eficiente na formação de poros e, conseqüentemente, na área superficial, em comparação com a ativação física. Entretanto, mesmo esse processo exigindo um consumo menor de energia, é necessário realizar uma etapa de lavagem no CA após o processo de ativação e além disso, a lavagem dos equipamentos e o tratamento dos efluentes gerados, são fatores que tornam esse

método desfavorável e impulsionam o uso da ativação física, principalmente para futuras produções em escala industrial do CA, desenvolvido a partir do bagaço de cana-de-açúcar.

7 REFERÊNCIAS

ABD ELHAFEZ, S. E. *et al.* Adsorption Studies of Cationic Dye on Raw And Modified Sugarcane Bagasse from Aqueous Solutions: Kinetic and Isotherm Aspects. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 64, p. 1593-1600, 2021.

ACEVEDO, S. *et al.* Chemical activation of sugar cane bagasse (*Saccharum officinarum*) on nickel (II) adsorption in industrial effluents. **Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia**, v. 30, p. 244-252, 2007.

ADIB, M.R.M. *et al.* Phosphoric acid activation of sugarcane bagasse for removal of o-toluidine and benzidine. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 140, 2018.

ADINAVEEN, T.; VIJAYA, J.J.; KENNEDY, L.J. Comparative Study of Electrical Conductivity on Activated Carbons Prepared from Various Cellulose Materials. **Arabian journal for science and Engineering**, v. 41, p. 55-65, 2016.

ADINAVEEN, T. *et al.* Studies on structural, morphological, electrical and electrochemical properties of activated carbon prepared from sugarcane bagasse. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 19, p. 1470-1476, 2013.

ADIO, S.O. *et al.* Facile and efficient nitrogen modified porous carbon derived from sugarcane bagasse for CO₂ capture: Experimental and DFT investigation of nitrogen atoms on carbon frameworks. **Chemical Engineering Journal**, v. 382, 2020.

AFKHAMI, A; MADRAKIAN, T; KARIMI, Z. The effect of acid treatment of carbon cloth on the adsorption of nitrite and nitrate ions. **Journal of Hazard Mater**, v. 144, p. 427-431, 2007.

AHIRE, M.; BHAGWAT, S. Dye adsorption efficiency of chemically treated activated carbon based on sugarcane bagasse pith. **Indian Journal of Chemical Technology**, v. 26, p. 23-24, 2019.

AHMAD, K.S.; AMJAD, I.; ALI, D. Adsorption and sugarcane-bagasse-derived activated carbon-based mitigation of 1-[2-(2-chloroethoxy)phenyl]sulfonyl-3-(4-methoxy-6-methyl-1,3,5-triazin-2-yl) urea-contaminated soils. **Open Chemistry**, v. 18, p. 1-9, 2020.

AL MESFER, Mohammed K. Synthesis and characterization of high-performance activated carbon from walnut shell biomass for CO₂ capture. **Environmental Science and Pollution Research**, Germany, v. 27, p. 15020-15028, 2020.

ALHASSAN, M. *et al.* Comparative studies of CO₂ capture using acid and base modified activated carbon from sugarcane bagasse. **Biofuels**, v. 9, p. 719-728, 2018.

ALTENOR, S. *et al.* Pilot-scale synthesis of activated carbons from vetiver roots and sugar cane bagasse. **Waste and Biomass Valorization**, v. 4, p. 485-495, 2013.

AMIN, Nevine Kamal. Removal of reactive dye from aqueous solutions by adsorption onto activated carbons prepared from sugarcane bagasse pith. **Desalination**, v. 223, p. 152-161, 2008.

ANDRADE, E.L.O. *et al.* Produção, ativação e caracterização do biochar obtido a partir do resíduo da cana de açúcar e aplicação como adsorvente. **Anais 2019 21ª Semana de Pesquisa da Universidade Tiradentes**, 2019.

ASADI-KESHEH, Reza *et al.* Bagasse-Based Adsorbents for Gold Recovery from Aqueous Solutions. **Separation Science and Technology**, Iran, v. 50, p. 223-232, 2015.

AZMI, N. Bt. *et al.* Optimization of preparation conditions of sugarcane bagasse-activated carbon via microwave-induced KOH activation for stabilized landfill leachate remediation. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, 2016.

AZMI, N. Bt. *et al.* Stabilized landfill leachate treatment by sugarcane bagasse derived activated carbon for removal of color, COD and NH₃-N - Optimization of preparation

conditions by RSM. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, p. 1287-1294, 2015.

BALDASSIN, Ricardo Jr. Pirólise rápida de cana-de-açúcar integral em reator piloto de leito fluidizado. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, 2015.

BANDOZ, Tereza J. Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation. 7. ed. New York: Ed. Teresa J. Bandosz, 2006.

BASU, Prabir. Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction, Practical Design and Theory. Elsevier. 2 ed. 2013.

BEYAN, S. M. Sugarcane bagasse based activated carbon preparation and its adsorption efficacy on removal of BOD and COD from textile effluents: RSM based modeling, optimization and kinetic aspects. **Bioresource Technology Reports**, v. 14, 100664, 2021.

BRITO, G.M. *et al.* High-performance of activated biocarbon based on agricultural biomass waste applied for 2,4-D herbicide removing from water: adsorption, kinetic and thermodynamic assessments. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 55, p. 767-782, 2020.

CAI, Y. *et al.* Adsorption and Desorption Performance and Mechanism of Tetracycline Hydrochloride by Activated Carbon-Based Adsorbents Derived from Sugar Cane Bagasse Activated with ZnCl₂. **Molecules**, v. 24, 2019.

CARRIER, M. *et al.* Production of char from vacuum pyrolysis of South-African sugar cane bagasse and its characterization activated carbon and biochar. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 96, p. 24-32, 2012.

CASTRO, J. B. *et al.* **Ind. Eng. Chem. Res.** 39, 4166, 2000.

CHAIWON, T.; JANNOEY, P.; CHANNELI, D.A.D. Preparation of activated carbon from sugarcane bagasse waste for the adsorption equilibrium and kinetics of basic dye. **Key Engineering Materials**, v. 751, p. 671-676, 2017.

CHAKRABORTY, P. *et al.* Mechanistic insight into sorptive elimination of ibuprofen employing bi-directional activated biochar from sugarcane bagasse: Performance evaluation and cost estimation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, p. 5287-5300, 2018.

CHEN, Cui-Xia *et al.* Preparation of phosphoric acid activated carbon from sugarcane bagasse by mechanochemical processing. **Bioresources**, v. 7, p. 5109-5116, 2012.

CHIEN, N.D.; IVANOVICH, V.A.; ALEXANDROVNA, G.N. Salinity effect on adsorption of phenol by activated carbon from sugarcane bagasse. **Asian Journal of Chemistry**, v. 32, p. 463-465, 2020.

COLLARD, François-Xavier; BLIN, Joel. A review on pyrolysis of biomass constituents: Mechanisms and composition of the Products obtained from the conversion of cellulose, hemicelluloses and lignina. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, France, v. 38, p. 594-608, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento safra brasileira de cana-de-açúcar, Safra 2020-21, v. 7, n. 3, p. 1-62, 2020. Disponível em <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 18 dez. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento safra brasileira de cana-de-açúcar, Safra 2021-22, v. 8, n. 2, p. 1-62. Segundo levantamento, agosto 2021. Disponível em <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 09 nov. 2021.

COSCIONE, A.; RAMOS, B. Retention efficiency of Cd, Pb and Zn from agricultural by-products activated carbon and biochar under laboratory conditions. **EGU General Assembly Conference Abstracts**, p. 13069, 2015.

CROMBIE, Kyle; MASEK, Ondrej. Pyrolysis biochar systems, balance between bioenergy and carbon sequestration. **Global Change Biology Bioenergy**, U.K., v. 17, p. 349-361, 2015.

CRONJE, K.J. *et al.* Optimization of chromium (VI) sorption potential using developed activated carbon from sugarcane bagasse with chemical activation by zinc chloride. **Desalination**, v. 275, p. 276-284, 2011.

DA COSTA, Wendell I. Silveira; BOCCHI, Maria Lígia de Melo. Aplicações do bagaço da cana-de-açúcar utilizadas na atualidade. Jaboticabal, 2012.

DA COSTA, Wiviane K. *et al.* Preparation of Activated Carbon from Sugarcane Bagasse and Removal of odor and Organic Matter from Real Textile Wastewater. **Water Air Soil Pollut. Brasil**, v. 232:358, 2021.

DANISH, M. *et al.* Comparison of surface properties of wood biomass activated carbons and their application against rhodamine B and methylene blue dye. **Surfaces and Interfaces**, v. 11, p. 1-13, 2018.

DANISH, M.; AHMAD, T. A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and Application. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 87, p. 1-21, 2018.

DAWARE, G.B.; GOGATE, P.R. Adsorption of 3-Aminopyridine (3AP) from aqueous solution using sugarcane bagasse activated carbon (SBAC). **Environmental Technology & Innovation**, v. 19, 2020.

DE CASTRO, Alfredo J. Alvim; CASSIANO, Douglas Alves; FERREIRA, Newton Libanio. Gaseificação do bagaço de cana-de-açúcar: modelagem, análise e comparação com sistema real. **Exacta**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 39-47, 2009.

DENG, X.; DONG, X. Adsorption studies on the removal of an herbicide (atrazine) using activated carbons prepared from agricultural waste sugarcane bagasse. **Applied Mechanics and Materials**, v. 251, p. 378-382, 2013.

DÍAZ-MUÑOZ, L.L. *et al.* Sorption of heavy metal ions from aqueous solution using acid-treated avocado kernel seeds and its FTIR spectroscopy characterization. **Journal of Molecular Liquids**, v. 215, p. 555-564, 2016.

DING, Qian *et al.* Biomass activated carbon–derived imprinted polymer with multi-boronic acid sites for selective capture of glycoprotein. **Journal of Colloid and Interface Science**, China, v. 596, p. 225-232, 2021.

DWIYANITI, M. *et al.* Extremely high surface area of activated carbon originated from sugarcane bagasse. **International Conference on Advanced Mechanical and Industrial engineering**. Indonesia. v. 909, 2020.

EL NAGA, A.O.A. *et al.* Fast removal of diclofenac sodium from aqueous solution using sugar cane bagasse-derived activated carbon. **Journal of Molecular Liquids**, v. 285, p. 9-19, 2019.

El NEMR, M. *et al.* Microporous-activated carbons of type I adsorption isotherm derived from sugarcane bagasse impregnated with zinc chloride. **Carbon Letters**, 2021.

EL SALAMONY, R. *et al.* Titania modified activated carbon prepared from sugarcane bagasse: adsorption and photocatalytic degradation of methylene blue under visible light irradiation. **Environmental Technology**, v. 38, p. 1-24, 2017.

ELWAKEEL, K.Z.; EL-SAYED, G.; EL-NASSR, S.M.A. Removal of ferrous and manganese from water by activated carbon obtained from sugarcane bagasse. **Desalination and Water Treatment**, v. 55, p. 471-483, 2015.

ESFANDIARI, N.; JAVIDI, K. A. Synthesis of activated carbon from sugarcane bagasse and application for mercury adsorption. **Pollution**, v. 5, p. 585-596, 2019.

ESLAMI, A. *et al.* Preparation of activated carbon dots from sugarcane bagasse for naphthalene removal from aqueous solutions. **Separation Science and Technology**, v. 53, p. 2536-2549, 2018.

FINGOLO, A.C. *et al.* Techno-economic assessment and critical properties tuning of activated carbons from pyrolyzed sugarcane bagasse. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, p. 1-13, 2020.

FOO, K.Y.; LEE, L.K.; HAMEED, B.H. Preparation of activated carbon from sugarcane bagasse by microwave assisted activation for the remediation of semi-aerobic landfill leachate. **Bioresource Technology**, v. 134, p. 166-172, 2013.

GAO, Y. *et al.* Comparisons of porous, surface chemistry and adsorption properties of carbon derived from *Enteromorpha prolifera* activated by H₄P₂O₇ and KOH. **Chem. Eng. J.**, v. 232, 582–590, 2013.

GAO, Y. *et al.* Insight into activated carbon from different kinds of chemical activation. **Science of the Total Environment**, China, v. 746 (141094), July 2020.

GARDARE, V.N. *et al.* Preparation of adsorbent using sugarcane bagasse by chemical treatment for the adsorption of methylene blue. **Desalination and Water Treatment**, v. 56, p. 2872-2878, 2015.

GHODAKE, Gajanan Sampatrao *et al.* Review on biomass feedstocks, pyrolysis mechanism and physicochemical properties of biochar: State-of-the-art framework to speed up vision of circular bioeconomy. **Journal of Cleaner Production**, South Korea, v. 297, 126645, 2021.

GIUSTO, L.A.R. *et al.* Preparation of activated carbono from sugarcane bagasse soot and methylene blue adsorption. **Water Air Soil Pollut** **228**, 249, 2017.

GONÇALVES, G.C.; PEREIRA, N.C.; VEIT, M.T. Production of bio-oil and activated carbono from sugarcane bagasse and molasses. **Biomass and Bioenergy**, v. 85, p. 178-186, 2016.

GONÇALVES, S.P.C. *et al.* Activated carbon from pyrolysed sugarcane bagasse: Silver nanoparticle modification and ecotoxicity assessment. **Science of The Total Environment**, v. 565, p. 833-840, 2015.

GOPINATH, Athira *et al.* A circular framework for the valorisation of sugar industry wastes: Review on the industrial symbiosis between sugar, construction and energy industries. **Journal of Cleaner Production**, Índia, v. 203, p. 89-108, 2018.

GUO, Y. *et al.* Porous activated carbons derived from waste sugarcane bagasse for CO₂ adsorption. **Chemical Engineering Journal**, v. 381, 2020.

GUPTA, V. K.; NAYAK, A.; AGARWAL, S. **Bioadsorbents for remediation of heavy metals: Current status and their future prospects**. Environmental Engineering Research, v. 20 (1), p. 1-18, 2015.

HAMELINCK, Carlo N.; HOOIJDONK, Geertje van; FAAIJ, André PC. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. **Biomass and Bioenergy**, v. 28, p. 384-410.

HAN, J. *et al.* The N-doped activated carbon derived from sugarcane bagasse for CO₂ adsorption. **Industrial Crops and Products**, v. 128, p. 290-297, 2019.

HASS, Amir; LIMA, Isabel M. Effect of feed source and pyrolysis conditions on properties and metal sorption by sugarcane biochar. **Environmental Technology & Innovation**, v. 10, p. 16-26, 2018.

HEIDARI, A. *et al.* Adsorptive removal of CO₂ on highly microporous activated carbons prepared from Eucalyptus camaldulensis wood: effect of chemical activation. **J. Taiwan Inst. Chem. E.** v. 45 (2), 579–588, 2014.

HEIDARINEJAD, Z. *et al.* Methods for preparation and activation of activated carbon: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, p. 393-415, 2020.

HUIJUN, S. *et al.* Preparation of activated carbon from sugarcane bagasse for nitrobenzene removal in aqueous solutions. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 27, p. 7176-7185, 2018.

ISA, M. H. *et al.* Equilibrium and kinetic studies on lead (II) adsorption by sugarcane bagasse derived activated carbon. **International Journal of Engineering, Transactions B: Applications**, v. 30, p. 1647-1653, 2017.

JAGADESH, P; MURTHY, A. R.; MURUGESAN, R. Effect of processed sugar cane bagasse ash on mechanical and fracture properties of blended mortar. **Construction and Building Materials**, Índia, v. 262 120846, 2020.

JAGUARIBE, E.F. *et al.* The performance of activated carbons from sugarcane bagasse, babassu, and coconut shells in removing residual chlorine. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 22, p. 41-47, 2005.

JAMES, Jilo; PANDIAN, P. K. A Short Review on the Valorisation of Sugarcane Bagasse Ash in the Manufacture of Stabilized/Sintered Earth Blocks and tiles. **Advances in Materials Science and Engineering**, Índia, article 1706893, 2017.

JIANG, W. *et al.* Adsorption of cationic dye from water using an iron oxide/activated carbon magnetic composites prepared from sugarcane bagasse by microwave method. **Environmental Technology (United Kingdom)**, p. 1-14, 2019.

JOHNS, M.M.; MARSHALL, W.E.; TOLES, C.A. Agricultural by-products as granular activated carbons for adsorbing dissolved metals and organics. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 71, p. 95-186, 1998.

JOSHI, S. *et al.* Arsenic removal from water by adsorption onto iron oxide/nano-porous carbon magnetic composite. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 9, p. 3732, 2019.

JOSHI, S.; BISHNU, K.C. Synthesis and characterization of sugarcane bagasse based activated carbon: effect of impregnation ratio of ZnCl₂. **Journal of Nepal Chemical Society**, v. 41, p. 74-79, 2020.

JÚNIOR, E.C. de Albuquerque *et al.* Removal of cyanobacteria toxins from drinking water by adsorption on activated carbon fibers. **Materials Research**, v. 11, p. 371-380, 2008.

KALDERIS, D. *et al.* Adsorption of polluting substances on activated carbons prepared from rice husk and sugarcane bagasse. **Chemical Engineering Journal**, v. 144, p. 42-50, 2008.

KALIL, K.M.S *et al.* Formation of improved activated carbons from sugarcane bagasse as environmental materials for adsorption of phenolic pollutants. **Journal of Environmental Science and Technology**. Egypt, 2021.

KAUSHIK, A. *et al.* Activated carbon from sugarcane bagasse ash for melanoidins recovery. **Journal of Environmental Management**, v. 200, p. 29-34, 2017.

KHAN, M.A. *et al.* In vitro adsorption of drugs using modified sugarcane bagasse. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 71, p. 161-167, 2012.

KHATAEE, A. R. *et al.* Environmental Applications Of Activated Carbon And Carbon Nanotubes. **Nova Science Publishers**, Iran, v. 978, 2012.

KOO, W.K. *et al.* Treatment of oily waste using Activated carbon from agriculture waste. **Materials Science Forum**, v. 840, p. 432-437, 2016.

KRISHNAN, K.A. *et al.* Evaluation of adsorption properties of sulphurised activated carbon for the effective and economically viable removal of Zn (II) from aqueous solutions. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 124, p. 418-425, 2016.

KRISHNAN, K.A. *et al.* Nickel(II) adsorption onto biomass based activated carbon obtained from sugarcane bagasse pith. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 10239-10247, 2011.

KRISHNAN, K.A.; ANIRUDHAN, T.S. Uptake of heavy metals in batch systems by sulfurized steam activated carbon prepared from sugarcane bagasse pith. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 41, p. 5085-5093, 2002.

KUMAR, A., JENA, H.M. Adsorption of Cr (VI) from aqueous solution by prepared high surface area activated carbon from fox nutshell by chemical activation with H₃PO₄. **J. Environ. Chem. Eng.** v. 5 (2), 2032–2041, 2017.

KUMAR, A.; JENA, H.M. Preparation and characterization of high surface area activated carbon from fox nut (*Euryale ferox*) shell by chemical activation with H₃PO₄. **Results in Physics**, v. 6, 651–658, 2016.

KWIATKOWSKI, James F. *Activated Carbon: Classifications, Properties and Applications*. 1. Ed. New York: Editora Nova, 555 p., 2012.

KYLECROMBIE, O.; MASEK, O. Pyrolysis biochar systems, balance between bioenergy and carbon sequestration. **Global change biology bioenergy**, Oxford, v. 7, p. 349–361, 2015.

LADO, J.J. *et al.* Enhanced capacitive deionization desalination provided by chemical activation of sugar cane bagasse fly ash electrodes. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 126, p. 143-153, 2017.

LI, H. *et al.* Production, separation, and characterization of high-purity xylobiose from enzymatic hydrolysis of alkaline oxidation pretreated sugarcane bagasse. **Bioresource Technology**, v. 299, 2020.

LI, S. *et al.* Activated carbon produced from sugarcane bagasse waste as a low-cost dye-containing wastewater adsorbent for reactive turquoise blue removal. **Desalination and Water Treatment**, v. 81, p. 315-321, 2016.

LORENA, Emanuelle *et al.* Gestão de resíduos industriais do setor sucroalcooleiro: estudo de caso de Pernambuco, Brasil. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 13, n. 2, p. 182-197, 2017.

LORYUENYONG, V. *et al.* A facile route for the synthesis of graphitic carbon-Fe-based nanocomposites from K₂CO₃-activated sugarcane bagasse. **Optoelectronics and advanced materials-rapid communications**, v. 9, p. 218-221, 2015.

LUO, X. *et al.* Cr (VI) adsorption performance and mechanism of an effective activated carbon prepared from bagasse with a one-step pyrolysis and ZnCl₂ activation method. **Cellulose**, v. 26, p. 4921-4934, 2019.

MADHU, R. *et al.* Functional porous carbon-ZnO nanocomposites for high-performance biosensors and energy storage applications. **Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 24, p. 16057-16596, 2016.

MANIKANDAN, A.T.; MOGANRAJ, M.; Consolidation and rebound characteristics of expansive soil by using lime and bagasse ash. **International Journal Of Research in Engineering and Technology**, Índia, v. 04, p. 403-411, 2014.

MARSH, H.; RODRÍGUEZ-REINOSO, F. **Activated carbon**. Amsterdam: Elsevier Science, 2006.

MARSHALL, W.E. *et al.* Granular activated carbons from sugarcane bagasse: production and uses. **International Sugar Journal**, v. 102, p. 147-151, 2000.

MEGHANA, Munagala; SHASTRI, Yogendra. Sustainable valorization of sugar industry waste: Status, opportunities, and challenges. **Bioresource Technology**, Índia, v. 303 (122929), 2020.

MESA, L. Estudo da Pirólise de Cana-de-Açúcar Integral. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, 2011.

MOHAMED, E. F. *et al.* Production of sugarcane bagasse-based activated carbon for formaldehyde gas removal from potted plants exposure chamber. **Journal of the Air and Waste Management Association**, v. 65, p. 1413-1420, 2015.

MOHAMED, M. A. *et al.* Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. Membrane Characterization, 3–29, 2017.

MOHAMED, N.B. *et al.* Polyethylenimine modified sugarcane bagasse adsorbent for methyl orange dye removal. **Chemical Engineering Transactions**, v. 56, p. 103-108, 2017.

MOHTASHAMI, S.-A. *et al.* Optimization of sugarcane bagasse activation to achieve adsorbent with high affinity towards phenol. **Turkish Journal of Chemistry**, v. 42, p. 1720-1735, 2018.

MOUGHAOUI, F. *et al.* A novel approach for producing low cost and highly efficient activated carbon for removing cationic dyes. **Mediterranean Journal of Chemistry**, v. 8, p. 74-83, 2019.

NADZIRAH, Z.; HASHIM, N.H.; RAZI, M.A.M. Studies on the preparation of activated carbon sugarcane bagasse on removal of chemical oxygen demand, alkalinity and oil and grease of car wash wastewater. **Advances in Environmental Biology**, v. 9, p. 15-20, 2015.

NIJU, S. *et al.* Sugarcane bagasse derived biochar – a potential heterogeneous catalyst for transesterification process. **Energy Sources, Part A: Recovery Utilization and Environmental Effects**, p. 1-12, 2019.

NJOKU, V. O.; FOO, K. Y.; ASIF, M. *et al.* Preparation of activated carbons from rambutan (*Nephelium lappaceum*) peel by microwave-induced KOH activation for acid yellow 17 dye adsorption. **Chem Eng J.**, v. 250, p. 198–204, 2014.

NUNES, C., GUERREIRO, M. Estimation of surface área and pore volume of activated carbons by methylene blue and iodine numbers. **Química Nova**, Brasil, v. 34 (3), p. 472-476, 2011.

OGASAWARA, S.; WAKAO, N. Preparation of activated carbon from Brazilian sugarcane bagasse, **Latin American Applied Research**, v. 29, 1999.

PANG, Y.L. *et al.* Synthesis of iron modified sugarcane bagasse activated carbon for oxidation degradation of malachite green. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 476, 2020.

PATEL, P.; MUTEEN, A.; MONDAL, P. Treatment of greywater using waste biomass derived activated carbons and integrated sand column. **Science of The Total Environment**, v. 711, 2020.

PELÁEZ-SAMANIEGO, M. R. Uso de biocombustível da pirólise rápida de palha de cana em um motor de ciclo Otto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, 2007.

PENDYAL, B. *et al.* Removal of sugar colorants by granular activated carbons made from binders and agricultural by-products. **Bioresource Technology**, v. 69, p. 45-51, 1999.

PENDYAL, B. *et al.* The effect of binders and agricultural by-products on physical and chemical properties of granular activated carbons. **Bioresource Technology**, v. 68, p. 247-254, 1999.

QIN, Yanmin; LIANG, Meina; WANG, Dunqiu. Advances in Preparation of activated carbon from sugarcane bagasse and using It to treatment of wastewater Research. **Advanced Materials Research**, China, v. 1010-1012, p. 15-19, 2014.

QU, Y. *et al.* Efficient toluene adsorption/desorption on biochar derived from in situ acid-treated sugarcane bagasse. **Environmental Science and Pollution Research**, 2021.

RAVICHANDRAN, P.; SOWMYA, A.; MEENAKSHI, S. Equilibrium and kinetic studies on the removal of basic violet 10 from aqueous solutions using activated carbons prepared from industrial wastes. **Bioremediation Journal**, v. 16, p. 86-96, 2012.

RODRIGUES, Gelze S. de Souza Campos; ROSS, Jurandyr L. Sanches. A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental. **SciELO Books**, Uberlândia, p. 269, 2020.

SALAME, I.I., BANDOSZ, T.J. Comparison of the surface features of two wood-based activated carbons. *Ind. Eng. Chem. Res.* 39 (2), 301–306, 2000.

SALIHI, I.U.; KUTTY, S.R.M.; ISA, M.H. Adsorption of Lead ions onto Activated Carbon derived from Sugarcane bagasse. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 201, 2017.

SARKAR, S. *et al.* Investigations on porous carbon derived from sugarcane bagasse as an electrode material for supercapacitors. **Biomass and Bioenergy**, v. 142, 2020.

SEIXAS, F.L. *et al.* Activated carbono from sugarcane bagasse prepared by activation with CO₂ and bio oil recuperation. **Chemical Engineering Transactions**, v. 57, p. 139-144, 2017.

SHARMA, M. *et al.* ZnO tetrapods and activated carbon based hybrid composite: Adsorbents for enhanced decontamination of hexavalent chromium from aqueous solution. **Chemical Engineering Journal**, v. 358, p. 540-551, 2019.

SHI, Y.; ZUO, J. Adsorption removal of phosphorus from aqueous solution by the activated carbon prepared from sugarcane bagasse. **Advanced Materials Research**, v. 183-185, p. 1046-1050, 2011.

SÓLIS-FUENTES, J.A. *et al.* Effectiveness of bagasse activated carbon in raw cane juice clarification. **Food Bioscience**, v. 32, 2019.

SÓLIS-FUENTES, J.A. *et al.* Quality improvement of jaggery, a traditional sweetener, using bagasse activated carbon. **Food Bioscience**, v. 32, 2019.

SOUZA, J.C. *et al.* Production and characterization of water-steam activated carbons made from sugarcane bagasse and molasses pellets | [Produção e caracterização de carvões ativados com vapor de água, originados de pellets de bagaço e melaço de cana-de-açúcar]. **Acta Scientiarum – Technology**, v. 34, 2012.

SUESCÚN, M.E. *et al.* Carboxylic acid recovery from aqueous solutions by activated carbon produced from sugarcane bagasse. **Adsorption**, v. 20, p. 935-943, 2014.

SURIYACHAI, N. *et al.* Sequential organosolv fractionation/hydrolysis of sugarcane bagasse: The coupling use of heterogeneous H₃PO₄-activated carbon as acid promoter and hydrolysis catalyst. **Renewable Energy**, v. 113, p. 1141-1148, 2017.

SUTRISNO, B. *et al.* Preparation and characterization of activated carbon from sugarcane bagasse by physical activation with CO₂ gas. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 105, 2016.

TAHIR, M. B. *et al.* Insighting role of activated carbon based nanostructures for complete photocatalytic degradation of hazardous pharmaceutical compound. *Applied Nanoscience*, v. 11, p. 1117-1126, 2021.

TAHIR, S.M. *et al.* Synthesis of waste cooking oil-based polyol using sugarcane bagasse activated carbon and transesterification reaction for rigid polyurethane foam. **Materials Science Forum**, v. 846, p. 690-696, 2016.

TANDON, S.; NANDINI, N. Adsorption efficiency of carbon prepared from agricultural waste materials in removing basic dye from aqueous solution. **Asian Journal of Chemistry**, v. 23, p. 636-640, 2011.

TANG, Y.; LIU, S.; TSANG, D.C.W. Microwave-assisted production of CO₂-activated biochar from sugarcane bagasse for electrochemical desalination. **Journal of Hazardous Materials**, v. 383, 2020.

TAO, H-C. *et al.* Biomass based activated carbon obtained from sludge and sugarcane bagasse for removing lead ion from wastewater. **Bioresource Technology**, v. 192, p. 611-617, 2015.

TRIYANA, K. *et al.* Preparation of activated carbon monolith electrodes from sugarcane bagasse by physical and physical-chemical activation process for supercapacitor application. **Advanced Materials Research**, v. 896, p. 179-182, 2014.

TSAI, W.T. *et al.* Adsorption of acid dye onto activated carbons prepared from agricultural waste bagasse by $ZnCl_2$ activation. **Chemosphere**, v. 45, p. 51-58, 2001.

TSAI, W.T. *et al.* Characterization of activated carbons prepared from sugarcane bagasse by $ZnCl_2$ activation. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 36, p. 365-378, 2001.

UN, U. T. *et al.* Adsorption of Disperse Orange 30 dye onto activated carbon derived from Holm Oak (*Quercus Ilex*) acorns: A 3k factorial design and analysis. **Journal of Environmental Management**, London, v. 155, p. 89-96, May 2015.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA). Sugar Production Up Globally in 2021/22, stable in the United States and Mexico, 2021. Disponível em: <https://public.govdelivery.com/accounts/USDAFAS/subscriber/new> Acesso em: 08 jun. 2021.

VACCA J., V. *et al.* Adsorption for the removal of phenolic compounds from the effluent of a biologic reactor | [Adsorción para la remoción de compuestos fenólicos presentes en el efluente de un reactor biológico. **Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia**, v. 35, p. 252-260, 2012.

VAN TRAN, T. *et al.* A comparative study on the removal efficiency of metal ions (Cu^{2+} , Ni^{2+} , and Pb^{2+}) using sugarcane bagasse-derived $ZnCl_2$ -activated carbon by the response surface methodology. **Adsorption Science & Technology**, v. 35, p. 72-85, 2017.

VAN TRAN, T. *et al.* Application of response surface methodology to optimize the fabrication of $ZnCl_2$ -activated carbon from sugarcane bagasse for the removal of Cu^{2+} . **Water Science and Technology**, v. 75, p. 2047-2055, 2017.

WANG, D. *et al.* Removal of nitrobenzene from aqueous solution by adsorption onto carbonized sugarcane bagasse. **Adsorption Science & Technology**, v. 36 (5-6), p. 1366-1385, 2018.

WANG, Shurong *et al.* Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: A state-of-the-art review. **Progress in Energy and Combustion Science**, China, v. 62, p. 33-86, 2017.

WANG, Y. *et al.* Preparation of high-performance toluene adsorbents by sugarcane bagasse carbonization combined with surface modification. **RSC Advances**, v. 40, 2020.

WATCHARABUNDIT, P.; SAWASDEE, S. Adsorption of Fe (II) solution by sugarcane bagasse and activated carbon prepared from sugarcane bagasse. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**, v. 18, p. 190-213, 2019.

WEBER, K.; QUICKER, P. Properties of biochar. **Fuel**, Germany, v. 217, p. 240-261, 2018.

WEI, Q. *et al.* Preparation and electrochemical performance of orange peel based-activated carbons activated by diferente activators. *Colloids Surf. A Physico chem. Eng. Asp.*, v. 574, 221–227.

WIBAWA, P. *et al.* SEM, XRD and FTIR analyses of both ultrasonic and heat generated activated carbon black microstructures. *PMC*, v. 6 (3), Mar 2020.

XIA, J. *et al.* Production of Activated Carbon from Bagasse (Waste) of Sugarcane Grown in Brazil. *Journal Of Chemical Engineering Of Japan*, v. 31, p. 987-990, 1998.

XIA, J.; NODA, K.; KAGAWA, S. Measurement of adsorption equilibrium of single organic solute from dilute aqueous solution on activated carbon produced from bagasse of sugarcane grown in China. *Japão*, v. 27, p. 487-492, 2001.

XU, Z. *et al.* Optimization of the Preparation Conditions for Activated Carbons from Sugarcane Bagasse: An Agricultural Waste. *International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring*, p. 555-559, 2011.

YADAV, A.K. *et al.* Removal of fluoride from aqueous solution and groundwater by wheat straw, sawdust and activated bagasse carbon of sugarcane. *Ecological Engineering*, v. 52, p. 211-218, 2013.

YAHYA, M. A.; AL-QODAH, Z.; NGAH, C. W. Z. Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 46, p. 218-235, June 2015.

YORGUN, S.; YILDIZ, D. Preparation and characterization of activated carbons from Paulownia wood by chemical activation with H₃PO₄. *J Taiwan Inst Chem Eng*, v. 53, p. 122-131, 2015.

YUAN, J.; AMANO, Y.; MACHIDA, M. Surface characterization of mesoporous biomass activated carbon modified by thermal chemical vapor deposition and adsorptive mechanism of nitrate ions in aqueous solution. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 616, Japan, 2021.

YUNUS, Zalilah Murni *et al.* Advanced methods for activated carbon from agriculture wastes; a comprehensive review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2020.

ZHANG, Z. *et al.* Sudden heating of H₃PO₄-loaded coconut shell in CO₂ flow to produce super activated carbon and its Application for benzene adsorption. *Renew. Energy*, v. 153, p. 1091–1099, 2020a.

ZUO, L. *et al.* Enhanced removal of sulfonamide antibiotics by KOH-activated anthracite coal: Batch and fixed-bed studies. *Environmental Pollution*, v. 211, p. 425-434, 2016.