

Estudo das características do carvão ativado a partir do bagaço da cana-de-açúcar na adsorção do Chumbo em efluentes industriais

Study of the characteristics of activated carbon from sugarcane bagasse in lead adsorption in industrial effluents

DOI:10.34117/bjdv7n12-495

Recebimento dos originais: 12/11/2021

Aceitação para publicação:15/12/2021

Larissa Amorim Fonseca

Engenheira Química – Centro Universitário Una – Rua dos Aimorés,1451
Rua dos Aimorés, 1451 - Lourdes, Belo Horizonte - MG, 30140-071
larissaamorim.28@hotmail.com

Mayron Mairink Franco de Castro

Engenheiro Químico - Centro Universitário Una – Rua dos Aimorés,1451
Rua dos Aimorés, 1451 - Lourdes, Belo Horizonte - MG, 30140-071
mayronmairink@hotmail.com

Margarete Aparecida Pereira

Mestre em Evolução Crustal e Recursos Naturais (UFOP) - Centro Universitário Una
Rua dos Aimorés,1451 - Rua dos Aimorés, 1451 - Lourdes, Belo Horizonte - MG,
30140-071
margarete.pereira@prof.una.br

RESUMO

O Chumbo (Pb) é um metal pesado encontrado em efluentes industriais e que mesmo em pequenas concentrações causam malefícios aos seres humanos e à vida marinha. O presente trabalho de revisão bibliográfica tem como objetivo o estudo do carvão ativado a partir do bagaço da cana-de-açúcar na adsorção do Pb em efluentes industriais. Para isso, foi realizado a caracterização do bioadsorvente em função das diferentes formas de preparação dos autores, comportamento adsorptivo, e sua eficiência de retenção do Pb. Por sua vez, todo o processo é muito dinâmico e não existe um consenso para um processo ideal.

Palavras-chaves: Adsorção, Chumbo, Carvão Ativado, Bagaço da cana-de-açúcar.

ABSTRACT

Lead (Pb) is a heavy metal found in industrial effluents and that even in small concentrations causes harm to humans and marine life. The present work of literature review aims to study activated carbon from sugarcane bagasse in the adsorption of Pb in industrial effluents. For this, the characterization of the bioadsorbent was carried out according to the different forms of preparation of the authors, adsorbent behavior, and its

Pb retention efficiency. In turn, the entire process is very dynamic and there is no consensus for an ideal process.

Keywords: Adsorption, Lead, Activated Carbon, Sugarcane Bagasse.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a necessidade de apoiar e contribuir com ações que atenuem os danos ao meio ambiente estão se intensificando cada vez mais. Essa rede de mitigação dos danos fez-se necessária a partir do aumento das atividades industriais desde a revolução industrial. Dentre os diversos tipos de degradação ao meio ambiente, pode-se citar a do tipo química. Esse tipo de degradação decorre da quantidade de despejos gerados em processos industriais (SILVA, 2014).

Dentre os constituintes de despejos industriais podem-se destacar os metais pesados. Esses advêm de diversos setores industriais, como a mineração, siderurgia, galvanoplastia, petroquímica e metalurgia (AGUIAR, 2002). Para limitar o despejo desse tipo de degradante o Ministério do Meio Ambiente a partir do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou através da Resolução nº 430/2011, a qual dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, a disposição sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes. Para o Pb, o valor máximo permitido, segundo a resolução mencionada, é de 0,5 mg/L.

Em algumas amostras coletadas de efluentes, advindas de indústrias do setor de produção de chapas metálicas, foram encontrados 94,4 mg/L de Pb, sendo essa uma concentração de íons preocupante devido a toxicidade desse tipo de metal (MATOS *et al.*, 1996). O Pb mesmo em baixas concentrações apresenta riscos para a vida marinha e aos seres humanos.

O tratamento de efluentes industriais que possuem metais pesados inseridos em suas composições, pode ocorrer por diversos processos como: precipitação por via química, osmose reversa, adsorção em carvão ativado ou alumina e oxirredução (AGUIAR, *et al.*, 2002).

Atualmente, diversos estudos que são realizados para a remoção do Pb em efluentes são oriundos do processo de adsorção utilizando o carvão ativado, pois essa técnica tem-se mostrado extremamente eficiente nesse processo. Além do tratamento a partir do carvão ativado, pode-se utilizar essa técnica a partir de adsorventes alternativos.

O desempenho do processo de adsorção está relacionado diretamente a escolha do material adsorvente. Diversos estudos salientam as cascas de frutas como eficientes no processo (CRUZ, 2009). Cascas de coco, bagaço de cana-de-açúcar, lascas de madeiras são alguns materiais que podem ser convertidos com sucesso em carvões ativados. Esses materiais celulósicos possuem alto teor de carbono em sua composição, o que determina um rendimento satisfatório e alta porosidade (MARRAKCHI *et al.*, 2017).

O Brasil se caracteriza como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo que São Paulo responde por 55% da área plantada no país (INVESTSP, 2017). Segundo uma pesquisa realizada pela Revista Pesquisa (1998), o bagaço da cana-de-açúcar é o maior subproduto da agroindústria brasileira e que a cada ano sobram 5 a 12 milhões de toneladas deste material, o que corresponde, em média, 30% da cana moída. Considerando a abundância deste produto em solos brasileiros, o bagaço da cana-de-açúcar tem potencial para ser utilizado como material adsorvente na remoção do Pb em efluentes industriais.

Segundo Paz *et.al.*, (2015), FERREIRA & FINZER (2017) e TOLEDO *et. al* (2020) o bagaço da cana-de-açúcar mostra-se eficiente para a realização da adsorção do Pb e que diferentes fatores durante a preparação do adsorvente podem influenciar a eficiência do processo. Além da análise do modelo da isoterma mais adequado a ser ajustado para os seus respectivos dados empíricos.

Diante disso, este estudo tem como objetivo geral a caracterização do carvão ativado a partir do bagaço de cana-de-açúcar como técnica de remoção do Pb em efluentes industriais por processos de adsorção e como objetivo específico comparar fatores relacionados ao processo que podem influenciar na eficiência final da adsorção, como pH do meio, temperatura da adsorção, adsorção física (fisissorção) e adsorção química (quimissorção), ativação química e física, além do estudo dos modelos das isotermas nas condições aplicadas pelos autores.

2 METODOLOGIA

Com o intuito de alcançar o objetivo do presente estudo, realizou-se uma revisão bibliográfica acerca do carvão ativado utilizando-se como matéria-prima sustentável, o bagaço da cana-de-açúcar, tornando adsorvente do Pb em efluentes industriais.

O estudo foi composto a partir de uma comparação entre três artigos acerca do processo de adsorção do Pb. Os artigos foram selecionados de modo a ter-se uma comparação entre a ativação química e física do adsorvente, análise granulométrica

realizada através do processo de peneiramento e também, pelos estudos de micrografias eletrônicas de varredura (MEV) realizados pelos autores.

Já em relação a interação entre adsorventes e adsorvato, comparou-se os processos realizados por quimissorção e fisissorção em suas condições de processo determinadas durante as pesquisas empíricas realizadas pelos autores.

Por fim, realizou-se uma comparação entre os modelos matemáticos das principais isotermas de adsorção, utilizadas em sistema líquido-sólido, sendo eles: Langmuir e Freundlich.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ADSORÇÃO

A adsorção é um processo de acumulação e concentração seletiva de um ou mais constituintes contidos num gás ou líquido sobre superfícies sólidas. Nesse processo, a substância retida é denominada como adsorvato, já aquela que promove a retenção é denominada como adsorvente (COELHO *et al.*, 2014).

A explicação termodinâmica do fenômeno de adsorção é a existência de forças de atração não compensadas na superfície do adsorvente. Quando as forças de atração entre o adsorvato e o adsorvente são maiores que as forças de atração entre o adsorvato e o efluente, o adsorvato sofrerá o processo de adsorção na interface superficial do adsorvente (PEREIRA, 2008).

A capacidade de adsorção está ligada diretamente à superfície total do adsorvente. Sendo assim, quanto maior for a área superficial do adsorvente, maior será a eficiência nesse processo, sendo assim os materiais adsorventes possuem uma superfície com uma vasta quantidade de poros (NASCIMENTO *et al.*, 2014). Por esse motivo, os materiais adsorventes usualmente são sólidos porosos com elevadas áreas superficiais (MENDES, 2013).

3.1.1 Quimissorção e Fisissorção

De acordo com a natureza das interações envolvidas, a adsorção pode ser classificada de acordo a sua intensidade em dois diferentes tipos: quimissorção e fisissorção. Na fisissorção, a qual possui caráter reversível, a interação do adsorvato à superfície do adsorvente pode ser considerada relativamente fraca e pode formar várias camadas sobrepostas. Esta interação pode ser atribuída às forças de Van der Waalls, semelhante às forças de coesão molecular. A capacidade de coesão descreve a resistência

à separação de uma substância na tentativa de permanecer unida (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

A quimissorção envolve fundamentalmente a formação de ligações químicas entre o adsorvato e o adsorvente, limitando-se a apenas uma camada na superfície do adsorvente. Neste tipo de adsorção, as ligações químicas são rompidas e formadas por um processo considerado como irreversível. A quimissorção é um processo específico que dependerá das espécies envolvidas para a ocorrência do processo de adsorção (ASSIS, 2012).

3.2 MODELOS DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

As isotermas do processo de adsorção indicam como o adsorvente efetivamente irá realizar o processo de adsorção e se é possível a purificação requerida; a quantidade máxima de adsorvato para a ocorrência do processo; informações que determinam se o adsorvente é economicamente viável para a purificação do efluente (PEREIRA, 2008). Os modelos mais utilizados para adsorção em materiais carbonáceos, os quais são ricos em carbono, são os modelos de Langmuir e de Freundlich. Esses conseguem representar bem a maioria dos dados de equilíbrio (ABREU, 2013).

3.2.1 Isoterma de Langmuir

A formulação da Isoterma de Langmuir considera que os sítios de ligação são distribuídos homogeneamente na superfície do adsorvente, assumindo que não exista interação entre as moléculas do adsorvente, esse modelo apresenta boa concordância com a ampla distribuição de dados experimentais (ABREU, 2013).

O modelo de Langmuir além de assumir que a energia é constante sobre todos os sítios considera também que a adsorção na superfície é localizada (os solutos são adsorvidos em sítios definidos e localizados, não havendo mobilidade sobre a superfície) e que cada sítio de adsorção pode acomodar apenas uma molécula ou átomo (PEREIRA, 2008). Sendo assim, a isoterma de Langmuir é dada pelas seguintes equações:

Forma não linear:

$$q_e = \frac{q_{\max} \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e} \quad (\text{Eq. 1})$$

Forma linear:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} \cdot b} + \frac{C_e}{q_{\max}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde q_e é a quantidade de adsorvato (mg/g), o qual foi adsorvido, por grama do material adsorvente; q_{\max} é uma constante que representa o número total de sítios disponíveis no material biossorvente (mg/g); C_e é a concentração do adsorvato em solução no equilíbrio (mg/L); b é uma constante que representa a razão entre as taxas de sorção (absorção e adsorção ocorrendo ao mesmo tempo em um material diferente à superfície de uma outra molécula) e dessorção (retirada de substâncias adsorvidas ou absorvidas por outras) (L/mg), sendo que valores elevados do parâmetro b indicam afinidade do íon pelos sítios do material adsorvente (COELHO, 2014).

3.2.2 Isoterma de Freundlich

O modelo proposto por Freundlich prevê que pode existir influência no processo de adsorção de sítios ativos próximos e que pode ocorrer a adsorção de mais de uma molécula por sítios ativos (SILVA, 2014). Este modelo também descreve a adsorção não-ideal e reversível, e não limitada à formação de monocamada (MENDES, 2013).

Forma não linear:

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (\text{Eq. 3})$$

Forma linear:

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde C_e é a concentração no equilíbrio (mg/L); q_e é a quantidade adsorvida no equilíbrio por unidade de massa de adsorvente (mg/g); K_f e n (adimensional) são os dois parâmetros de Freundlich (mg/g) (COELHO, 2014).

3.3 METAIS PESADOS

Quimicamente os metais pesados apresentam uma elevada massa específica, girando em torno de 3,5 a 7,0 g/cm³ dependendo de cada referência (LIMA & MERÇON, 2011). Esses possuem características de efeitos cumulativos no meio ambiente e em seres vivos, dessa forma, com a deposição de pequenas quantidades ao longo do tempo podem trazer sérios malefícios aos envolvidos já que também são reativos, possuindo a capacidade de interagir com o meio, ocasionando problemas severos (NASCIMENTO, *et al.*, 2006). Dentre eles, os que estão associados com intoxicação são: Bário (Ba), Berílio (Be), Cádmiio (Cd), Chumbo (Pb) e o Mercúrio (Hg). Todavia, os problemas de toxicidade gerados podem ser agudos (surge de repente e dura por um curto tempo) ou crônicos (é mais duradoura e pode ser contínua) (MENDES, 2013). Portanto, das enfermidades agudas pode-se citar as dores de cabeça. Já daquelas que são crônicas, tem-se uma gama de possibilidades mais abrangente, sendo elas: alterações no sistema nervoso, digestivo, infertilidade, anormalidades fetais, supressão do sistema imunológico, problemas renais, além da possibilidade de surgimento da diabetes e do câncer (BATISTA, *et al.*, 2012).

3.4 CHUMBO (PB)

O Pb é um elemento químico da tabela periódica que compõe o grupo dos metais pesados. Esse metal pode ser encontrado em diferentes formas como: Pb⁰ e Pb²⁺ (CEVS, [2019]).

Em estado nativo esse metal assume tonalidade branco-azulado, tornando-se acinzentado quando exposto ao ar, possui número atômico 82 e pertence ao 5° período da tabela periódica. As particularidades do Pb fazem com que ele seja um metal importante desde a ocorrência da revolução industrial (ATKINS, 2006).

Esse metal se caracteriza por ser altamente maleável, possuir baixa condutividade elétrica e ser altamente resistente ao processo de corrosão. A temperatura de fusão é 327,4°C e a vaporização 1.725°C (ICZ, [2020]).

A aplicação desse metal pode ser destinada a indústrias relacionadas à construção civil e indústrias químicas de forma geral. Quando o mesmo encontra-se em contato com efluentes e chega a ser absorvido pelo organismo humano os danos são vastos, como: danos ao cérebro, alterações no sistema nervoso, danos aos rins, entre outros (QUIMLAB, [2020]).

3.5 CARVÃO ATIVADO

Carvões ativados são materiais que possuem em sua composição uma vasta rede de carbonos e apresentam uma estrutura microcristalina que passaram por tratamento a fim de aumentar a porosidade interna. Este tratamento que recebe o nome de ativação faz com que o carvão apresente em sua estrutura uma alta porosidade (CLAUDINO, 2003).

Os materiais que possuem destaque na fabricação são aqueles que se enriquecem durante o tratamento térmico sem que haja fusão ou abrandamento que gere algum empecilho na formação de microporos. Porventura, se a porosidade for considerada baixa ou insuficiente, faz-se necessário realizar a ativação desses materiais (CLAUDINO, 2003).

A produção de carvão ativado ocorre a partir da desidratação da matéria-prima e carbonização seguida de ativação, que poderá ser física ou química. A ativação física usualmente ocorre com base na realização de carbonização seguido de ativação a partir de vapor ou aplicação de CO_2 . Durante o processo de carbonização, a matéria-prima é pirolisada (ocorrência de degradação do material por energia térmica com pouco ou nenhum oxigênio) para remover elementos que não são carbonos. Sequencialmente, ocorre a ativação (ABREU, 2013).

A ativação denominada como química é o método no qual utiliza-se agentes químicos para realizar a preparação do carvão ativado. Os agentes usualmente utilizados são: ZnCl_2 (cloreto de zinco), H_3PO_4 (ácido fosfórico), KOH (hidróxido de potássio), K_2CO_3 (carbonato de potássio), NaOH (hidróxido de sódio), H_2SO_4 (ácido sulfúrico) e HCl (ácido clorídrico). Esses agentes auxiliam no desenvolvimento da porosidade através da desidratação e degradação (ABREU, 2013).

A vantagem da ativação química é o fato que a mesma gera um carvão com uma área de contato maior e com poros mais desenvolvidos. A ativação física obtém como resultado um carvão ativado com área menor, o que reduz a extensão na qual será usada para o processo de adsorção (INOVATIVA, 2017).

Atualmente pode-se encontrar carvão ativado em diferentes formas físicas como: carvão ativado granular, em forma de pó, fibras ou panos. Quanto a porosidade do carvão ativado, a mesma pode ser classificada de acordo com a largura da sua vasta rede de poros: microporos (<2 nm), mesoporos (2 a 50 nm) e macroporos (>450 nm). A realização dos tratamentos químicos e físicos visam o desenvolvimento dos poros, aumentando assim a capacidade de adsorção (ABREU, 2013).

Desta forma, os fatores que podem influenciar o processo de adsorção através do carvão ativado são diversos, como as propriedades do adsorvato, as quais dependem da polaridade, do tamanho da partícula, do pH e do tamanho da molécula. Outros fatores que também podem influenciar, são as propriedades do adsorvente, as quais incluem área superficial, grupos funcionais presentes na superfície, afinidade com a água, tamanho dos poros e a densidade. Condições de temperatura (do sistema), podem influenciar, principalmente, a constante de velocidade de adsorção, ou seja, um simples aumento na temperatura pode resultar no aumento da energia cinética (NASCIMENTO *et al.*, 2014). Segundo Khattree e Singh (1999), a elevação na temperatura pode influenciar na solubilidade e potencial químico do adsorvato. Por fim, o pH do meio também faz-se imprescindível na análise do processo de adsorção em solução, pois é determinante na carga superficial do adsorvente, além de conduzir as interações eletrostáticas entre o adsorvente e o adsorvato (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Dentre as diversas vantagens relacionadas ao carvão ativado pode-se citar o fato de que o mesmo possui uma alta capacidade para realizar processos de adsorção, sendo muito eficiente e frequentemente utilizado no tratamento de água e efluentes. Já acerca das desvantagens, tem-se um alto custo de investimento devido a origem e o valor agregado da matéria-prima. Somando-se a este fato, tem-se as perdas durante o processo de recuperação do material adsorvente. Devido a esses fatores e com intuito de neutralizar as desvantagens relacionadas ao processo, existe uma busca crescente por materiais que apresentam baixos custos e que possam ser empregados na produção de carvão ativado de forma a agregar positivamente a ação deste produto (WERLANG *et al.*, 2013).

3.5.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O MEV é um aparelho que permite ampliação de 300.000 vezes do tamanho original (valores da ordem de 2 a 5 nanômetros) da grande parte dos materiais sólidos, tornado capaz de fornecer informações morfológicas como propriedades das fibras, presença de impurezas, trincas e superfícies irregulares (DEDAVID *et al.*, 2007).

O seu princípio de funcionamento consiste em utilizar feixes de elétrons nos quais percorrem pela superfície da amostra, realizando uma varredura completa da amostras e quando um feixe de elétrons incide na superfície da amostra, o MEV recebe um sinal de imagem (PINTO *et al.*, 2003).

A importância do MEV na análise do carvão ativado é fornecer imagens de alta resolução, sendo capaz de emitir dados acerca da morfologia, da área superficial e elementos químicos da amostra de interesse (NAGATANI *et al.*, 1987).

3.6 CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

O bagaço de cana-de-açúcar é um subproduto que totaliza 25 a 30% do total que passa pelo processo de moagem. A sua aplicabilidade pode ser direcionada à diversas áreas, como na produção de energia térmica ou como ração animal. Todavia, estudos têm demonstrado que esse subproduto pode ser utilizado também como um excelente adsorvedor de íons metálicos em processos de tratamento de efluentes industriais (YAMAMURA & YAMAURA, 2005).

A composição química do bagaço de cana-de-açúcar, representada na Tabela 1, indica o alto teor de carbono, fato que determina um bom rendimento e alta porosidade deste material (MARRAKCHI *et al.*, 2017).

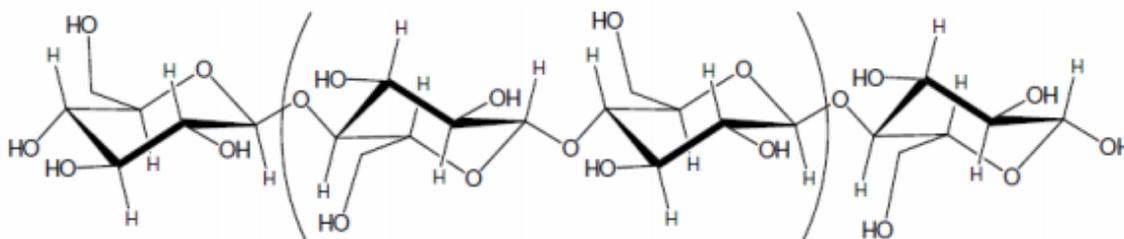
Tabela 1: Composição química média do bagaço de cana-de-açúcar

Componente	Percentual
Carbono	39,7 - 49,0%
Oxigênio	40,0 - 46,0%
Hidrogênio	5,5 - 7,4%
Nitrogênio e cinzas	0,0 - 0,3%

Fonte: Silva, *et al.*, 2007 (modificado).

Já em relação a sua composição média da fibra do bagaço de cana-de-açúcar, Tabela 2, observa-se uma predominância de celulose em sua composição, sendo o principal componente da parede celular da fibra. A estrutura celulósica fornece algumas características a fibra do bagaço de cana-de-açúcar como hidrofiliabilidade (afinidade com a água), quiralidade (átomo que encontra-se ligado a quatro átomos diferentes), degradabilidade, dentre outras características químicas em razão da alta reatividade de grupos hidroxilas (Figura 1) formando ligações de hidrogênio, acarretando em arranjo cristalino altamente regular de cadeia polimérica (PEREIRA, 2008).

Figura 1: Estrutura química da celulose (Fonte: ASSIS, 2012)



Já a hemicelulose é a substância na qual possui a função pela biodegradação da fibra, absorção de umidade e também da degradação térmica da mesma (GUSMÃO, 2011). Por fim, a lignina é o segundo maior elemento de relevância na composição da fibra do bagaço de cana-de-açúcar, na qual proporciona rigidez e resistência à composição (KARNITZ, 2007).

Tabela 2: Composição média da fibra do bagaço de cana-de-açúcar.

Componente	Percentual
Celulose	26,6 - 54,3%
Hemicelulose	14,3 - 24,4%
Lignina	22,7 - 29,7%

Fonte: Silva, *et al.*, 2007 (modificado).

Contudo, todas as características supracitadas norteiam a composição em possuir afinidade por íons metálicos, despertando então o interesse de muitos pesquisadores em utilizar o bagaço de cana-de-açúcar como material adsorvente (KURNIAWAN, *et al.*, 2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE

Segundo PAZ *et. al* (2015) o bagaço de cana-de-açúcar foi lavado com água, para que assim as impurezas fossem retiradas. Logo depois, o mesmo passou por um processo de secagem, em estufa a 60°C, por aproximadamente 40 horas. Depois o bagaço foi moído e peneirado, gerando partículas com diâmetro médio variando entre 0,5 e 2,0 mm. Em seguida o bagaço foi ativado quimicamente utilizando H₂SO₄ (1,0 mol/L), filtrado e lavado com água destilada. Os resultados evidenciados após a ativação com H₂SO₄, comprovam que o método utilizado por PAZ *et. al* (2015) seria uma boa alternativa para a remoção do Pb.

Os resultados propostos por FERREIRA & FINZER (2017) basearam-se na realização de um pré-tratamento, onde o bagaço passou por um processo de lavagem com água destilada, sendo mantido por agitação por 1 hora. Posteriormente o bagaço foi levado à estufa com aquecimento e circulação de ar, onde foi mantido por 24 horas a 110°C. Esse processo possui como objetivo a desidratação do material. Logo depois, assim como PAZ *et. al* (2015), o bagaço passou por um processo de peneiramento. As partículas geradas possuíam diâmetro médio variando entre 8 a 16 mesh (2,38 a 1,19 mm). Uma amostra de 40 g foi submetida por um processo de calcinação em mufla por 2 horas à 500°C. Esse processo objetivou a retirada de oxigênio e hidrogênio, favorecendo o teor de carbono do material. A ativação química ocorreu utilizando $ZnCl_2$ (18,4 mol/L). Logo em seguida, o bagaço foi submetido a aquecimento e escoamento de ar em uma estufa por 12 horas a 110°C. Depois o material foi mantido em um reator a temperatura de 500°C por 1 hora. Em seguida o bagaço foi filtrado e lavado com água destilada e aquecido em estufa por 12 horas a 105°C. A lavagem objetivou a retirada dos subprodutos de ativação (carbonatos, silicatos e outros) que são solúveis em água, fazendo com que os poros fiquem livres e mais expostos.

Por fim, os resultados de TOLEDO *et. al* (2020) basearam-se a partir da lavagem do bagaço em água corrente e secagem em estufa por 10 horas a 70°C. Logo depois, o bagaço foi moído em um liquidificador, objetivando a obtenção de partículas menores. Em seguida, o bagaço foi peneirado a partir da utilização de peneiras com malha de 48 e 100 mesh (aproximadamente 0,297 a 0,149 mm). Posteriormente, os autores concluíram que quanto maior a área superficial, maior seria a adsorção devido a superfície de contato. A ativação química foi realizada utilizando H_2SO_4 e HCl (ambos 1,0 mol/L). O processo mostrou-se viável utilizando o HCl . Essa viabilidade foi comprovada a partir da comparação realizada com o H_2SO_4 , o qual destruiu a fibra do bagaço da cana de açúcar, o que colaborou para sua adsorção fosse inferior em comparação com a realizada com o HCl . Todavia, mesmo havendo essa destruição, a adsorção com o H_2SO_4 apresentou rendimento de 18%. Já a ativação com o HCl não destruiu a fibra e apresentou uma adsorção superior, 82% para as partículas maiores e 100% para as partículas menores, devido à maior área de contato disponível.

Abaixo, na Tabela 3, consta uma síntese referente à caracterização do adsorvente diante dos métodos utilizados pelos autores.

Tabela 3: Síntese caracterização do adsorvente

Caracterização do Adsorvente			
Autores	Processos	Diâmetro das Partículas	Ativação
PAZ <i>et. al</i> , 2015	Lavagem, Secagem, Moagem e Peneiramento	Entre 0,5 e 2,0 mm	H ₂ SO ₄ (1,0 mol/L)
FERREIRA & FINZER, 2017	Lavagem com agitação, Secagem, Peneiramento e Calcinação	Entre 8 a 16 mesh (2,38 a 1,19 mm)	ZnCl ₂ (18,4 mol/L)
TOLEDO <i>et. al</i> , 2020	Lavagem, Secagem, Moagem e Peneiramento	Entre 48 e 100 mesh (aproximadamente 0,297 a 0,149 mm)	H ₂ SO ₄ e HCl (1,0 mol/L)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

4.1.1 Microscopia Eletrônica de Varredura e análise da composição química elementar

FERREIRA & FINZER (2017) utilizaram um microscópio de varredura eletrônica para verificar o desenvolvimento de poros sobre a superfície do bagaço de cana-de-açúcar. Dessa forma, constataram que após a calcinação e ativação química utilizando o ZnCl₂, a porosidade apresentou um aumento relativamente alto. A seguir encontra-se a Figura 2, a qual apresenta o bagaço em seu estado natural. Posteriormente encontra-se a Figura 3 representado o bagaço após a calcinação a 500°C e a Figura 4 representado o bagaço calcinado e ativado com ZnCl₂.

Figura 2: MEV bagaço de cana in natura (**Fonte:** FERREIRA & FINZER, 2017)

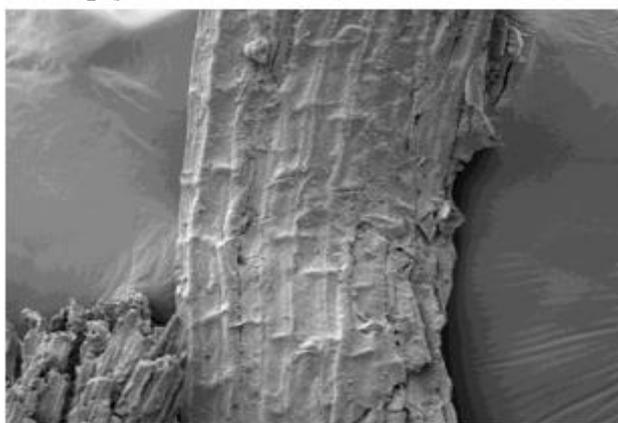


Figura 3: MEV bagaço da cana calcinado a 500°C (Fonte: FERREIRA & FINZER, 2017)

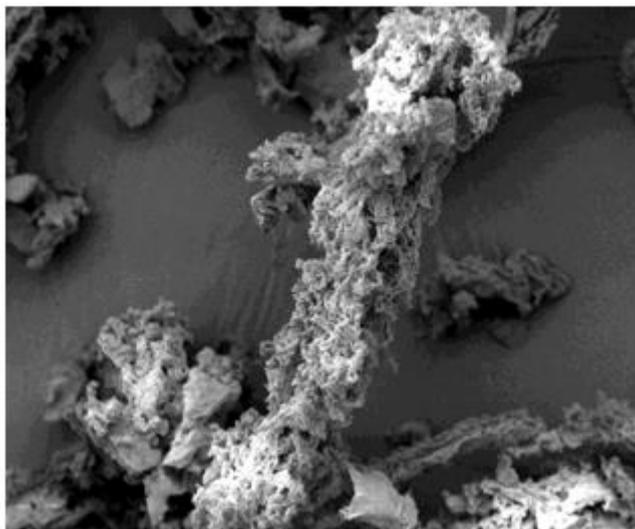
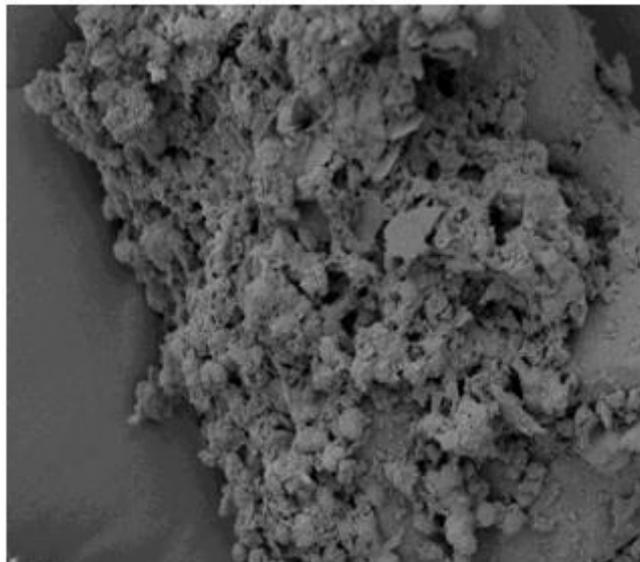


Figura 4: MEV bagaço da cana calcinado a 500°C e ativado com ZnCl₂ (carvão ativado) (Fonte: FERREIRA & FINZER, 2017)



TOLEDO *et. al* (2020) demonstrou à partir da realização da microscopia eletrônica de varredura (MEV) que antes da realização da ativação química o bagaço possuía uma superfície porosa com poros com diâmetro de 2,04 μm ($2,04 \times 10^{-3}$ mm), aproximadamente, como evidencia a Figura 5. Logo, realizou-se a ativação utilizando o HCl. Após esse processo constatou-se que ocorreu um aumento considerável dos poros contidos na superfície do bagaço, tendo um diâmetro de 3,68 μm ($3,68 \times 10^{-3}$ mm), aproximadamente, como mostra a Figura 6. Utilizando H₂SO₄ para realizar a ativação química, notou-se que o tamanho do poro aumenta menos em comparação a utilização do HCl. Entretanto, observou-se que com o H₂SO₄ houve destruição da fibra da cana, como evidenciado pela Figura 7.

Figura 5: Superfície porosa antes do tratamento. Em destaque o tamanho do poro (Fonte: TOLEDO *et. al*, 2020)

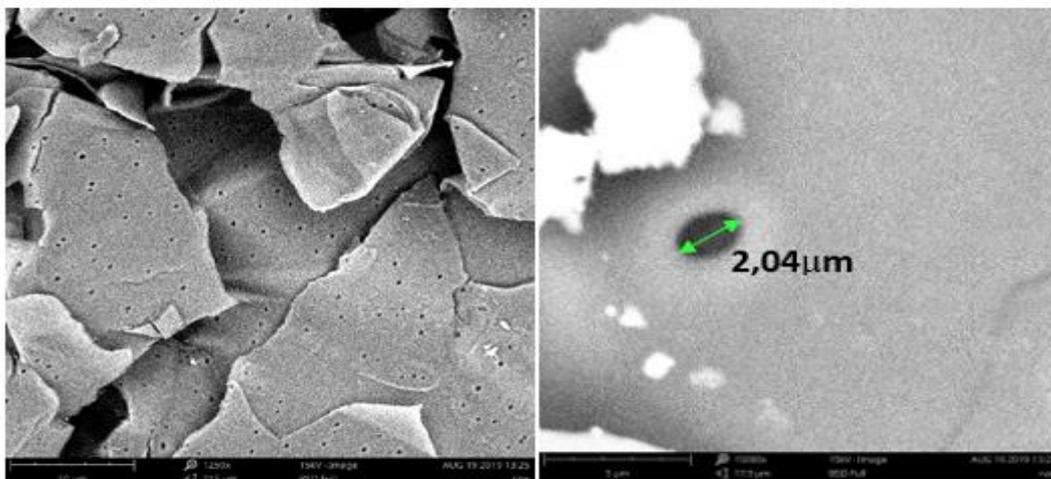


Figura 6: Bagaço da cana após tratamento com HCl. Em destaque o tamanho do poro após o tratamento (Fonte: TOLEDO *et. al*, 2020)

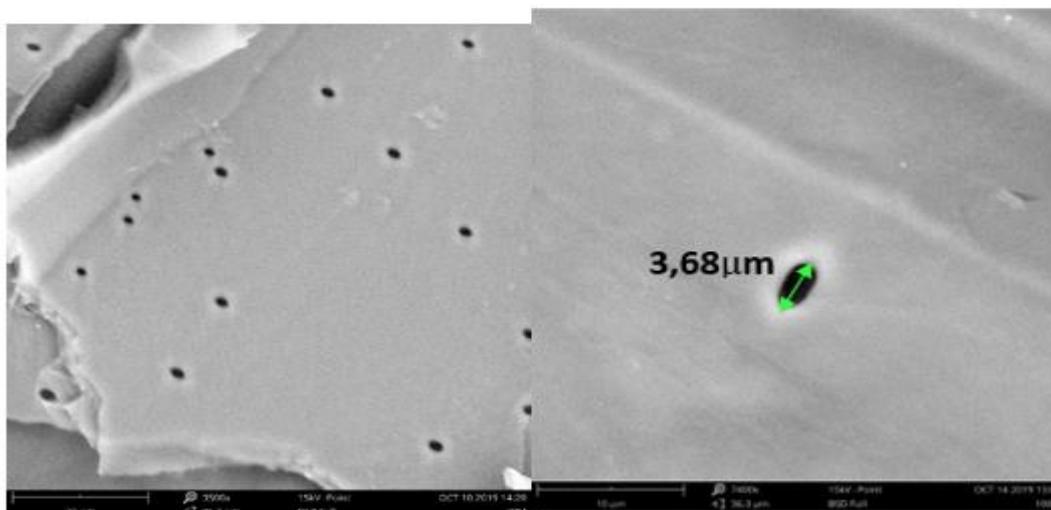
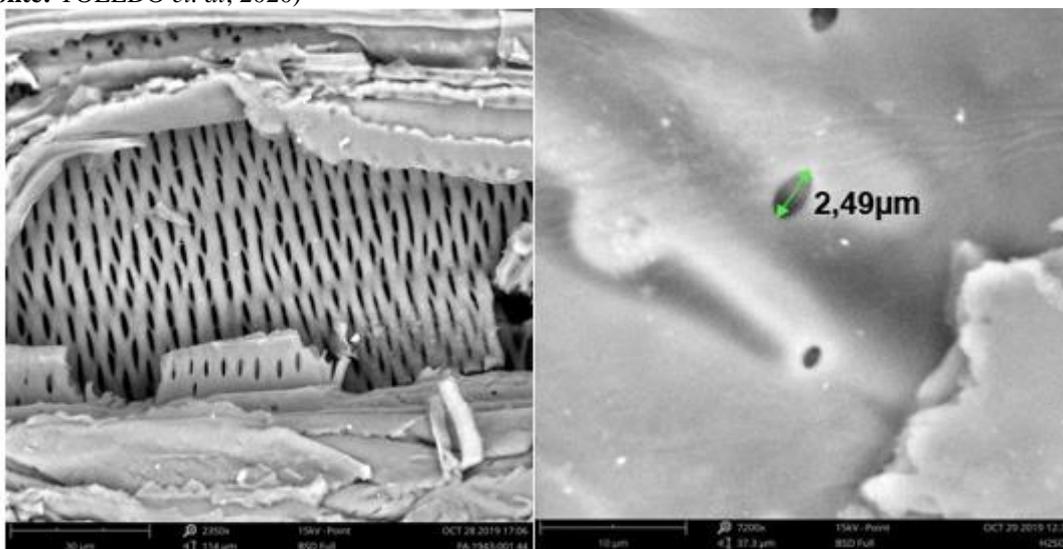


Figura 7: Bagaço da cana após tratamento com H₂SO₄. Em destaque o tamanho do poro após o tratamento (Fonte: TOLEDO *et. al*, 2020)



4.2 PH DO MEIO

O artigo escrito por PAZ *et. al* (2015) relata em sua metodologia e resultados que após a realização da ativação química do bagaço de cana-de-açúcar, foi realizado uma filtração para remoção do ácido e logo após uma lavagem com água destilada para que assim o pH fosse estabilizado em torno de 6.

Os resultados descritos por FERREIRA & FINZER (2017) evidenciam que após a realização da carbonização e do tratamento químico o carvão ativado produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar possuía um pH de 5,81. Posteriormente, foram preparadas quatro amostras de 20 mL, todas contendo 150 ppm de chumbo. Nessas amostras acrescentou-se 0,05 g, 0,10 g, 0,20 g e 0,30 g de carvão ativado respectivamente. O pH foi ajustado para 4, em cada uma das amostras, utilizando soluções de NaOH e HCl.

Os resultados obtidos por TOLEDO *et. al* (2020) não descrevem qual seria o pH registrado durante o processo. Porém, o artigo evidencia que após a realização da ativação química o bagaço foi filtrado a vácuo para remoção do ácido e lavado com água destilada até a estabilização do pH.

4.3 TEMPERATURA DO SISTEMA

PAZ *et. al* (2015) preparou soluções sintéticas de efluente contendo Pb a partir do cloreto de chumbo ($PbCl_2$). Sendo as concentrações iguais a 1, 2, 5, 10, 20 e 50 mg/L e a massa de adsorvato utilizada igual a 1,0 g. Logo, realizou-se ensaios de adsorção em diferentes temperaturas, sendo de 30, 50 e 65°C. Dentre os testes realizados, percebeu-se que a adsorção é realmente mais favorecida a 30°C, favorecendo o caráter exotérmico do processo adsortivo.

FERREIRA & FINZER (2017) realizaram os ensaios a temperatura de 30°C. Para isso, as amostras foram mantidas em banho termostático (à 30°C) e com agitação lenta, visando atingir o equilíbrio na adsorção do Pb pelo carvão ativado.

Por sua vez, TOLEDO *et. al* (2020) também prepararam soluções sintéticas de 50 mg/L de $PbCl_2$ (P.A). Para todas as amostras, foram utilizadas 200 mL de solução e variaram as massas de bagaço de cana-de-açúcar em 10, 8, 6, 4, 2 e 1g. Todas as amostras foram colocadas em agitação magnética constante por 1 hora em temperatura ambiente. De toda forma, embora que os autores não tenham ajustado a temperatura do seu processo para os 30°C, sugeridos pela maior parte da literatura por sua maior eficiência, os seus resultados não sofreram qualquer interferência de rendimento.

4.4 MODELOS DE ISOTERMAS

PAZ *et. al* (2015) através da regressão não linear dos dados obtidos experimentalmente, foram determinados os parâmetros de q_m (capacidade máxima de adsorção) e K_L (constante de Langmuir, representada por “b” no referencial teórico deste artigo). Assim como foram determinados também os parâmetros n (parâmetro de ajuste do modelo de Freundlich) e K_f (intensidade de adsorção). Os resultados encontrados estão descritos na tabela à seguir:

Tabela 4: Parâmetros dos modelos de Langmuir e Freundlich

Parâmetros	Modelo de Langmuir			Modelo de Freundlich		
	K_L (L mg^{-1})	q_m (mg g^{-1})	R^2	$K_f(mg\ g^{-1})(L\ mg^{-1})^{1/n}$	$1/n$	R^2
30°C	$0,39 \pm 0,16$	$4,44 \pm 0,69$	0,925	$1,01 \pm 0,28$	0,51	0,881
50°C	$0,36 \pm 0,12$	$4,47 \pm 0,53$	0,965	$0,99 \pm 0,23$	0,51	0,923
65°C	$0,34 \pm 0,08$	$4,41 \pm 0,38$	0,986	$0,96 \pm 0,19$	0,51	0,950

Fonte: PAZ *et. al*, 2015

Para o modelo de Isoterma de Freundlich, o mesmo não apresentou um ajuste adequado, pois segundo SAMIEY, 2010, o modelo de Freundlich apresenta adsorção favorável quando valores de $1/n$ (mencionada na Equação 3, deste artigo) apresenta valores entre 0,1 e 0,5, e todos os ajustes de todas as temperaturas apresentaram valores de 0,51, fora da faixa estipulada por Freundlich.

Já para o modelo de Isoterma de Langmuir, percebe-se que quando comparado os valores de R^2 de ambos os modelos, sob as mesmas condições, os valores referentes ao modelo de Langmuir descreveram melhor os dados (mais próximos de 1) para esses testes.

PAZ *et. al* (2015) a partir de cálculos relacionados aos parâmetros termodinâmicos, utilizando o isoterma de Langmuir, definiram que o processo realizado seria uma fisissorção com liberação de calor (processo exotérmico).

FERREIRA & FINZER (2017) apresentaram a concentração de Pb contido no restante de cada amostra após a realização da adsorção utilizando o carvão produzido a partir do do bagaço da cana-de-açúcar (Tabela 5) e o carvão comercial (Tabela 6).

Tabela 5: Concentração de chumbo após a adsorção com carvão produzido

Amostras	Concentração após a adsorção (mg/L)
1	29,850
2	7,088
3	1,475
4	0,841

Fonte: FERREIRA & FINZER, 2017

Tabela 6: Concentração de chumbo após a adsorção com carvão comercial

Amostras	Concentração após a adsorção (mg/L)
1	11,355
2	2,8342
3	2,890
4	2,878

Fonte: FERREIRA & FINZER, 2017

A partir da análise dos dados obtidos, observa-se que houve uma adsorção superior na utilização do carvão produzido a partir do bagaço de cana-de-açúcar em comparação ao carvão comercial. A medida que se aumentava-se a massa de carvão ativado contido na amostra, maior era a adsorção.

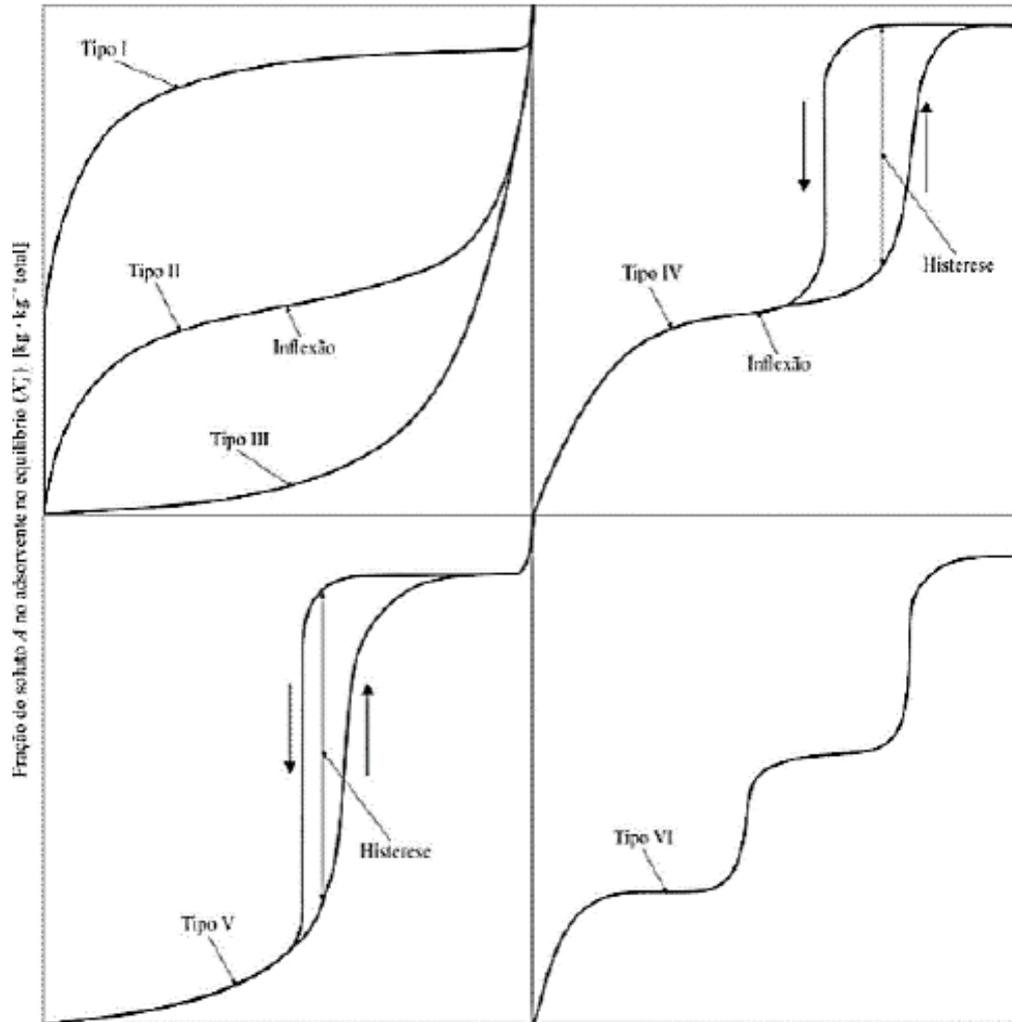
Utilizando os dados obtidos com o carvão produzido a partir do bagaço de cana-de-açúcar, traçou-se uma isoterma de adsorção empregando-se o modelo de Freundlich, para que assim os dados experimentais de equilíbrio fossem representados. Os parâmetros obtidos foram: $K_F = 544,17$ e $n = 0,386$.

Nas isotermas de adsorção FERREIRA & FINZER (2017) conseguiram demonstrar que a quantidade máxima adsorvida de Pb por grama de material adsorvente, no caso do estudo desenvolvido é proporcional, em praticamente todos os ensaios realizados. Já nos ensaios realizados com o carvão comercial notou-se que a partir de certa concentração de carvão, o aumento da mesma não gera um aumento do processo adsorptivo, conseqüentemente, impossibilitando a aplicação do modelo de Freundlich.

Por fim, TOLEDO *et. al* (2020) construíram isotermas para os dois tipos de granulometria (48 e 100 mesh), no intuito de analisar a influência do tamanho de cada uma delas. Após a análise gráfica das curvas obtidas, observou-se que o gráfico possuía comportamento desfavorável para ambos os tamanhos. Na comparação realizada a partir das curvas de isotermas relatadas pela IUPAC (International Union of Pure and Applied

Chemistry International Union of Pure and Applied Chemistry) as isotermas que foram obtidas assemelham-se ao tipo III, como mostra na Figura 8. O resultado descrito pelos autores mostra que o tipo de isoterma construído evidencia que o Pb apresentou uma baixa afinidade com o adsorvente, mostrando assim a ocorrência de uma fisissorção.

Figura 8: Tipos de Isotermas IUPAC (Fonte: TOLEDO *et. al*, 2020)



TOLEDO *et. al* (2020) linearizaram os resultados de acordo com os modelos de Langmuir e Freundlich através das análises dos dois tamanhos utilizados. Embora os autores tenham realizado a ativação química utilizando tanto o H_2SO_4 quanto o HCl , confeccionou-se as isotermas somente com o material ativado com HCl , visto que esse tipo de ativação aumentou a eficiência de adsorção e manteve íntegro a fibra da cana-de-açúcar. Sendo assim, a partir de uma observação gráfica tornou-se possível determinar os valores referentes a cada constante dos modelos citados, verificando assim a capacidade adsortiva do bagaço de cana-de-açúcar. Abaixo encontra-se a Tabela 7, contendo os valores referentes a cada constante.

Tabela 7: Constantes dos modelos de Langmuir e Freundlich

Mesh	Modelo de Langmuir			Modelo de Freundlich		
	NM (mol/g)	K (L/mol)	R ²	n	K (L/mol)	R ²
48	-0,0082	-0,0393	0,9215	-0,3310	2,32E+12	0,8770
100	-0,445	-0,0270	0,9427	-0,6337	2,29E+07	0,9498

Fonte: TOLEDO *et. al*, 2020

TOLEDO *et. al* (2020) analisaram os resultados, obtidos na tabela acima, de acordo com afirmações feitas por Almeida (2016) e Nascimento *et al.* (2014).

Segundo Almeida (2016) para o modelo de Langmuir a constante Nm representa a saturação da monocamada de adsorção, portanto quanto maior o valor de Nm, melhor será a adsorção. A partir dos resultados que constam na Tabela 7, foi possível verificar que este valor foi negativo para ambos os tamanhos, mostrando assim que a capacidade adsortiva de ambos apresentou-se baixa.

De acordo com Almeida (2016) para o modelo de Freundlich, para uma adsorção ser considerada favorável os valores de n devem estar na faixa de $1 < n < 10$. Na Tabela 7 foi possível observar que os valores de n são inferiores a 1, o que torna desfavorável ao modelo.

TOLEDO *et. al* (2020) utilizaram também o Solver (complemento do excel), o qual utiliza o método de erro mínimo, no intuito de obterem um resultado ainda mais preciso. Abaixo encontra-se a Tabela 8 contendo os resultados das constantes de cada modelo analisado.

Tabela 8: Constantes dos modelos de Langmuir e Freundlich, obtidos através do Solver

Mesh	Modelo de Langmuir		Modelo de Freundlich	
	NM (mol/g)	K (L/mol)	n	K (L/mol)
48	30,1997	7,826E-05	0,2586	9,665E-08
100	0,3	0,011	0,205	9,665E-08

Fonte: TOLEDO *et. al*, 2020

A partir da análise dos gráficos TOLEDO *et. al* (2020) observaram que em ambos os tamanhos das partículas a isoterma de Langmuir apresentou um comportamento linear, diferentemente das isotermas obtidas no estudo. Já o modelo de Freundlich assemelhou-se mais aos resultados obtidos, confirmando ser um isoterma do tipo III, sendo a baixa

intensidade de adsorção confirmada através da constante n apresentada na Tabela 8, onde apresentou valores abaixo da faixa esperada $1 < n < 10$.

Abaixo encontra-se a Tabela 9, na qual consta uma síntese do modelo de isoterma ideal de acordo com as análises realizadas e resultados propostos pelos autores.

Tabela 9: Síntese dos Modelos de Isotermas

Autores	Modelo de Isoterma
PAZ <i>et. al</i> , 2015	Isoterma de Langmuir
FERREIRA & FINZER, 2017	Isoterma de Freundlich
TOLEDO <i>et. al</i> , 2020	Isoterma de Freundlich

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

5 CONCLUSÃO

A partir da comparação e análise dos processos estudados, tornou-se possível concluir que a adsorção caracteriza-se como um processo dinâmico, não sendo possível definir uma única trajetória ideal para um processo com a melhor eficiência, visto que há inúmeros fatores que podem ser alterados e a eficiência ser mantida.

Acerca dos modelos de isotermas, a vantagem do modelo da isoterma de Freundlich sobre o de Langmuir é a não limitação de monocamadas, tornando possíveis várias camadas e assim uma maior quantidade de material absorvido.

REFERÊNCIAS

ABREU, Marcela Breves de. Preparação de Carvão Ativado de Bagaço de Cana-de-Açúcar e sua Aplicação na Adsorção de Cd (II) e Cu (II). **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, Apucarana - Pr, p. 1-52, 2013.

AGUIAR, Mônica Regina Marques Palermo de; NOVAES, Amanda Cardoso; GUARINO, Alcides Wagner Serpa. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Quim. Nova**, Vol. 25, No. 6B, Rio de Janeiro - Rj, p. 1145-1154, 15 maio 2002.

ALMEIDA, Aline Rafaela de; ALMEIDA, Aline Rafaela de; PAGIORO, Thomaz Aurélio; NASCIMENTO, Priscila Tiemi Higuti do; CARVALHO, Karina Querne de. Remoção de Microcistina-LR da *Microcystis Aeruginosa* Utilizando Bagaço de Cana-de-Açúcar In Natura e Carvão Ativado. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, Taubaté - Sp, v. 11, n. 1, p. 188-197, 2016.

ALMEIDA, Juliano da Silva M. de; FRANCO JUNIOR, Moilton R.; ROCHA, Nattácia R. A. F.; ROSSI, Arley S.. Redução do Teor de Prata e Chumbo de Águas Contaminadas Através do Uso de Material Adsorvente. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, Uberlândia - Mg, p. 1-6, 2012.

ALVES, Allani Christine Monteiro. Avaliação do Tratamento de Efluentes Líquidos Contendo Cobre e Chumbo por Adsorção em Carvão Ativado. **Universidade Federal de Alagoas**, Maceió - Al, p. 1-55, jun. 2007.

ASSIS, Patrícia Aparecida de. Adsorção de Metais Pesados em Solução Aquosa e em Drenagem Ácida de Mina Utilizando Bagaço de Cana-De-Açúcar Modificado Quimicamente. **Universidade Federal de Ouro Preto**, Ouro Preto - Mg, p. 1-71, 2012.
Atkins, P.; Jones, L. (2006), *Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente*. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman.

BATISTA, Thianne Silva; LIRA, Thacyanne Kataryne Barbosa; SOUZA, Josy Suyane de Brito; BARROS, Thiago Rodrigo Barbosa; LIMA, Verônica Evangelista de. Remoção de Chumbo(II) em Efluentes Utilizando Diferentes Biomassas Adsorventes. **Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia - Uepb**, Campina Grande - Pb, p. 1-10, 2012.

BELISÁRIO, M.; GALAZZI, R. M.; BALTHAZAR, D. C.; PEREIRA, M. G.; RIBEIRO, A. V. F. N.; RIBEIRO, J. N. Emprego de resíduo de bagaço de cana de açúcar descartado por usinas de álcool como agente removedor de paracetamol em meio aquoso sob agitação. **Revista Analytica**, n. 50, p. 54- 62, 2011.

BRANDÃO, Poliana Cardoso. Avaliação do Uso do Bagaço de Cana como Adsorvente para a Remoção DE Contaminantes, Derivados do Petróleo, de Efluentes. **Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia - Mg, p. 1-147, 2006.

CECHINEL, Maria Alice Prado. Aplicação de Processo Adsorptivo na Remoção de Chumbo de Efluentes Petroquímicos Sintéticos. **Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis - Sc, p. 1-93, 2013.

CEVS (org.). **Chumbo**. [2019]. Centro Estadual de Vigilância em Saúde. Disponível em: <https://cevs.rs.gov.br/chumbo>. Acesso em: 26 set. 2020.

COELHO, Gustavo Ferreira; GONÇALVES JUNIOR, Affonso Celso; SOUSA, Ricardo Felipe Braga de; SCHWANTES, Daniel; MIOLA, Alisson Junior; DOMINGUES, Caio Vinicius Ramires. Uso de Técnicas de Adsorção Utilizando Resíduos Agroindustriais na Remoção de Contaminantes em Águas. **Journal Of Agronomic Sciences**, Umuarama - Pr, v. 3, p. 291-317, 2014.

Congresso de Meio Ambiente da Augm – Associação de Universidades Grupo Montevideu (Augm Ambiente 2009): Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, São Paulo – Sp, p. 1-15, 09 out. 2009.

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. (13 de Maio de 2011). **Resolução CONAMA nº 430**. Brasil.

CLAUDINO, Andréia. Preparação de Carvão Ativado de Turfa e sua Utilização na Remoção de Poluentes. **Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis - Sc, p. 1-90, 2003.

DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmem Isse; MACHADO, Giovanna. Microscopia Eletrônica de Varredura: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. **Centro de Microscopia Eletrônica e Microanálise (Cemm) do Ideia - Pucrs**, Porto Alegre - Rs, p. 1-60, 2007.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. S. Seleção de tecnologias de tratamento de água. **São Carlos: LDIBE**, 2008. 878 p.

ENEM, Percurso Pré-Vestibular e. **O Risco de Contaminação dos Rios e Nascentes com Metais Pesados**. 2016. Estado de Minas. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/especiais/educacao/enem/2016/03/16/noticia-especial-enem,744010/o-risco-de-contaminacao-dos-rios-e-nascentes-com-metais-pesados.shtml>. Acesso em: 12 set. 2020.

FERREIRA, J.C.; FINZER, J.R.D. Carvão Ativado de Bagaço da Cana-de-Açúcar: Adsorção de Íons de Chumbo. **XXVIII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados**, Maringá - Pr, p. 1-11, out. 2017.

FERREIRA, P. P. L.; BRAGA, R. M.; TEODORO, N. M. A.; MELO, V. R. M.; MELO, D. M. A.; MELO, M. A. F.. Adsorção de Cu²⁺ e Cr³⁺ em Efluentes Líquidos Utilizando a Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar. **Cerâmica**, [S. L.], v. 61, p. 435-441, 2015.

FRANÇA, Maria Fernanda de Campos; GEUS, Regis Ari de. Aplicação do Processo de Adsorção para Remoção de Chumbo. **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, Ponta Grossa - Pr, p. 1-49, 2017.

GONÇALVES, G. C.; MENDES, E. S.; PEREIRA, N. C.; SOUSA, J. C. Produção de carvão ativado a partir de bagaço e melaço de cana-de-açúcar. **Acta Scientiarum Technology**, v. 28, n. 1, p. 21-27, 2006. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v28i1.1203>

GROSSI, Caroline Dias. Contribuição ao Estudo Comparativo da Biossorção de Níquel e Cobalto Utilizando a Bactéria R-Erythropolis e Casca de Banana como Diferentes Tipos de Ativado. **Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro - RJ, p. 1-17, 2017.

GUSMÃO, K. A. G. Estudo de adsorção em solução aquosa de dois corantes catiônicos e uma eteramina usando bagaço de cana modificado quimicamente. (Mestrado) - **Mestrado em Engenharia Ambiental - PROAMB, UFOP, Ouro Preto - MG**, 2011.

ICZ. **Características Técnicas: Chumbo**. [2020]. Disponível em: ICZ. Características Técnicas: chumbo. Chumbo. [2020]. Disponível em: <http://www.icz.org.br/chumbo-caracteristicas-tecnicas.php>. Acesso em: 24 out. 2020.. Acesso em: 24 out. 2020.

INOVATIVA (org.). Carvão Ativado: int desenvolve alternativas para obtenção e uso. **Revista do Instituto Nacional de Tecnologia**, [S. L.], p. 1-12, 2017.

KARNITZ, O. Modificação química do bagaço de cana de açúcar e celulose usando anidrido do EDTA. Uso destes materiais na adsorção de metais pesados em solução aquosa. (Mestrado) - **Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos - PROAGUA, UFOP, Ouro Preto - MG**, 2007.

KHATTRI, S. D.; SINGH, M. K. Colour removal from dye wastewater using sugar cane dust as an adsorbent. **Adsorption Science & Technology, Brentwood**, v. 17, n. 4, p. 269-282, 2009.

KURNIAWAN, T. A.; CHAN, G. Y. S.; LO, W.; BABEL, S. Review: Comparisons of low-cost adsorbents for treating wastewaters laden with heavy metals. **Science of the Total Environment** v. 366, n. 2-3, p. 409– 426, 2006.

LIMA, Verônica Ferreira; MERÇON, Fábio. Metais Pesados no Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, [S. L.], v. 33, n. 4, p. 199-205, nov. 2011.

MENDES, Sandra Rafaela Machado. Estudo da Eficiência de Adsorção de Chumbo Presente em Meio Líquido Através da Utilização de Carvões Obtidos na Co-Pirólise de Diferentes Resíduos. **Faculdade de Ciências e Tecnologia**, [S. L.], p. 1-85, mar. 2013.

MEZA, J. C.; SIGOLLOT, J. C.; LOMASCOLO, A.; NAVARRO, D.; AURIA, R. New Process for Fungal Delignification of Sugar-Cane Bagasse and Simultaneous Production of Laccase in a Vapor Phase Bioreactor. **Journal of Agricultural. Food Chemistry**, v. 54, p. 3852-3858, 2006. <http://dx.doi.org/10.1021/jf053057j>

MONTEIRO, Raquel Almeida; BONIOLO, Milena Rodrigues; YAMAURA, Mitiko. Uso das fibras de coco na biossorção de chumbo em águas residuárias industriais. **VI Congresso de Meio Ambiente da Augm – Associação de Universidades Grupo**

Montevidéu (Augm Ambiente 2009): Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, São Paulo – Sp, p. 1-15, 09 out. 2009.

NAGATANI, T.; SAITO S.; SATO, M.; YAMADA, M. Development of an ultra high resolution scanning electron microscope by means of a field emission source and in-lens system. **Scanning Microscopy**. v. 11, 901-909, 1987

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do; LIMA, Ari Clecius Alves de; VIDAL, Carla Bastos; MELO, Diego de Quadros; RAULINO, Giselle Santiago Cabral. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. **Universidade Federal do Ceará**, Fortaleza - Ce, p. 1-255, 2014.

NASCIMENTO, Silvia Cremonez; HYPOLITO, Raphael; HYPOLITO, Raphael. Disponibilidade de Metais Pesados em Aterro de Indústria Siderúrgica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro - Rj, v. 11, n. 3, p. 196-202, 20 jul. 2006.

OPERSAN, Grupo. **Indústrias Descartam seus Efluentes de Forma Incorreta na Natureza**. 2014. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/industrias-descartam-seus-efluentes-de-forma-incorreta-na-natureza/>. Acesso em: 13 set. 2020.

PAZ, J. E. M.; SANTOS, A. C. S.; ESPÍNOLA, L. M. L. B.; CURBELO, F. D. S.; GARNICA, A. I. C.. Estudo da Adsorção de Chumbo Utilizando como Adsorvente Bagaço de Cana-de-Açúcar Ativado. **Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica: XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, Campinas - Sp, p. 1-6, jul. 2015.

PEREIRA, Flaviane Vilela. Remoção de Íons Zinco (II) de Efluentes Derivados de Processos de Galvanoplastia Utilizando Rejeitos de Fibras Vegetais Modificadas Quimicamente. **Programa de Pós-Graduação Engenharia Ambiental: Mestrado em Engenharia Ambiental**, Ouro Preto - Mg, p. 1-131, 2008.

PESQUISA, Revista. **Propriedades do Bagaço da Cana-de-Açúcar**. 1998. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/propriedades-do-bagaco-da-cana-de-acucar/#:~:text=O%20baga%C3%A7o%20da%20cana%2Dde,aproximadamente%2030%25%20da%20cana%20mo%C3%ADda..> Acesso em: 12 set. 2020.

PINTO, A. L.; Lopes, A. M, In **Textura e relações de orientação: deformação plástica, recristalização e crescimento de grão**. São Paulo: André P. Tschiptschin Ed., IPEN, 2a ed., pp, 441-459, 2003

QUIMLAB (org.). **Chumbo - Pb: soluções em química**. Soluções em Química. [2020]. Disponível em: <http://www.quimlab.com.br/guiadoselementos/chumbo.htm>. Acesso em: 29 set. 2020.

SAMIEY, B., DARGAHI, M., Kinetics and thermodynamics of adsorption of Congored on cellulose, **Central Eur. J. Chem.** 8 (2010) 906-912

SILVA, Nayara Cristina Romano. Utilização da casca de banana como biossorvente para a adsorção de Chumbo (II) em solução aquosa: trabalho de conclusão de curso. **Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento de Engenharia**

Ambiental Curso de Engenharia Ambiental, Campo Mourão - Pr, p. 1-49, 07 ago. 2014.

SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W. C.; ALSINA, O. L. S.. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande - Pb, p. 27-32, 23 abr. 2007.

TOLEDO, Jennifer Allana Guimarães; ALMEIDA, Andressa Silva Campos; D'AMELIO, Monica Tais Siqueira. Estudo da Adsorção de Chumbo Utilizando Bagaço de Cana-de-Açúcar Ativado. **Ensaio Usf**, [S. L.], p. 43-62, 29 out. 2020.

WERLANG, Eliana Betina; SCHNEIDER, Rosana de Cassia de Souza; RODRIGUEZ, Adriane Lawisch; NIEDERSBERG, Carolina. Produção de Carvão Ativado a Partir de Resíduos Vegetais. **Revista Jovens Pesquisadores**, Santa Cruz do Sul - Rs, v. 3, n. 1, p. 156-167, 2013.

YAMAURA, Mitiko; MONTEIRO, Raquel Almeida; COTRIM, Marycel Elena Barboza; COSTA, Caroline Hastenreiter; PIRES, Maria Aparecida Faustino. Caracterização do Bagaço de Cana-de-Açúcar e Fibras de Coco e Avaliação como Biossorventes de Pb. **24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo – Sp, p. 1-10, 2007.