

**CARVÃO ATIVADO DE BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR: ADSORÇÃO DE ÍONS DE CHUMBO**J.C. FERREIRA^{1*}, J.R.D. FINZER²¹Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química²Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

*e-mail: Jade_ferreira@hotmail.com

RESUMO - O presente trabalho teve por objetivo produzir o carvão ativado a partir do bagaço da cana-de-açúcar, analisando o desempenho do mesmo na adsorção de íons de chumbo em solução aquosa. Na produção do carvão ativado, o bagaço de cana-de-açúcar foi separado em duas amostras, uma foi direcionada aos testes para caracterização da amostra. A segunda amostra foi direcionada para produção de carvão ativado, onde se selecionou a fração granulométrica de interesse, o material obtido foi submetido a etapa de produção do carvão ativado, apresentando um rendimento total de 1,17%. O carvão ativado produzido foi caracterizado através das análises de microscopia eletrônica de varredura, pH, e granulometria. Apresentando um pH de 5,81 e uma morfologia final apresentando poros na estrutura fibrosa. O carvão foi submetido a análise de adsorção de íons de chumbo em solução aquosa, e avaliado com o auxílio da isoterma de Freundlich. Os resultados de adsorção utilizando o carvão ativado produzido a partir do bagaço de cana-de-açúcar foram superiores aos obtidos com carvão ativado comercial, demonstrando ser uma possível alternativa vantajosa para produzir carvão ativado com aplicabilidade na adsorção de íons de chumbo.

INTRODUÇÃO

Com o grande crescimento industrial vivenciado nos últimos anos, houve um aumento na geração de efluentes, que comumente apresentam-se contaminados por metais tóxicos. Esses muitas vezes são lançados sem nenhum tipo de tratamento nos recursos hídricos, causando sérios danos ao meio ambiente, pois a água além de ser essencial para vida é um recurso não renovável.

Os metais pesados são contaminantes que mesmo em baixas concentrações podem comprometer a potabilidade da água para consumo humano. Além de causar diversas alterações físico-químicas na qualidade da água eles acarretam um desequilíbrio nos

ecossistemas aquáticos, prejudicando também a saúde humana. Os metais pesados quando ingeridos se acumulam nos tecidos e órgãos podendo causar doenças como câncer, depressão, letargia, perturbação neurológica, doença de Wilson, danos ao fígado e aos rins (PINO, 2002).

Segundo Aguiar e Novaes (2002), os metais pesados são substâncias altamente tóxicas e não são eliminados nos tratamentos biológicos de efluentes existentes. Dessa maneira efluentes contendo esses metais não devem ser dispostos na rede pública, para tratamento conjunto com o esgoto doméstico. Surge então a necessidade de implantar um tratamento desses efluentes para que possam ser dispostos na natureza,

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 os efluentes devem ser

adequadamente tratados, de modo que a concentração dos metais dissolvidos não ultrapasse os limites legais estabelecidos para o efluente, e o seu descarte não ultrapasse os padrões de água do corpo receptor. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos na resolução.

Diversos processos podem ser utilizados para o tratamento dos efluentes contaminados por metais, dentre eles pode citar-se a precipitação de compostos insolúveis, flotação iônica, a absorção, e osmose reversa. Dentre tais processos a adsorção se destaca apresentando resultados satisfatórios, sendo um método que pode ser empregado independente da concentração, e possui um baixo custo, pois adsorventes como o carvão ativado podem ser produzidos à partir de resíduos, como por exemplo o bagaço da cana-de-açúcar, enquanto que os muitos métodos apresentam uma baixa viabilidade econômica e uma ineficiente remoção (ABREU, 2013).

O chumbo é um dos principais contaminantes dos mananciais, sendo antiga a história de utilização do chumbo pelo homem. Desde o antigo Egito existem relatos do uso de chumbo em produtos de maquiagem e cosméticos, estando presentes também na Grécia e na China. Os compostos inorgânicos de chumbo foram utilizados como pigmentos de tintas durante diversos séculos, onde se suspeita que a morte de pintores famosos como, por exemplo, o brasileiro Cândido Portinari pode estar relacionada com o envenenamento por chumbo. O uso desse metal se prolonga até os tempos modernos onde em todo o mundo foi documentada a presença de encanamentos de chumbo ou mesmo o uso de soldas e peças a base desse metal nas redes de abastecimento público e em residências, especialmente as construídas até a década de 70 (WHO, 2008).

Com o advento da industrialização, o aumento da contaminação por chumbo fica evidenciado nas grandes metrópoles. As concentrações de chumbo atmosférico aumentaram exponencialmente a partir de 1923, ano em que se passou a usar o chumbo tetraetila como agente antidetonante na

gasolina, para melhora de desempenho do motor. Em 1975 com a criação do programa Pró-Álcool houve uma gradativa substituição do chumbo tetraetila por etanol anidro, minimizando a emissão de chumbo. (EVANGELISTA; SILVA, 2015)

Atualmente o chumbo ainda possui um grande uso industrial, como por exemplo, em baterias, munições, tintas, equipamentos médicos, ligas metálicas e cerâmicas (NRIAGU 1983). Segundo Silva (2014), cerca de 300 milhões de toneladas de chumbo já foram expostas no meio ambiente durante os últimos cinco milênios, especialmente nos últimos 500 anos. O chumbo liberado na atmosfera armazena-se nos solos, rios oceanos, e como consequência é possível encontrar alimentos, que foram cultivados utilizando esses recursos, apresentando contaminação acima do permitido por chumbo, e que quando ingeridos acarretam diversos danos à saúde.

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CNMA) estabelece concentrações máximas de chumbo igual a 0,03 mg/L para águas classificadas doce e de 0,01 mg/L para salina e salobra. A utilização do carvão ativado para adsorção de metais tem sido alvo de diversos estudos, e recentemente surgiu a ideia de utilizar o bagaço da cana-de-açúcar para produção desse carvão. O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo. Segundo a Folha de São Paulo (2017) a safra brasileira de cana produzida no ano passado foi de 655 milhões de toneladas, onde um terço correspondente ao bagaço da cana gerados como resíduo do processo de produção de açúcar e álcool, que quando utilizado na produção de carvão torna-se um produto de grande valor agregado.

Para produzir carvão ativado a partir do bagaço de cana-de-açúcar primeiro o material passa pelo processo de combustão incompleta e depois por um tratamento químico. O material produzido apresenta uma porosidade alta que consiste em característica fundamental na adsorção. O presente trabalho teve por objetivo a produção de carvão ativado e o estudo da absorção de chumbo pelo mesmo.

MATERIAL E MÉTODOS

Para desenvolvimento do trabalho foi utilizado amostras de bagaço de cana-de-açúcar precedentes da usina Delta Sucroenergia (Figura 1). A coleta do material foi realizada logo após a etapa de moagem, evitando que ocorra a degradação microbiológica do bagaço da cana-de-açúcar. Após a coleta do material, foi retirada uma amostra que foi submetida à caracterização, utilizando as análises de cinzas insolúveis em ácido clorídrico e umidade de acordo com a metodologia descrita no Adolfo Lutz (1985). O restante do material foi destinado ao preparo do carvão ativado.

Figura 1: Bagaço da cana-de-açúcar



Caracterização da amostra

Pesou-se uma amostra de 5 g de bagaço de cana, em um cadinho de porcelana que foi submetida a aquecimento em estufa por 3 h a temperatura de 105°C (até massa constante). A amostra foi resfriada e a massa quantificada a temperatura ambiente. Para determinar a umidade (U), em porcentagem, incluindo substâncias voláteis utilizou-se a Equação (1).

$$U = \frac{100 \cdot N}{P} \quad (1)$$

N= Perda de massa (g);

P= Massa da amostra (g)

Para determinar o teor de cinzas pesou-se uma amostra de 5 g de bagaço de cana após esta passar pelo procedimento de retirada de umidade descrito anteriormente. A amostra disposta em um cadinho então foi levada a

mufla (marca Quimis 220V - K48E), previamente aquecida, a 900°C e mantido por 5 horas, obtendo-se a cinza. Após resfriamento em dessecador a amostra foi pesada e o valor obtido foi utilizado para calcular o teor de cinzas (tc) através da Equação 2.

$$TC = \frac{MF}{MI} \cdot 100 \quad (2)$$

MF= Massa após a calcinação

MI= Massa inicial

Posteriormente a amostra de cinza obtida na calcinação citada anteriormente foi submetida à análise de cinza insolúvel em ácido clorídrico, onde inicialmente foi diluída em 20 mL de ácido clorídrico a 10% v/v e agitada com bastão de vidro durante alguns segundos. Em seguida a mistura foi filtrada utilizando o papel de filtro. A capsula e o filtro foram lavados com água quente. Transferiu-se o papel de filtro contendo o resíduo para um cadinho e levado a estufa (marca Nova Ética) a 105°C por uma hora. Carbonizou-se o papel cuidadosamente, incinerou-se em mufla a 550°C. Após Resfriar em dessecador até a temperatura ambiente pesou-se. Para cálculo utilizou-se a Equação (3), para o cálculo percentual de cinzas insolúveis em ácido clorídrico (C).

$$C = \frac{100 \cdot N}{P} \quad (3)$$

N = massa de cinza insolúvel em ácido clorídrico a 10 %.

P = Massa da amostra.

Para determinar o teor de sílica na amostra utilizou-se o resultado obtido na análise de Teor de cinzas (TC), e o resultado da análise de cinzas insolúveis (C), calculando através da Equação 4.

$$\text{Teor de sílica: } \frac{C}{TC} \cdot 100 \quad (4)$$

TC= Teor de cinzas

C= Cinzas insolúveis em ácido clorídrico

Produção do carvão ativado

O bagaço de cana-de-açúcar coletado passou por um pré-tratamento, onde recebeu lavagem com água destilada, sendo mantido em agitação por 1 h, objetivando a retirada de possíveis impurezas e resíduos de caldo. Posteriormente o material foi levado à estufa com aquecimento e circulação de ar, onde foi mantida a 110°C por 24 h, para evaporação da umidade.

Após a desidratação o material foi peneirado, utilizando-se para o trabalho a fração retida entre as peneiras de 8 e 16 mesh (Tyler). Posteriormente preparou-se uma amostra de 40 g utilizando o bagaço limpo e seco após esse ser peneirado (ABREU, 2013). A amostra do bagaço limpo e seco foi submetido à etapa de carbonização utilizando a mufla, sendo mantida por 2 horas na temperatura de 500°C, visando remoção de materiais voláteis e aumento no teor de carbono (Figura 2).

Após retirar a amostra da mufla quantificou-se a massa utilizando uma balança analítica de marca BEL Engineering com resolução de 0,0001 g. O rendimento da carbonização (R) foi calculado com a Equação (5).

$$R = \left(\frac{m_{\text{carbonizada}}}{m_{\text{bagaço}}} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

Figura 2: Bagaço de cana-de-açúcar após a calcinação



Na etapa de ativação química foi utilizado Cloreto de zinco (18,4 mol/L). A reação de ativação foi realizada conforme a metodologia descrita por Schettino Jr. (2004) utilizando a proporção: carvão para massa da solução: de 1:3 (m/m). A solução foi aspergida sobre o bagaço calcinado. Posteriormente a mistura foi mantida em repouso durante 1 h.

Após o período de repouso o material foi submetido ao tratamento térmico de ativação, com o objetivo de desidratação da mistura. Na primeira fase dessa etapa o material foi seco utilizando-se estufa com aquecimento e escoamento de ar, durante 12 h a 110°C. Já na segunda fase dessa etapa o material e levado a um reator de inox de marca Quimis (K48E), onde foi mantido na temperatura de 500°C por 1 h.

Após a retirada do material do reator este foi submetido à lavagem. O procedimento consistiu em imergir o material em água destilada e agitar durante 20 min. Posteriormente o material foi filtrado utilizando papel qualitativo de marca whatman. Realiza-se a lavagem para que os subprodutos da ativação (carbonatos, silicatos, e outros), que são solúveis em água, sejam retirados da matriz carbonácea, deixando os poros livres e mais expostos. O material retido no papel foi levado à estufa a 105 °C e mantido por 12 h, obtendo assim o carvão ativo. Ver figura 3.

Figura 3: Amostra 1 de carvão ativado



O material resultante de todo processo foi quantificado usando uma balança analítica de marca BEL Engineering (resolução 0,001). Com a massa inicial que foi submetida à ativação e a massa ativada obtida, calculou-se o percentual de redução da ativação (PR), utilizando a Equação (6).

$$PR = \left(\frac{m_{inicial} - m_{ativada}}{m_{inicial}} \right) \cdot 100 \quad (6)$$

Com o valor de massa de bagaço de cana-de-açúcar inicial, somado ao valor de solução de cloreto de zinco adicionada calculou-se o valor de massa total inicial. E utilizando esse valor de massa total inicial, e o valor de carvão produzido ao final do processo determinou-se o rendimento total (R_t) da preparação do carvão ativado usando a Equação (7).

Rendimento total =

$$R_t = \frac{M_{Carvão}}{M_{inicial}} \cdot 100 \quad (7)$$

Caracterização do carvão ativado

A análise de pH foi realizada conforme a metodologia descrita por Pendyal et al. (1999), onde inicialmente colocou-se 0,5 g de carvão em um erlenmeyer com 20 mL de água destilada. A solução foi mantida em agitação, em um banho termostático de marca Tecnal (TE 057) a 90°C, por 20 min.

Após o esfriamento, a solução foi filtrada utilizando o papel filtro qualitativo de marca Whatman, visando remover o carvão ativo. Com o filtrado obtido realizou-se a leitura do pH da solução utilizando o pHmetro digital PG2000 de marca Gehaka, calibrado previamente com solução tampão.

O carvão ativado também foi submetido a análise de granulometria, utilizando a peneira da serie Tyler de 100 Mesh (0,149 mm), pois é recomendado que o carvão ativado fosse pulverizado. Mesmo que pulverização não aumente a área superficial de modo significativo, pois a maior parte da área superficial é favorecida pelas paredes dos

poros mais do que pela superfície externa das partículas do carbono, tal procedimento é recomendado.

A morfologia do carvão ativado foi avaliada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), utilizando o microscópio de marca ZEISS. As amostras foram metalizadas utilizando ouro para assegurar a condutividade elétrica da superfície de observação.

Análise da adsorção do metal de chumbo

Para o teste de adsorção de chumbo pelo carvão ativado, preparou-se 4 amostras de 20 ml, todas apresentando uma concentração de 150 ppm de chumbo. No experimento foi utilizado nitrato de chumbo II para preparo das amostras.

Posteriormente na Amostra 1 foi adicionado 0,05 g de carvão ativado, na Amostra 2 adicionou-se 0,10 g de carvão ativado e nas amostras 3 e 4 adicionou-se 0,20 g e 0,30 g de carvão ativado respectivamente. Aferiu-se o pH das amostras ajustando-os para 4, utilizando soluções de hidróxido de sódio (NaOH) e ácido clorídrico (HCl). As amostras foram mantidas em banho termostático TE 057 de marca Tecnal 30 °C e agitação lenta visando atingir o equilíbrio na adsorção do chumbo pelo carvão ativado (ver Figura 4).

Figura 4: Amostras na etapa de adsorção do chumbo pelo carvão ativado



Após o tempo de 1 h as amostras foram filtradas por gravidade, usando papel de filtro

qualitativo de uso comum de marca Whatman (ver Figura 5).

Figura 5: Etapa de filtração após a adsorção com carvão ativado



As soluções obtidas foram analisadas para determinar a adsorção de chumbo pelo carvão ativado. Para análise da adsorção foi utilizado o equipamento adsorção atômica de marca Varian. A leitura foi realizada no comprimento de onda de 283,3 nm.

Isotermas de adsorção

Foram obtidas as concentrações finais após a adsorção, que foram plotadas em um gráfico relacionando massa de chumbo por massa de carvão ativado, em função das concentrações obtidas ao final da adsorção.

Em seguida foi feito um estudo a respeito das isotermas, ajustando-se os dados ao modelo matemáticos de Freundlich, utilizando a Equação 8.

$$q = k \cdot C^n \quad (8)$$

sendo n e k são constantes que devem ser determinadas experimentalmente, para linearizou-se a Equação (8), determinando-se n e K e posteriormente aplicou-se o ajuste da curva obtendo a isoterma .

$$\log q = n \log C + \log K \quad (9)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calculou-se a umidade, com os valores obtidos: $N = 0,42$ g e $P = 5,05$ g, na Equação (1).

$$U = \frac{100 \cdot N}{P} = \frac{100 \cdot 0,42}{5,05} = 8,32\%$$

Na análise de cinzas utilizou-se uma amostra de 5 g de bagaço a qual foi levada a mufla a 900 C por 5 h. Ao final da calcinação obteve-se uma massa de 0,12 g, que foi utilizada para calcular o teor de cinzas

$$\text{Teor de cinzas} = \frac{100 \cdot 0,12}{5} = 2,4\%$$

Para análise de cinzas insolúveis em ácido clorídrico utilizou-se as cinzas obtidas na calcinação. Ao final dos procedimentos encontrou-se a massa de cinza insolúveis final de 0,099 g, e utilizando esse valor e o valor inicial da amostra, calculou-se as cinzas insolúveis de acordo na Equação (3).

$$C = \frac{100 \cdot 0,099}{5} = 1,98\%$$

O valor encontrado de cinzas insolúveis em ácido clorídrico representa uma estimativa da quantidade de sílica presente no bagaço da cana-de-açúcar, sendo, portanto a quantidade de sílica nas cinzas determinada pela Equação 4.

$$\text{Teor de sílica: } \frac{1,98 \cdot 100}{2,4} = 82,5 \%$$

Na amostra de cinza analisada encontrou-se 82,5 % de sílica. Tal teor pode variar dependendo da safra, condição de cultivo, variedade da cana utilizada, até mesmo com a técnica utilizada para quantificação.

Produção do carvão ativado

A massa 40 g de bagaço, final da carbonização, obteve-se 0,305 g. Utilizando a Equação (5) calculou-se o rendimento da carbonização:

$$R = \left(\frac{m_{\text{carbonizada}}}{m_{\text{bagaço}}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{0,305}{40} \right) \cdot 100 = 0,77\%$$

Na etapa de ativação química, a amostra de 0,305 g foi inicialmente impregnada por 0,915 g solução de Cloreto de Zinco; após o processamento obteve-se 0,480 g de massa ativada, denominado de carvão ativado.

O percentual de redução (PR) da amostra na ativação química, na Equação (6).

$$PR = \left(\frac{1,22 - 0,915}{1,22} \right) \cdot 100 = 60,65\%$$

Com o valor de massa de bagaço de cana-de-açúcar inicial do processo somado ao valor de solução de cloreto de zinco adicionada calculou-se o valor de massa total inicial. E utilizando esse valor de massa total inicial, e o valor de carvão produzido ao final do processo determinou-se o rendimento total da preparação do carvão ativado na Equação (7).

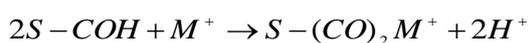
$$R_t = \frac{M_{\text{Carvão}}}{M_{\text{inicial}}} \cdot 100 = \frac{0,48}{40 + 0,915} \cdot 100 = 1,17\%$$

Caracterização do carvão ativado

O carvão ativado produzido foi submetido a análise de pH conforme descrito na metodologia, encontrando como resultado o valor de 5,81. O carvão ativado produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar apresentou uma característica ácida, quando comparado ao carvão ativado comercial que apresenta um pH de 7.

Segundo Suzuki (1990) os carvões ácidos apresentam substâncias complexas oxigenadas presentes em sua superfície. Esses óxidos provêm do material de origem ou da oxidação durante a ativação ou ainda durante a estocagem após ativação.

Segundo Namasivayam e Kadirvelu (1997) esses grupos oxigenados a influenciam na adsorção de íons metálicos. A reação abaixo ilustra o mecanismo



Na reação, há um complexo de carbono-oxigênio na superfície do carvão ativado (S) que se liga ao íon metálico deslocando prótons H^+ , permitindo assim a ocorrência da adsorção. O carvão produzido foi submetido a análise utilizando a peneira da serie Tyler de 100 Mesh (0,149 mm), quantificou-se que 70% da amostra foram passantes.

Através do microscópico de varredura eletrônica analisou-se a superfície do bagaço de cana-de-açúcar in natura, amostra após passar pela calcinação, e amostra após passar pela calcinação e ativação química com cloreto de zinco, as imagens obtidas foram organizadas nas Figuras 6, 7, e 8. Analisou-se também o carvão comercial a imagem foi organizada na Figura 9.

Uma análise das figuras permite observar que o bagaço de cana-de-açúcar in natura apresenta uma estrutura maciça e fibrosa, que após a calcinação começa a apresentar poros que são aumentados na etapa de ativação química.

Figura 6- MEV bagaço da cana in natura

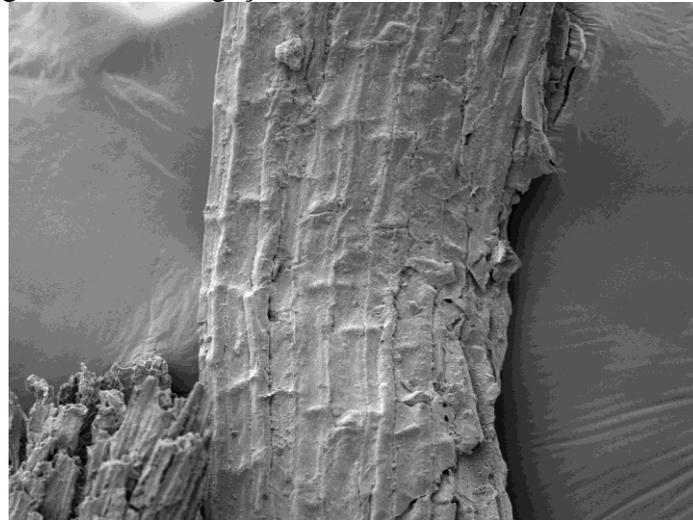


Figura 7 - MEV bagaço da cana calcinado a 500°C

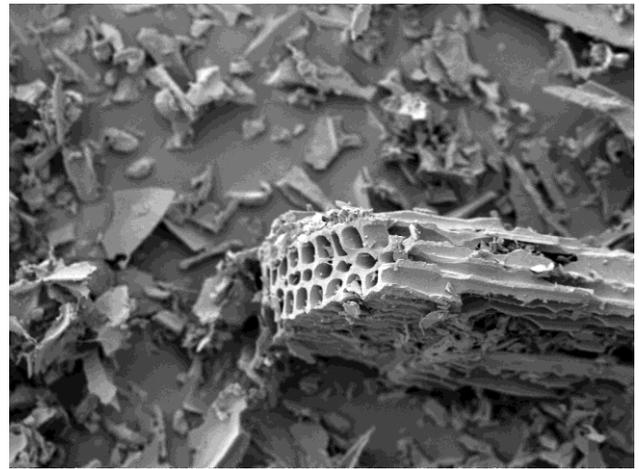
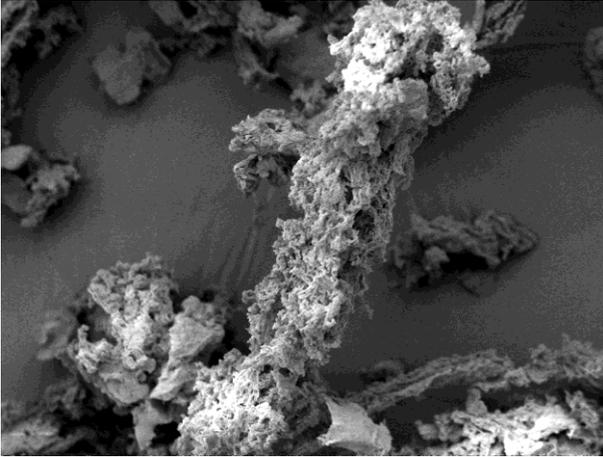
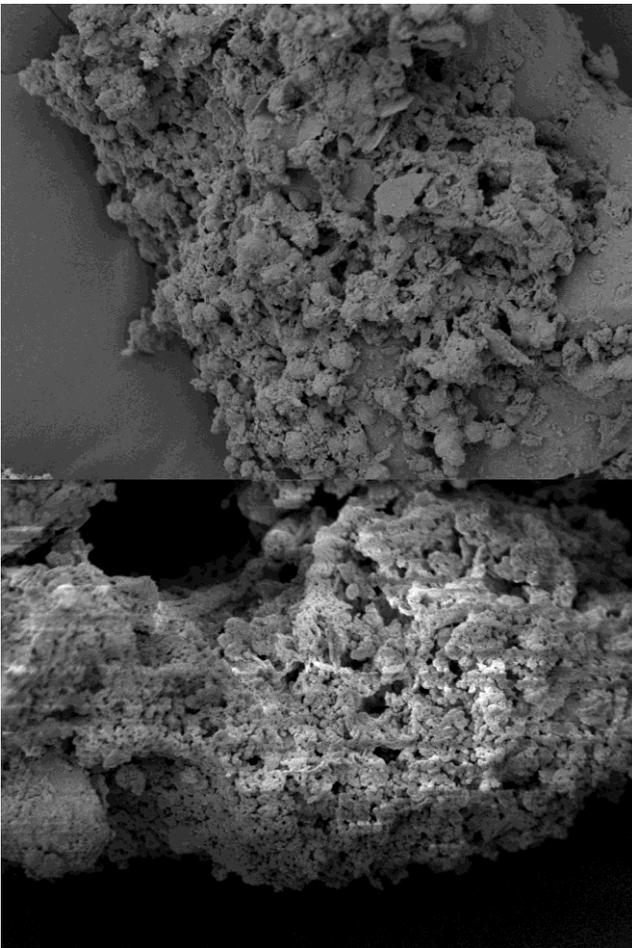


Figura 8- MEV bagaço da cana calcinado a 500°C e ativado com $ZnCl_2$ (carvão ativado).



Análise de adsorção de chumbo

O teor de chumbo restante após a adsorção, foi determinado por absorção atômica, utilizando o método SMWW 3120 B, com uma curva de calibração para Amostra 1 de 10, 20 e 30 mg/L. Já nas Amostras 2 e 3 foi utilizada uma curva de calibração de 1, 5 e 10 mg/L. Na Amostra 4 foi analisada a partir da curva de calibração de 0,1, 0,5 e 1,0 mg/L. A leitura foi realizada no comprimento de onda 283,3 nm. Os resultados de concentração de chumbo de cada amostra restante após a adsorção com o carvão produzido foram organizados na Tabela 1. O mesmo foi realizado com o carvão comercial e os dados organizados na Tabela 2.

Tabela 1- 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

Figura 9- Carvão ativado comercial

Tabela 2- 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

Com os dados obtidos, na análise observa-se que houve uma adsorção superior quando utilizado o carvão ativado produzido, em comparação com carvão comercial. A medida que se aumentava-se a massa de carvão ativado disponível na amostra, adsorviam-se mais íons de chumbo, sendo que na Amostra 4, a quantidade de carvão ativo utilizado adsorveu 99,43% do chumbo presente.

Utilizando os dados obtidos com o carvão produzido traçou-se uma isoterma de adsorção representada pela curva superior em vermelho, e posteriormente foi empregado o modelo de Freundlich para representar os dados experimentais de equilíbrio gerando a curva inferior em verde (ver Figura 10) os parâmetros obtidos foram $k = 544,17$ e $N = 0,386$. Com os dados obtidos para o carvão comercial foi construído a isoterma de adsorção (ver Figura 11)

Figura 10- Isotermas de adsorção com carvão ativado produzido

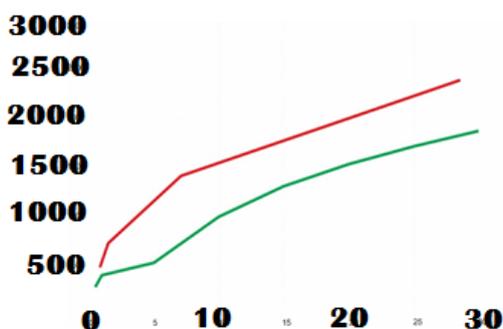
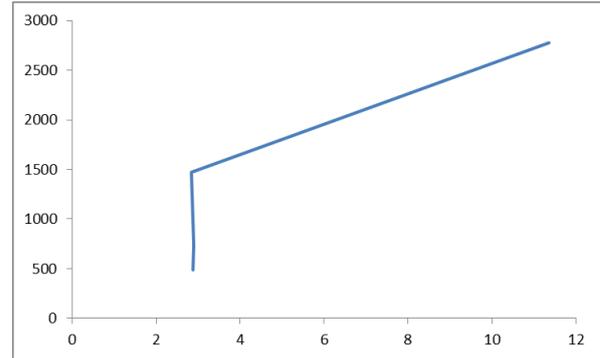


Figura 11- Isotermas de adsorção com carvão ativado comercial



Nas isotermas de adsorção demonstra-se que a quantidade máxima adsorvida de íons metálicos por grama de material adsorvente, no caso do estudo desenvolvido é proporcional, em praticamente todos os ensaios. No ensaio realizado com o carvão comercial notou-se que a partir de certa concentração de carvão, o aumento do mesmo não ocasiona aumento da adsorção, apresentando um comportamento linear, de forma que não é possível aplicar o modelo matemático de Freundlich.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O carvão ativado produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar, por um processo de calcinação seguido pela ativação química utilizando cloreto de zinco, apresentou um aspecto amarronzado diferente do carvão comercial que possui uma coloração preta. A análise de pH realizada no carvão ativado produzido indicou o valor de 5,81, caracterizando-se como um material de característica mais ácida quando comparado ao carvão comercial que está na faixa de pH 7. Porém tal fator não se caracteriza como prejudicial, pois a acidez o torna apto à adsorção de íons metálicos. Quanto a morfologia esta apresentou poros que foram multiplicados após a ativação química do bagaço calcinado.

O carvão ativado produzido foi submetido a teste de adsorção utilizando nas medidas um aparelho de absorção atômica, analisando a adsorção de íons de chumbo em solução aquosa pelo carvão ativado, onde o

mesmo apresentou melhor desempenho quando comparado ao carvão comercial. A utilização do bagaço da cana-de-açúcar para produzir carvão ativado traz uma alternativa de utilização desse subproduto, além da produção energética, já que é grande a geração de bagaço de cana no Brasil, de forma a ampliar as utilizações. Portanto a utilização do bagaço de cana-de-açúcar demonstra ser uma possível alternativa vantajosa para produzir carvão ativado com aplicabilidade na adsorção de íons de chumbo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. B. ; Preparação de carvão ativado de bagaço de cana-de-açúcar e sua aplicação na adsorção de Cd(II) E Cu(II). 2013. 53 f. Monografia (Especialização) - Curso de Tecnologia em Processos Químicos, Universidade Tecnologia Federal do Paraná, Apucarana, 2013.
- AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por alumino silicatos. *Quim. Nova*, V. 25, p. 1145-1154. 2002.
- EVANGELISTA, F. S. B. ; SILVA, I. C. R.; FONTES DE CONTAMINAÇÃO PELO CHUMBO (Pb). 2015. 28 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia, Vigilância Sanitária, Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2015. Cap. 1.
- FOLHA DE SÃO PAULO: Técnica brasileira pode transformar bagaço de cana em carvão ativo. São Paulo, 04 jan. 2017.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3. ed., Sao Paulo: IMESP, v. 1, p. 21-22 e 27-28, 1985.
- McCABE, W. L., SMITH, J. C., HARRIOTT, P. *Unit Operations of Chemical Engineering*. 6. Ed. McGraw-Hill, p.1114.2001.
- NAMASIVAYAM, C; KADIRVELU, K. Agricultural solid waste for the removal of 50 heavy metals: adsorption of Cu(II) by coirpith carbon. *Chemosphere*, v. 34, p. 377–399, 1997
- Nriagu JO. 1983. Lead and lead poisoning in antiquity. New York:Wiley
- PENDYAL, B. et al. Removal of sugar colorants by granular activated carbons made from binders and agricultural by-products, *Bioresour. Technol.*, Kidlington, v. 69, p. 45-51, 1999a.
- PENDYAL, B. et al. The effect of binders and agricultural by-products on physical and chemical properties of granular activated carbons, *Bioresour. Technol.*, Kidlington, v. 68, p. 247-254, 1999b
- PINO, G.A.H.; TOREM, M.L. Aspectos fundamentais da biossorção de metais não ferrosos – Estudo de caso. *Tecnol. Metal. Mater. Miner*, São Paulo, v. 8 n.1, p.57- 63, 13 fev. 2017.
- SCHETTINO Jr, M. A. Ativação química do carvão de casca de arroz utilizando NaOH. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2004.
- SILVA, A. L.; Contaminação ambiental por chumbo. 2014. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/ecologia/contaminacao-ambiental-por-chumbo/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.
- SUZUKI, M. Adsorption Engineering. *Chemical engineering monographs*, v. 25. Japan: Kodansha, 1990.

WHO - World Health Organization.
Guidelines for drinking-water quality:
Recommendations, 3rd Edition, Geneva,
2008.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo
à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG pelo
suporte dado à apresentação deste trabalho no
ENEMP 2017.