

AVALIAÇÃO DO HIDRÓXIDO DE POTÁSSIO COMO AGENTE ATIVANTE PARA SÍNTESE DE CARBONO ATIVADO A PARTIR DO SABUGO DE MILHO.

Francisco Victor Marinho Fernandes¹

Resumo: Os resíduos da indústria têxtil são fontes potenciais de contaminação ambiental. A fim de se minimizar os danos gerados pelos corantes têxteis na natureza, processos de adsorção vêm sendo amplamente empregados. A chave para essa tecnologia está relacionada na escolha de um material adsorvente de baixo custo e com alta capacidade de adsorção pelo corante. O presente trabalho teve como objetivo sintetizar um carbono ativado a partir de matéria orgânica natural, avaliando o processo de ativação química com o agente ativante hidróxido de potássio, assim como a capacidade de remoção do corante *Remazol Brilliant Blue R* (RBBR) pelo carbono sintetizado. O material orgânico, sabugo de milho, foi triturado e separado em granulometrias específicas, em seguida foi carbonizado e lavado com a solução do agente ativante. Após a secagem, foram realizados testes de adsorção do corante RBBR no carbono sintetizado e uma comparação com o carbono ativado comercial, WV1050. Observou-se um rendimento baixo na etapa de carbonização, mas o carbono sintetizado se comporta de maneira semelhante ao carbono comercial, tornando-se viável para aplicação na remoção do corante RBBR.

Palavras-chave: carbono ativado; sabugo de milho; ativação química; hidróxido de potássio.

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil, embora seja umas das indústrias que mais impulsiona a economia de um país, é também uma das que mais gera efluentes nocivos a fauna e flora a partir da contaminação da água com corantes. Esses corantes devem ser removidos dos efluentes, principalmente o corante *Remazol Brilliant Blue R* (RBBR), comum no tingimento de tecidos.

Atualmente existem várias técnicas de remoção de corantes, como a floculação, oxidação química, tratamentos biológicos e adsorção, onde essa última se destaca por trazer como vantagem sua viabilidade econômica, voltando sua atenção para adsorventes de baixo custo.

A chave para um processo eficiente de remoção por adsorção passa pela escolha de um material adsorvente adequado para a adsorção do contaminante, dessa forma, estudos vêm sendo realizados para avaliar métodos de síntese para se chegar num material com alta seletividade pelo corante RBBR e com baixo custo.

Variedades de carbono ativado com alta área superficial específica foram preparadas, na última década, por ativação química. Normalmente, as preparações de carbono ativado com alta área superficial de resíduos de biomassa, como serragem, folhas de bambu, casca de coco, sabugo de milho, cânhamo, etc., têm atraído muita atenção [1]. Entre essas fontes de carbono, a espiga de milho é um bom precursor renovável para preparar carbono ativado com alta área de superfície [2].

Em trabalhos anteriores, alguns parâmetros como temperatura de ativação, tempo de ativação, taxa de aquecimento e proporção de agente de ativação/massa de carbono foram investigados para regular a microestrutura do material adsorvente. Uma substância que vem sendo utilizada para desenvolver a porosidade de materiais carbonáceos é o KOH. O tamanho de partículas do material precursor também pode afetar o rendimento da produção de carbono ativado, bem como a distribuição do tamanho dos poros [3].

Este trabalho pretende sintetizar carbonos ativados adequados para remoção do corante RBBR utilizando o sabugo de milho, como precursor, e o agente ativante KOH. A ideia é utilizar um material subutilizado e de baixo custo que ajudará na aquisição de um carbono ativado mais barato, o que pode viabilizar ainda mais essa tecnologia. Pretende-se, ainda, avaliar diferentes condições de síntese de forma a verificar a influência destas nas propriedades texturais do adsorvente.

2. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE ADSORÇÃO

A adsorção é um processo de transferência de massa, a qual estuda a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos. Assim, a adsorção consiste no enriquecimento de um ou mais componentes na região interfacial fluido-sólido, ou no aumento da densidade de um determinado fluido nas vizinhanças dessa interface. Portanto, os processos de adsorção podem ser considerados proporcionais a extensão da zona interfacial,

assim, diretamente proporcionais a área superficial do sólido [4]. As moléculas do fluido podem se aderir a superfície do adsorvente e após algum tempo voltar para o fluido. Esse processo é chamado de dessorção. Quando ocorre um equilíbrio dinâmico entre as moléculas do fluido durante os processos de adsorção e dessorção em um determinado período de tempo dizemos que alcançamos o equilíbrio de adsorção [5].

Sobre os componentes que fazem parte do processo de adsorção, temos o adsorvente que é o termo ao qual é denominado o sólido sobre o qual ocorre o processo de adsorção. Adsorvivo é o fluido em contato com o adsorvente, o mesmo pode ser um líquido ou um gás. E adsorbato é conceituado como as espécies químicas retidas na superfície do adsorvente e que apresentam uma fase termodinâmica distinta da apresentada pelo adsorvivo. Isso pode ser melhor observado na Figura 1.

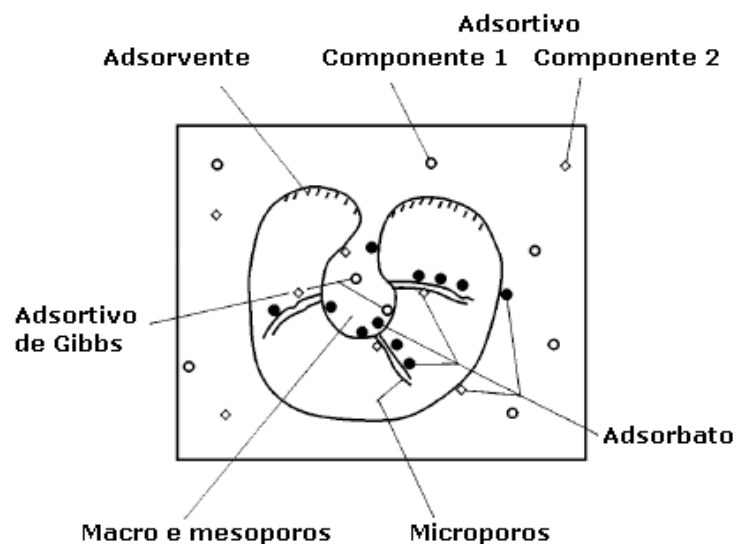


Figura 1. Ilustração de um sistema de adsorção composto por dois componentes. Modificado de [6].

Existem três mecanismos distintos para os processos de adsorção, no mecanismo estérico os poros do material adsorvente possuem dimensões características, os quais permitem que determinadas moléculas possam entrar, excluindo as demais. Para os mecanismos de equilíbrio, têm-se as habilidades dos diferentes sólidos para acomodar diferentes espécies de adsorbatos. Por fim, o mecanismo cinético que está baseado nas diferentes difusividades das diversas espécies nos poros adsorventes.

Sobre o tamanho de poros, eles podem ser classificados segundo a *International Union of Pure Applied Chemistry* (IUPAC) em microporo, diâmetro interno menor que 2 nm; mesoporo, diâmetro interno entre 2 nm e 50 nm; e macroporo, diâmetro interno maiores que 50 nm [7].

2.1. Quimissorção e fisissorção

Usando como parâmetro a intensidade, a adsorção pode ser classificada em dois tipos, a adsorção física e a adsorção química. No caso de adsorção física, a ligação do adsorbato à superfície do adsorvente envolve uma interação relativamente fraca que pode ser atribuída às forças de Van der Waals, que são similares às forças de coesão molecular. Diferentemente, a quimissorção, a qual envolve a troca ou partilha de elétrons entre as moléculas do adsorbato e a superfície do adsorvente, resulta em uma reação química. Ou seja, ocorre uma nova ligação química, que gera um calor de adsorção bem superior ao gerado no caso da fisissorção.

De uma maneira geral, as diferenças entre adsorção física e adsorção química podem ser sumarizadas como abaixo:

A adsorção química é altamente específica e nem todas as superfícies sólidas possuem sítios ativos capazes de adsorver quimicamente o adsorbato. Deve-se ressaltar que nem todas as moléculas presentes no fluido podem ser adsorvidas quimicamente, somente aquelas capazes de se ligar ao sítio ativo. Do ponto de vista termodinâmico, o calor envolvido na fisissorção está situado, em geral, abaixo de 10 kcal/mol, já na adsorção química, o calor de adsorção é da ordem do calor de reação, portanto acima de 20 kcal/mol.

Outra característica da adsorção física é que ela ocorre em toda a superfície do adsorvente, por isso é dita ser não localizada, ao passo que a adsorção química só pode ocorrer nos sítios ativos, sendo assim, é dita localizada. A adsorção física é rápida e reversível, decorrendo da ação de forças de atração intermoleculares fracas entre o adsorvente e as moléculas adsorvidas. A adsorção química pode ser rápida se a energia de ativação for nula ou pequena, e pode ser lenta se a energia de ativação for elevada.

2.2. Fatores que influenciam o processo de adsorção

São vários os fatores que influenciam o processo de adsorção como a área superficial, as propriedades do adsorvente e do adsorbato, a temperatura do sistema, natureza do solvente e o pH do meio.

A intensidade da adsorção é proporcional à área superficial específica, visto que a adsorção é um fenômeno de superfície. Para partículas maiores, a resistência à difusão é menor e grande parte da superfície interna da partícula não é disponibilizada para adsorção [8]. A natureza físico-química do adsorvente é fator determinante, pois a capacidade e a taxa de adsorção dependem da área superficial específica, porosidade, volume específico de poros, distribuição do tamanho de poros, dos grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente e da natureza do material precursor [9].

O tamanho da espécie (adsorbato) é sempre importante quando a taxa de adsorção é dependente do transporte intraparticular. Outra característica de forte influência é a polaridade do adsorbato, uma vez que uma espécie polar terá mais afinidade para o solvente ou para o adsorvente, conforme a polaridade [9]. Os grupos polares (hidroxilas, carboxílicos, aminas, etc.) são bastante comuns em materiais lignocelulósicos. Tais grupos têm uma afinidade por metais bastante conhecida, promovendo uma melhor interação entre o íon metálico e a superfície do adsorvente [10].

Em processos de adsorção, o efeito da temperatura sobre o sistema afeta, principalmente, a constante de velocidade de adsorção. Um aumento na temperatura pode ocasionar aumento de energia cinética e na mobilidade das espécies do adsorbato, e ainda provocar um aumento na taxa de difusão intrapartícula do adsorbato [11]. A temperatura possui dois efeitos importantes sobre o processo de adsorção. Um aumento da temperatura aumenta a taxa de difusão das moléculas do adsorbato em toda camada limite externa e interna nos poros da partícula do adsorvente, devido à diminuição na viscosidade da solução. Além disso, a variação da temperatura altera o estado de equilíbrio da adsorção para um determinado adsorbato. Um aumento da temperatura pode produzir uma desobstrução de poros no interior da estrutura do adsorvente, permitindo a penetração de moléculas maiores do adsorbato [12].

O pH afeta a adsorção na medida em que determina o grau de distribuição das espécies químicas. A intensidade desse efeito pode ser maior ou menor conforme o adsorvente, uma vez que as cargas da superfície do adsorvente dependem da sua composição e das características da superfície.

2.3. Equilíbrio de Adsorção

O equilíbrio de adsorção é geralmente um requisito essencial para obtenção de informações relevantes sobre projeto e análise de um processo de separação por adsorção. Quando uma determinada quantidade de um sólido entra em contato com um dado volume de um fluido contendo um soluto adsorvível, a adsorção ocorre até que o equilíbrio seja alcançado. Isto é, quando o adsorbato é colocado em contato com o adsorvente, as moléculas ou íons tendem a fluir do meio aquoso para a superfície do adsorvente até que a concentração de soluto na fase líquida (C_e) permaneça constante. Nesse estágio é dito que o sistema atingiu o estado de equilíbrio e a capacidade de adsorção do adsorvente (q_e) é determinada.

A obtenção de uma isoterma de adsorção é um processo simples em que uma massa de adsorvente é adicionada em um determinado volume (V) de uma série de soluções com concentrações iniciais (C_0) diferentes e conhecidas. Quando o equilíbrio de adsorção é obtido, temos a concentração final de soluto na solução em equilíbrio (C_e) (em g/L ou mol/L) e a capacidade de adsorção do adsorvente (q_e) (em mg de adsorbato/g de adsorvente).

Podemos obter o valor de (q_e) em termos matemáticos através da Equação 1:

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

Onde:

q: capacidade de adsorção;

C_0 : concentração inicial do adsorbato;

C_e : concentração do adsorbato no equilíbrio;

V: volume da solução;

m: massa do adsorvente.

2.4. Cinética de Adsorção

Cinética de adsorção é expressa como a taxa de remoção do adsorbato na fase fluida em relação ao tempo, envolvendo a transferência de massa de um ou mais componentes contidos em uma massa líquida externa para o interior da partícula do adsorvente, os quais deverão migrar através dos macroporos até as regiões mais interiores desta partícula. Em princípio, a cinética de adsorção pode ser conduzida por diferentes processos (ver Figura 2):

- Transferência de massa externa: a qual corresponde a transferência de moléculas da fase fluida para superfície externa da partícula adsorvente, por intermédio de uma camada de fluido que envolve a partícula.
- Difusão no poro: a qual é ocasionada pela difusão de moléculas no fluido para o interior dos poros.

- Difusão na superfície: a qual corresponde à difusão das moléculas totalmente adsorvidas ao longo da superfície do poro.

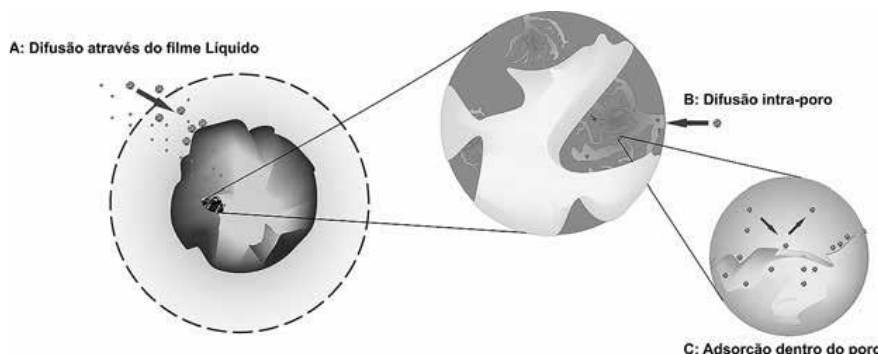


Figura 2. Ilustração das etapas da cinética de adsorção. [13].

3. CORANTE REMAZOL BRILLIANT BLUE R

Os corantes sintéticos são largamente utilizados em variadas aplicações industriais, incluindo a indústria têxtil. Mais de 10 mil corantes estão comercialmente disponíveis, e pelo menos 10% deles são lançados no ambiente por meio de águas residuais [14]. A presença de concentrações muito baixas de corantes nesses efluentes (menos de 1 ppm para alguns corantes) é altamente visível e indesejável. A cor afeta a natureza da água e inibe a penetração da luz solar nos corpos receptores, o que tem um efeito deletério na fotossíntese e, portanto, na vida aquática. Além disso, alguns corantes podem ser tóxicos ou mutagênicos e carcinogênicos [15].

Os corantes podem ser classificados pelo seu grupo cromóforo e possuem diferenças nas estruturas e na estabilidade química. O Remazol Brilliant Blue R (ver Figura 3) pertence à classe dos corantes antraquinônicos e representa um importante organopoluente tóxico e recalcitrante. É um composto derivado do antraceno que apresenta elevada toxicidade, por conta do comportamento químico similar aos compostos que pertencem à família de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), que são muito difíceis de serem metabolizados [16].

A remoção de corantes de efluentes é de grande importância em muitos países do mundo, tanto por preocupações ambientais, quanto de reutilização de água. Devido à baixa biodegradabilidade dos corantes, os processos convencionais de tratamento biológico não são muito eficazes no tratamento de águas residuais de corantes; portanto, eles geralmente são tratados por processos físicos ou químicos [17].

O carbono ativado é o tratamento físico-químico mais amplamente usado para a remoção de compostos orgânicos dissolvidos das águas residuais, mesmo em solução diluída, mas o carvão ativado comercialmente disponível é muito caro [18].

A fim de diminuir o custo do tratamento da remoção do corante, foram feitas tentativas para encontrar adsorventes alternativos baratos e biodegradáveis [18]. Em geral, um adsorvente pode ser considerado barato se requer pouco processamento, é abundante na natureza ou é um subproduto ou material residual de outra indústria.

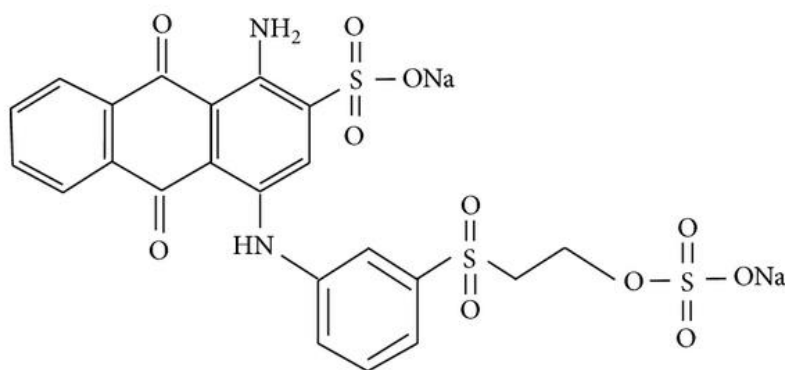


Figura 3. Estrutura química do Remazol Brilliant Blue R. (Modificado de [19]).

4. BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA COMO PRECURSORA DO CARBONO ATIVADO

Outra característica dos carbonos ativados que ganhou uma importância significativa é a grande variedade de materiais, relatados na literatura científica, selecionados como precursores de carbono; já que suas características físico-químicas, além do método de preparação, são responsáveis pelas propriedades de adsorção. Nesse sentido, o uso de recursos lignocelulósicos e resíduos de biomassa tem tido um impulso importante nos últimos anos [20], como mencionado anteriormente.

A escolha do precursor para o desenvolvimento de carbonos ativados de baixo custo depende de diversos fatores. O precursor deve ser preferencialmente, barato e não perigoso para a natureza, disponível gratuitamente quando possível. Além disso, é desejável, para um bom desenvolvimento da área superficial, características estruturais e texturais, para que o teor de carbono fixo seja razoavelmente superior a quantidade de cinzas [21].

A biomassa tem se mostrado bastante eficaz na obtenção de precursores para o carbono ativado, tais como a madeira, resíduos agrícolas, resíduos industriais, etc. Na fabricação de carbono ativado um aspecto bastante relevante é que há quase um total aproveitamento das partes da biomassa usada como precursora, isso inclui o núcleo, caules, conchas, cascas, flores, frutos, sementes, entre outras.

A produção de carbono ativado a partir da biomassa lignocelulósica tem muitas vantagens: os precursores são diversos, abundantes e renováveis; a síntese é um processo relativamente simples devido à alta reatividade da biomassa; e contribui para reduzir os custos da eliminação de resíduos e o impacto negativo para o ambiente [22]. No entanto, uma das vantagens mais significativas da utilização de materiais renováveis e resíduos (derivados de resíduos de culturas agroindustriais e resíduos municipais) reside na possibilidade de obter materiais funcionais como adsorventes de certos elementos e compostos da água e do ar [23].

5. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA ATIVAÇÃO DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

A dois métodos para realizar a ativação materiais carbonosos, precursores de carbono ativado, são os métodos de ativação química e física. No entanto, a ativação térmica simples em atmosfera de nitrogênio [24] e a radiação de microondas [25] têm sido propostas como métodos efetivos para obter carbonos ativados. Além disso, o uso da ativação combinada (química e física) também é uma alternativa para aumentar as características texturais e criar porosidade hierárquica.

5.1. Carbonização

A carbonização é um processo, às vezes usado antes da ativação, onde o lignocelulósico bruto é submetido a um tratamento térmico (pirólise) para enriquecer o conteúdo de carbono no precursor [26]. Esse procedimento visa eliminar do precursor toda umidade e a matéria volátil de baixo peso molecular, logo em seguida são liberados os compostos aromáticos leves e por fim o gás hidrogênio [27]. O produto resultante é um esqueleto carbonáceo fixo [28]. Nesse procedimento, o carbono ativado exibe uma certa porosidade, mas ainda baixa comparativamente com outros carbonos ativados. Esses mesmos poros formados durante o processo de carbonização são preenchidos com resíduos de pirólise alcalina e requerem ativação para desenvolver as características específicas do carbono. A seleção cuidadosa dos parâmetros de carbonização é importante para que esse processo tenha um efeito significativo no produto final [29]. Neste processo, a temperatura de carbonização tem o efeito mais significativo, seguido pela taxa de aquecimento, presença (ou não) de uma atmosfera inerte e sua taxa e, finalmente, o tempo de residência [30]. Na maioria dos casos, temperaturas de carbonização superiores a 600 °C resultam numa considerável redução do rendimento do carvão [31]. Temperaturas mais altas também aumentam o conteúdo de cinzas e carbono fixo e diminuem a quantidade de material volátil. Assim, altas temperaturas resultam em melhor qualidade do carvão, mas também diminuem o rendimento.

5.2. Ativação Química

Na ativação química, usualmente, o precursor lignocelulósico bruto é impregnado diretamente com certos agentes químicos, como H₃PO₄, H₂SO₄, HNO₃, ZnCl₂, NaOH e KOH. Durante este passo, as relações como, a proporção entre o agente químico e a massa precursora, o agente de impregnação, o tempo e a temperatura de agitação, são rigorosamente controlados, para um melhor desempenho na síntese do material.

A mistura de agente precursor resultante é depois tratada termicamente a temperaturas variando entre 400 e 1000 °C, normalmente, sob uma atmosfera controlada, e finalmente lavada para eliminar o agente de ativação. A aplicação de uma corrente gasosa como ar, nitrogênio ou argônio é comum durante a carbonização, o que gera um melhor desenvolvimento da porosidade interna no material. Os agentes químicos ajudam a desenvolver a porosidade, por meio da desidratação e degradação da estrutura precursor, especialmente quando o agente de ativação é altamente alcalino. Aqui, é importante mencionar que a distribuição do tamanho dos poros e a área superficial são função também da razão entre o agente químico e o precursor [32].

5.3. Ativação Física

Em um processo de ativação física, o precursor lignocelulósico é carbonizado sob uma atmosfera inerte e o carbono resultante é submetido a uma gaseificação parcial e controlada a alta temperatura. A atmosfera de ativação é um agente oxidante elevado, tal como CO₂, vapor de água, O₂ ou uma mistura deles a temperaturas elevadas [33].

6. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

6.1. Síntese do Carbono Ativado

Primeiramente as espigas de milho foram coletadas na Cobal, localizada no bairro Paredões no município de Mossoró – RN. Após isso as espigas foram secas em uma estufa com circulação e renovação de ar. Esse procedimento durou 12 h e a temperatura durante a secagem foi de 120 °C.

Os sabugos secos foram em seguida triturados em um moinho de facas. O pó resultante da moagem foi dividido, através de peneiração, em duas faixas granulométricas. A primeira > 1 mm e a segunda < 1 mm e > 600 µm.

O bagaço do sabugo já triturado foi, então, carbonizado no forno mufla. A carbonização foi realizada usando uma taxa de aquecimento de 30 °C/min, até 450 °C durante 0,5 h, com a aplicação de uma vazão de N₂ de 1 L/min.

Realizado essa etapa, o pó carbonizado foi levado para a impregnação com o agente ativante. A solução saturada de Hidróxido de Potássio (KOH), que havia sido preparada previamente, foi usada para a impregnação, que ocorreu na proporção de 4:1 em massa. Depois, as amostras impregnadas foram levadas para uma etapa de agitação por 0,5 h com uma agitação 120 rpm.

Logo após, as amostras impregnadas foram lavadas com uma solução de Ácido Clorídrico (HCl) 3 mol/L, até que o efluente de impregnação ficasse com pH na faixa de 6-7. Por fim, as amostras foram secas numa estufa a 110 °C para remover a água adsorvida durante o procedimento.

6.2. Ensaio de Adsorção

Foi preparada uma solução de 400 mg/L do corante RBBR no pH 2, para que fosse testado a capacidade de adsorção do material sintetizado na etapa anterior.

Pesou-se 0,01 g de quatro materiais, o carbono ativado comercial WV1050, o bagaço triturado do sabugo do milho, o bagaço que passou somente pela etapa de carbonização a 400 °C, e por fim o bagaço que passou pela carbonização e ativação química com o KOH. A granulometria das amostras foi de 20x30 *mesh* para o WV1050 e >1 mm para o sabugo de milho puro e seus derivados que passaram pelo processo de ativação.

As massas desses adsorventes foram colocadas em contato com 25 mL da solução de corante, e, posteriormente, colocadas em diferentes erlenmeyers. Em seguida, os erlenmeyers foram levados à uma incubadora SHAKER SL 222 a 30 °C e rotação de 160 rpm. Foram removidas alíquotas das soluções em diferentes tempos, uma para cada erlenmeyer, e estas foram analisadas no espectrofotômetro. A partir dos resultados, foi plotado o gráfico de quantidade adsorvida *versus* tempo.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1. Síntese do Carbono Ativado

Após o processo de moagem foi percebido que as partículas com granulometria mais baixa, < 1 mm e > 600 µm, se tornava mais difícil de se trabalhar devido ao baixo rendimento durante os processos de carbonização.

As amostras com granulometria > 1mm e ativadas nas condições citadas na Tabela 1.

Tabela 1. Taxa de Produção do Sabugo Seco Carbonizado

Amostra	Temperatura de Carbonização (°C)	Produção (%)
CA1	450	6,04
AT1	450	6,07

Fonte: Autoria própria.

O processo de carbonização na deficiência de oxigênio gerada pelo fluxo de nitrogênio gasoso, fez com que as partículas de milho fossem decompostas em materiais carbonosos porosos e hidrocarbonetos, esse processo fez com que todo material volátil ainda presente no pó do sabugo fosse praticamente todo eliminado.

A amostra denominada por AT1 foi tratada com o agente ativante numa proporção 4:1 que segundo [34] leva a um aumento da porosidade já criada pelo processo de carbonização que a mesma já havia passado.

7.2. Ensaio de Adsorção

O ensaio teve como objetivo avaliar se o hidróxido de potássio aplicado a amostra AT1 teve eficácia em tornar amostra um adsorvente mais eficaz para a adsorção do corante RBBR.

Os testes realizados primeiramente com o WV1050 apresentaram os seguintes resultados de quantidade adsorvida por massa de adsorvente (ver Tabela 2 e Figura 4).

Tabela 2. Quantidade adsorvida a partir do tempo para o WV1050

Tempo de contato (min)	q (mg/g)
45	44,234
120	63,084
1440	103,972

Fonte: Autoria própria.

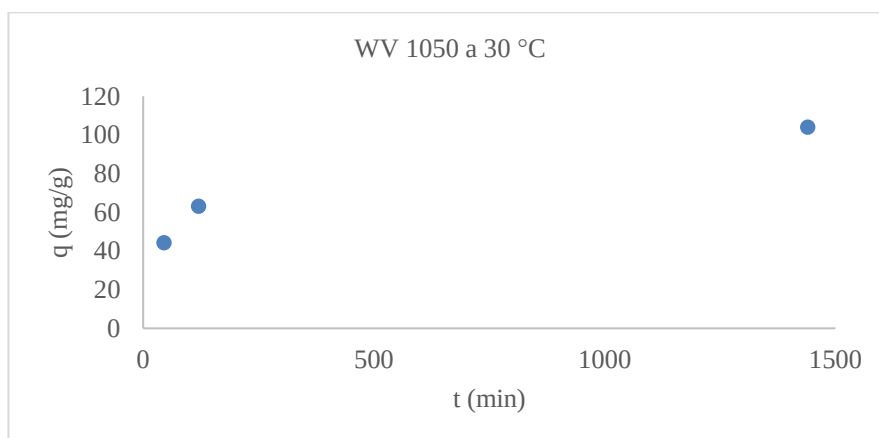


Figura 4. Cinética de adsorção do RBBR no WV1050 a 30 °C. (Autoria Própria).

Em seguida realizamos os mesmos testes com o bagaço do sabugo seco (ver Tabela 3 e Figura 5), e com seus derivados carbonizados (ver Tabela 4 e Figura 6) e ativados (ver Tabela 5 e Figura 7).

Tabela 3. Quantidade adsorvida a partir do tempo para o sabugo seco

Tempo de contato para o Sabugo Seco (min)	q (mg/g)
45	88,467
120	68,925
1440	63,084

Fonte: Autoria própria.

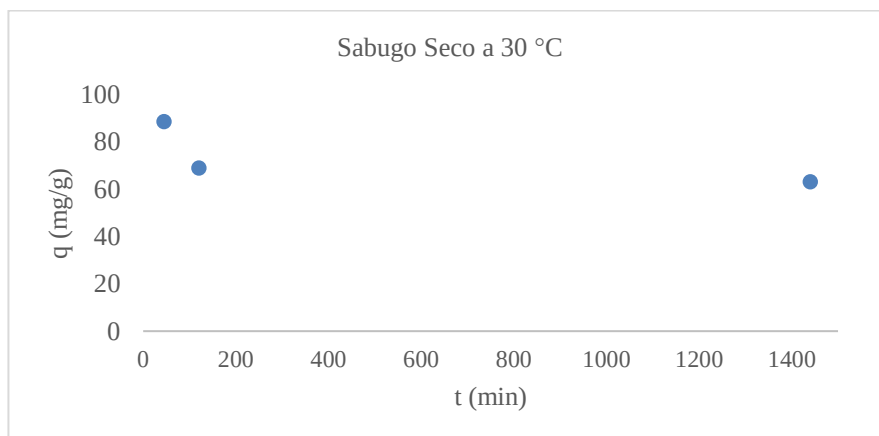


Figura 5. Cinética de adsorção do RBBR no Sabugo Seco a 30 °C. (Autoria Própria).

Tabela 4. Quantidade adsorvida a partir do tempo para o sabugo carbonizado

Tempo de contato para o Sabugo Carbonizado (min)	q (mg/g)
45	37,429
120	56,075
1440	103,972

Fonte: Autoria própria.

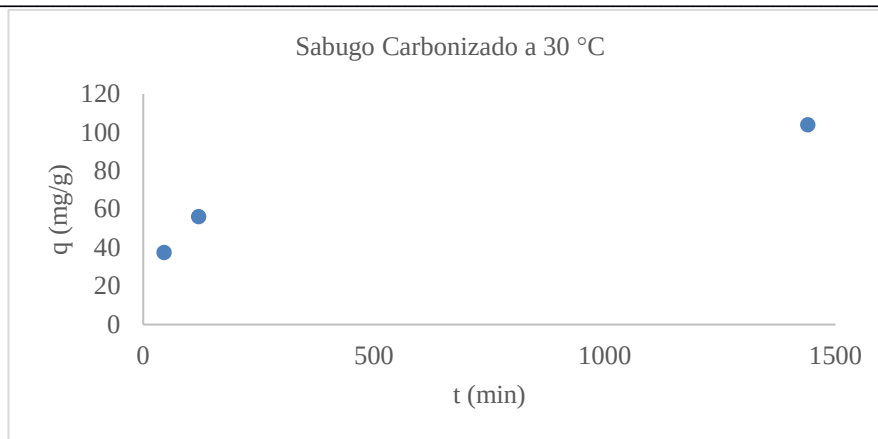


Figura 6. Cinética de adsorção do RBBR no Sabugo Carbonizado a 30 °C. (Autoria Própria).

Tabela 5. Quantidade adsorvida a partir do tempo para o sabugo impregnado

Tempo de contato para o Sabugo Impregnado (min)	q (mg/g)
45	12,476
120	87,617
1440	75,935

Fonte: Autoria própria.

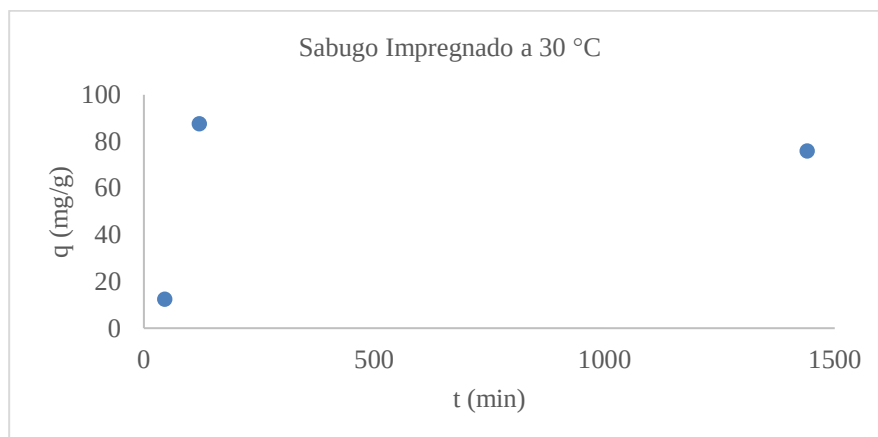


Figura 7. Cinética de adsorção do RBBR no Sabugo Impregnado a 30 °C. (Autoria Própria).

A Figura 8 a seguir mostra a comparação entre os adsorventes analisados acima.

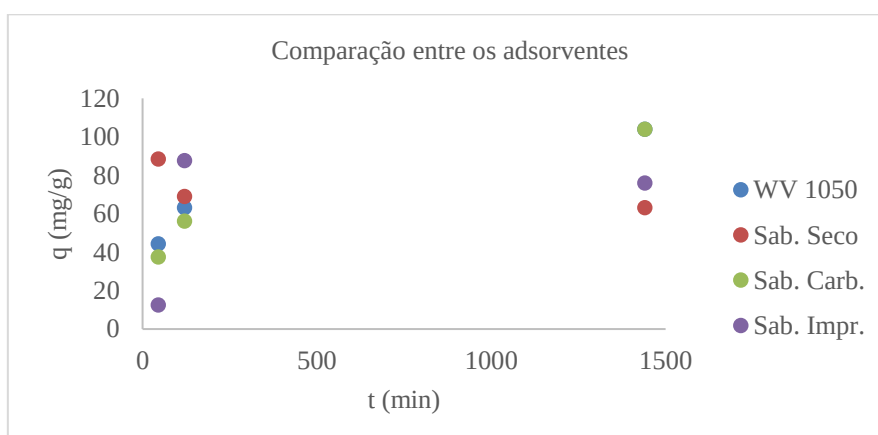


Figura 8. Cinética de adsorção do RBBR nos adsorventes estudados a 30 °C (Autoria Própria).

Devido aos resultados do sabugo após impregnação terem sido inferiores ao esperado, possivelmente a proporção de impregnação foi acima do que o apropriado para esse determinado tipo de partícula.

As quantidades adsorvidas durante o período de um dia mostram que a partícula do precursor o sabugo do milho apresenta uma porosidade natural que se mostra capaz de adsorver o corante RBBR, já seus derivados, a partícula carbonizada apresentou uma capacidade de adsorção melhor comparado com o precursor seco,

constatando que na carbonização a porosidade do material aumenta de maneira razoável, já na partícula que sofreu impregnação foi apresentado uma quantidade adsorvida menor do que na partícula carbonizada, pois o teor de KOH na impregnação foi mais elevada do que o necessário e houve uma degradação do material, devido as partículas do sabugo serem muito frágeis.

A atuação do hidróxido de potássio como agente ativante se mostrou pouco eficiente nesse caso, devido a taxa de impregnação elevada para o precursor, onde o a partícula era de um tamanho razoável para os testes mais mostrou fragilidade durante os processos de carbonização e impregnação devido ao baixo rendimento nesses procedimentos.

8. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado o estudo da ativação química na síntese de carbono ativado derivado de matéria orgânica natural, e como o agente ativante, o hidróxido de potássio, atua no desenvolvimento da porosidade desse material sintetizado, assim como a capacidade de remoção do corante *Remazol Brilliant Blue R* desse carbono sintético em comparação com um carbono comercial.

Os resultados do processo de síntese mostraram um rendimento menor para um menor tamanho das partículas do precursor, e um rendimento considerado baixo. Contudo, na etapa de impregnação a perda de massa foi mínima, o que mostra que o processo de síntese é viável.

Na etapa dos testes de adsorção o composto carbonizado obteve os melhores resultados comparados ao carbono ativado comercial. O composto impregnado obteve resultados piores que o previsto. A razão de impregnação pode ter sido maior que o necessário para esse material, o que acabou degradando o composto sintetizado.

Recomenda-se que em trabalhos posteriores sejam testadas novas metodologias e novos precursores afim de obter um carvão sintético com capacidade de adsorção ótima para o RBRR.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] YANG, R. et al. Preparation and N₂, CO₂ and H₂ adsorption of super activated carbon derived from biomass source hemp (*Cannabis sativa* L.) stem. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 158, p. 108–116, 2012.
- [2] WANG, Y. X.; LIU, B. S.; ZHENG, C. Preparation and adsorption properties of corncob-derived activated carbon with high surface area. *Journal of Chemical and Engineering Data*, v. 55, n. 11, p. 4669–4676, 2010.
- [3] LIU, X. et al. High-pressure hydrogen storage and optimizing fabrication of corncob-derived activated carbon. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 194, p. 60–65, 2014.
- [4] Rouquerol, F., Rouquerol, J., Sing, K.S.W., Llewellyn, P., Maurin, G.: *Adsorption by powders & porous solids – Principles, methodology and applications*, 2^a edn. Academic Press, London (2014).
- [5] KELLER, J.U., STAUDT, R.: *Adsorption equilibria: Experimental methods and adsorption isotherms*. Springer, Boston (2005).
- [6] KELLER et al.: Measurement of gas mixture adsorption equilibria of natural gas compounds on microporous sorbents. *Adsorption* 5, 199-214 (1999).
- [7] SING et al.: Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface área and porosity. *Pure Appl. Chem.* 57, 603-619 (1985).
- [8] SEKAR, M.; SAKTHI, V.; RENGARAJ, S. Kinetics and equilibrium adsorption study of lead(II) onto activated carbon prepared from coconut shell. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 279, n. 2, p. 307–313, 2004.
- [9] DOMINGUES, V. M. F. Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides em águas. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2005.
- [10] NGAH, W. S. W.; HANAFIAH, M. A. K. M. Biosorption of copper ions from dilute aqueous solutions on base treated rubber (*Hevea brasiliensis*) leaves powder: kinetics, isotherm, and biosorption mechanisms. *Journal of Environmental Sciences*, v. 20, n. 10, p. 1168-1176, 2008.
- [11] JIMENEZ, R. S.; DAL BOSCO, S. M.; CARVALHO, W. A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolecita - Influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. *Química Nova*, v. 27, n. 5, p. 734–738, 2004.
- [12] DOĞAN, M. et al. Adsorption kinetics of maxilon blue GRL onto sepiolite from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, v. 124, n. 1–3, p. 89–101, 2006.
- [13] FERREIRA DO NASCIMENTO, R. et al. *Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais*. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.
- [14] FU, Y. & VIRARAGHAVAN, T. (2001) Fungal decolorization of dye wastewaters: a review. *Bioresource Technology*, v. 79, n. 3, p. 251-262.
- [15] DOĞAN, E.; YESİLADA, E.; OZATA, L.; YOLOGIU, S. (2005) Genotoxic testing of four textile dyes in two crosses of *Drosophila* using wing somatic mutation and recombination test. *Drug and Chemical Toxicology*, v. 28, n. 3, p. 289-301.
- [16] MECHICHI, T; MHIRI, N.; SAYADI, S. (2006) *Remazol Brilliant Blue R* decolourization by the laccase

from *Trametes trogii*. *Chemosphere*, v. 64, n. 6, p. 998-1005.

- [17] MORIMOTO, T. et al. Characteristics of the mercury vapor removal from coal combustion flue gas by activated carbon using H₂S. *Fuel*, v. 84, n. 14–15, p. 1968–1974, 2005.
- [18] NAMASIVAYAM, C; KAVITHA, D. Removal of Congo Red from water by adsorption onto activated carbon prepared from coir pith, an agricultural solid waste. *Dyes and Pigments*, v. 54, n. 1, p. 47-58, 2002).
- [19] MAFRA, M. R. et al. Adsorption of remazol brilliant blue on an orange peel adsorbent. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 30, n. 3, p. 657–665, 2013.
- [20] 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*, v. 46, p. 218–235, 2015.
- [21] IOANNIDOU, O.; ZABANIOTOU, A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 11, n. 9, p. 1966–2005, 2007.
- [22] FOO, K. Y.; HAMEED, B. H. Utilization of biodiesel waste as a renewable resource for activated carbon: Application to environmental problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 9, p. 2495–2504, 2009.
- [23] GAUTAM, R. K. et al. Biomass-derived biosorbents for metal ions sequestration: Adsorbent modification and activation methods and adsorbent regeneration. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 2, n. 1, p. 239–259, 2014.
- [24] ZHAO, Y. et al. Preparation of pore-size controllable activated carbon fibers from bamboo fibers with superior performance for xenon storage. *Chemical Engineering Journal*, v. 270, p. 528–534, 2015.
- [25] FOO, K. Y.; HAMEED, B. H. Coconut husk derived activated carbon via microwave induced activation: Effects of activation agents, preparation parameters and adsorption performance. *Chemical Engineering Journal*, v. 184, p. 57–65, 2012.
- [26] GONZÁLEZ PG, Pliego-Cuervo YB. Physicochemical and microtextural characterization of activated carbons produced from water steam activation of three bamboo species. *J Anal Appl Pyrolysis* 2013;99:32–9..
- [27] ALI I, ASIM M, KHAN TA. Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater. *J Environ Manag* 2012;113:170–83.]. O produto resultante é um esqueleto carbonáceo fixo
- [28] LEWIS IC. Chemistry of carbonization. *Carbon N Y* 1982;20:519–29.
- [29] DAUD WMAW, ALI WSW, SULAIMAN MZ. The effects of carbonization temperature on pore development in palm-shell-based activated carbon. *Carbon N Y* 2000;38:1925–32.
- [30] LUA AC, LAU FY, GUO J. Influence of pyrolysis conditions on pore development of oil-palm-shell activated carbons. *J Anal Appl Pyrolysis* 2006;76:96–102.
- [31] IOANNIDOU O, ZABANIOTOU A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production—a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2007;11:1966–2005.
- [32] MOHAMED AR, MOHAMMADI M, DARZI GN. Preparation of carbon molecular sieve from lignocellulosic biomass: a review. *Renew Sustain Energy Ver* 2010;14:1591–9.
- [33] GONZÁLEZ-GARCÍA, P. Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, n. xxxx, p. 1393–1414, 2018.
- [34] LIU, B. et al. Preparation of activated carbon with high surface area for high-capacity methane storage. *Journal of Energy Chemistry*, v. 23, n. 5, p. 662–668, 2014.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 12 horas do dia vinte de março de dois mil e dezenove, no auditório do Centro de Engenharias da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **FRANCISCO VICTOR MARINHO FERNANDES**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2016010258**, com o título **“AVALIAÇÃO DO HIDRÓXIDO DE POTÁSSIO COMO AGENTE ATIVANTE PARA SÍNTESE DE CARBONO ATIVADO A PARTIR DO SABUGO DE MILHO”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof Dr RAFAEL BARBOSA RIOS, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Prof Dr ÁLVARO DANIEL TELES PINHEIRO e Prof. Dr ALESSANDRO ALISSON DE LEMOS ARAUJO, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: 9,0 ; 9,0 , 9,0 . Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi aprovado com média geral 9,0 . E para constar, eu, RAFAEL BARBOSA RIOS, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 20 de março de 2019.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

Prof Dr RAFAEL BARBOSA RIOS – UFERSA
Presidente e orientador

Prof Dr ÁLVARO DANIEL TELES PINHEIRO – UFERSA
Primeiro Membro

Prof Dr ALESSANDRO ALISSON DE LEMOS ARAUJO – UFERSA
Segundo Membro