



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

Aléxia Batista Fortunato

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE BIOMASSA:
PETÍOLE DE BURITI**

Dourados/MS

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

Aléxia Batista Fortunato

PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE BIOMASSA:
PETÍOLE DE BURITI

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado na Graduação à
Universidade Federal da Grande
Dourados, Faculdade de Ciências
Exatas e Tecnologia, para a conclusão
do curso de Licenciatura em Química.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Teodoro de Carvalho

Dourados/MS

2018

*"O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus
sonhos."*

Eleanor Roosevelt

*A Deus, por estar presente em todos os momentos e a minha
família por todo apoio.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido saúde, força e disposição para esta jornada, sendo sempre meu guia.

Aos meus pais, João e Maria, meus maiores incentivadores, exemplos de luta e coragem, por todo apoio e incentivo.

Ao Prof Dr. Cláudio Teodoro de Carvalho, pela orientação, pela paciência, confiança, incentivos e saberes compartilhados.

A todos os professores da UFGD, pelo aprendizado.

Aos colegas de laboratório, pela amizade e pelo auxílio.

Aos amigos que fiz neste período, Anna Carolina, Bruna, Fabiani, Kamila e Thiago, pelo acolhimento, momentos de alegria, pelas palavras de apoio e incentivo.

Ao meu namorado, por todo apoio, palavras de força e pela sua atenção.

E a todos aqueles que, embora não mencionados, contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

O interesse pelas questões ambientais e reuso da biomassa e resíduos estão cada vez mais frequentes, devido ao aumento populacional que demandam recursos, redução de custos e inovação das atividades industriais. As indústrias têxteis têm como sério problema ambiental, o uso de corantes ácidos e que são resistentes a degradação natural. Desta forma, é necessário procurar alternativas para degradação ou remoção dos corantes. Uma dessas alternativas é a utilização de carvão ativado para remoção de corantes por adsorção. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo a preparação e caracterização de carvão ativado microporoso, a partir do talo, petíole do Buriti, (extremamente) presente no Cerrado brasileiro, um material de baixo custo e renovável. O processo foi realizado a partir da preparação do material, impregnação, secagem a 110°C, por um período de 24 horas, do material celulósico impregnado por hidróxido de potássio em diferentes razões mássicas e realização do processo de carbonização e ativação simultânea por hidróxido de potássio (KOH) na temperatura de 500°C por 3 horas. Os carvões ativados (CAs) obtidos foram caracterizados por análise térmica e calorimetria exploratória diferencial (TGA-DSC), para obter informações da estabilidade térmica, água por sorção, teor de cinzas, bem como as condições e temperatura para obtenção do material. As metodologias clássicas foram utilizadas para obtenção do número de iodo e adsorção com Azul de Metileno (corante catiônico) realizando as análises quantitativas por UV-Vis com comprimento de onda de 664 nm, para avaliação da porosidade e capacidade de adsorção, respectivamente. Os resultados possibilitaram a classificação do carvão ativado como microporoso e pode-se perceber que o aumento das proporções mássicas de agente ativante não influenciou no aumento da porosidade e capacidade de adsorção de Azul de Metileno (AM).

Palavras-chave: Carvão Ativado; Adsorção; TGA-DSC; Buriti.

ABSTRACT

The interest about environmental issues and reuse of biomass and residue are each more frequent, due to the increase in population which demand resources, decrease of cost and innovation industrial activities. The textile industry has as environmental problem, the use of acids dyes and that are resistant to natural degradation. In this way, it is necessary to look for alternatives so that the dyes can be degraded or removed. One of these alternatives is the use of activated carbon. In this context, the objective of this work was the preparation and characterization of microporous activated charcoal, from the stalk, Buriti petiole, (extremely) present in the Brazilian cerrado, a material of low cost and renewable. The process was carried out from the preparation of the material, impregnation, drying at 110°C for a period of 24 hours, of the cellulosic material impregnated by potassium hydroxide in different mass ratios and realization of the process of carbonization and simultaneous activation by potassium hydroxide (KOH) at the temperature of 500°C for 3 hours. The activated carbons (CAs) were characterized by thermal analysis and differential scanning calorimetry (TGA-DSC), to obtain information on thermal stability, water by sorption, ash content, as well as the conditions and temperature to obtain the material. The classical methodologies were used to obtain the number of iodine and adsorption with methylene blue (cationic dye) by performing the UV-Vis quantitative analyzes with a wavelength of 664 nm, to evaluate porosity and adsorption capacity, respectively. The results allowed the classification of the activated carbon as microporous and it can be noticed that the increase of the mass proportions of activating agent did not influence in the increase of the porosity and adsorption capacity of Methylene Blue (AM).

Keywords: Activated Carbon; Adsorption; TGA-DSC; Buriti.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Foto ilustrativa da palmeira <i>Mauritia flexuosa</i> L.....	18
Figura 2 - Esquema demonstrativo da estrutura do carvão ativado.....	20
Figura 3 - Esquema simplificado da estrutura dos poros do CA.....	21
Figura 4 - Figura representativa do processo de produção do CA.....	23
Figura 5 - Esquema demonstrativo da ativação química e física.....	25
Figura 6 - Figura simplificada dos grupos funcionais encontrados na superfície do CA.....	27
Figura 7 - Estrutura molecular do corante catiônico Azul de Metileno.....	30
Figura 8 - Principais tipos de isotermas.....	31
Figura 9 - Foto ilustrativa do preparo da matéria prima.....	32
Figura 10 - Foto ilustrativa da pirólise do material.....	33
Figura 11 - Foto ilustrativa da lavagem do CA.....	33
Figura 12 - Foto ilustrativa do sistema de titulação para determinação do número de iodo.....	34
Figura 13 - Foto ilustrativa das soluções do corante azul de metileno utilizado para a construção da curva de calibração.....	36
Figura 14 - Foto ilustrativa do espectrofotômetro UV/VIS Kasuaki.....	36
Figura 15 - Curvas TG-DSC dos carvões ativados produzidos a 500°C, sob atmosfera inerte de N ₂ , razão de aquecimento de 20°C min ⁻¹ ; a) matéria prima <i>in natura</i> b) CA 1:1 c) CA 1:2 d) CA 1:3.....	39
Figura 16 - Curva analítica para o Azul de Metileno.....	41

Figura 17 – Estrutura representativa da matriz carbônica com os grupos funcionais e respectivas temperaturas.....44

Figura 18 - Estrutura representativa da matriz carbônica com os prováveis grupos de superfície presentes nas amostras de carvão ativado produzidos a 500°C.....44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Principal função dos poros.....	18
Tabela 2 - Resultados da quantidade de adsorção do Azul de Metileno nos carvões ativados.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA	Carvão Ativado
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada, do inglês: International Union of Pure and Applied Chemistry
TG-DSC	Termogravimetria e Calorimetria Exploratória Diferencial
CO	Monóxido de carbono
H ₂	Gás hidrogênio
CO ₂	Dióxido de carbono
CH ₄	Gás metano
K	Graus Kelvin
nm	Nanômetro
pH	Potencial hidrogeniônico
ZnCl ₂	Cloreto de zinco
H ₃ PO ₄	Ácido fosfórico
HCl	Ácido clorídrico
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
KOH	Hidróxido de potássio
NaOH	Hidróxido de sódio
mm	Milímetro

AM Azul de Metileno

°C Graus Celsius

FT-IR Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier

UV/VIS Ultravioleta-Visível

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1 Buriti.....	17
3.2 História.....	18
3.3 Carvão Ativado.....	19
3.4 Produção do Carvão Ativado	22
3.5 Grupos de superfície.....	26
3.6 Processo de adsorção	27
3.7 Corantes	28
3.8 Isotermas de adsorção.....	30
4. PARTE EXPERIMENTAL	32
4.1 Obtenção do carvão ativado	32
4.2 Caracterização do material	34
4.3 Número de iodo.....	34
4.4 Caracterização por TGA-DSC.....	35
4.5 Adsorção usando o Azul de Metileno (AM)	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 Preparação do carvão ativado (CA)	37
5.2 Caracterização por TGA-DSC.....	37
5.3 Número de iodo.....	40
5.4 Adsorção usando o corante Azul de Metileno (AM)	40
5.5 Grupos de superfície dos CA	43
6. CONCLUSÃO	45
7. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

Na última década vem crescendo o interesse pelas questões ambientais, isto porque os problemas ambientais estão cada vez mais frequentes e críticos devido ao aumento populacional, demanda por recursos e ao aumento das atividades industriais [1]. A preocupação com a conservação do meio ambiente, uso de materiais reciclados e biomassa e, estimulam a busca por materiais de baixo custo que podem ser (re)utilizados como adsorventes para eliminação de contaminantes em efluentes aquosos. O carvão ativado (CA), é o material que mais se destaca, pois possui excelentes características adsorventes, que podem ser utilizadas para o tratamento de água, no controle de emissão de poluentes, na purificação, armazenamento de gases, catalisadores, suportes catalíticos, na desodorização, separação, desintoxicação, etc [2-4].

O carvão ativado (CA) é produzido a partir da madeira, turfa (carvão fóssil) e carvão de pedra (brasa). Porém, tem-se utilizado material de alternativos de baixo custo e renovável, como resíduos lignocelulósicos, como a casca do coco, casca de arroz, grão de café, bambu, quitosana, semente de frutas, bagaço de cana de açúcar, ou até mesmo, de restos de couros e pneus, para minimização dos problemas ambientais [2, 3, 5]. Um outro ponto que pode ser levantado, é que o uso de CA ainda é limitado, porque este material possui alto custo, devido as elevadas temperaturas empregadas na obtenção, geralmente, temperaturas superiores a 700°C [2].

O Buriti (*Mauritia flexuosa L.f.*) é uma biomassa disponível e pode ser utilizado como material precursor do CA, visto que ele é renovável, de baixo custo e descartado naturalmente. Além disso, o talo do buriti (petíole) é composto

por um material lignocelulósico, o qual permite a utilização como matéria-prima na produção de CA, porque sua estrutura quando ativado quimicamente ou fisicamente, torna-se porosa e, assim um bom adsorvente [6]. A partir da literatura não foi possível encontrar nenhum trabalho com o petíole do Buriti ou material similar, devido a abundância, pode-se agregar valor econômico ao produto e emprego e renda na sua coleta e cultivo. Após a carbonização a °C, a ativação foi realizada com hidróxido de potássio (KOH), como agente ativante e o material obtido da palmeira Buriti, petíole, foi escolhido para preparar as amostras de carvão ativado.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo preparar e caracterizar carvão ativado (CA), com material disponível da biomassa regional de baixo custo, utilizando como agente ativante hidróxido de potássio (KOH).

2.2. Objetivos Específicos

- I. Caracterizar as amostras de carvão ativado empregando técnicas de análise térmica (TG-DSC).
- II. Determinar a capacidade de adsorção dos carvões ativados.
- III. Avaliar a porosidade dos carvões ativados em diferentes proporções mássicas.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Buriti

O buriti (*Mauritia flexuosa* L.) é uma palmeira da família *Arecaceae* (Figura 1), presente em grande quantidade na região do Cerrado, na Amazônia e no nordeste do Pantanal, onde é encontrada nas regiões baixas e úmidas, conhecida por veredas, em solos pobres e ácidos, os quais são impróprios para agricultura [7,8]. A palmeira pode ter até 40 metros de altura e caule com diâmetro de 13 a 55 cm, quando adulta possui cerca de 20 a 30 folhas. As folhas são compostas pela capemba, o talo e a palha [8,9].

ver Link: http://www.ispn.org.br/arquivos/Mont_buriti0061.pdf

A palmeira é importante para a preservação da fauna, pois serve de alimento para aves e mamíferos, além disso, é utilizado na preparação de doces, geleias e óleo comestível. As folhas, são utilizadas para a cobertura de moradias, as fibras na produção de artesanatos. O pecíolo utilizado para confecção de móveis, brinquedos e gaiolas. A presença da palmeira é um indicador natural de áreas com recursos hídricos disponíveis. Quando as folhas e o pecíolo morrem, eles acabam ficando por vários meses na palmeira. Após a retirada das folhas, a maior parte do pecíolo fica no tronco ou acaba sendo descartado [9]. Desta forma, torna-se uma biomassa importante para a reutilização do pecíolo como intermediário para a produção de carvões ativados (CAs).

Figura 1 - Foto ilustrativa da palmeira *Mauritia flexuosa* L.



Fonte: SAMPAIO 2011 [8].

3.2 História

Historicamente, o CA é utilizado desde a antiguidade, devido sua capacidade adsorptiva. No Japão, foi encontrado um poço de água subterrânea, no qual utilizava um filtro de carvão vegetal [10]. O carvão ativado no setor industrial teve sua primeira aplicação na Inglaterra, 1974, utilizado como um agente descolorante no branqueamento e produção de açúcar. Neste primeiro momento, o estudo foi baseado utilizando a fase líquida. O uso para a fase gasosa, ocorreu em Londres, 1854, para retirar os odores desagradáveis de um sistema de esgoto. Um período que estimulou a produção e a aplicação do CA foi a primeira Guerra Mundial, usado para melhorar a proteção das máscaras contra os gases venenosos [11]. Atualmente, os CAs são usados em tratamentos de purificação, tratamentos de água residencial, efluentes industriais, destoxificação para produção de xilitol, remoção de cor e odor, remoção de metais, redução de gases poluentes, como o monóxido de carbono e compostos orgânicos de baixa massa molecular [4, 11 - 13]. Desta maneira, o CA é um produto de grande interesse nos setores econômicos, em diversas áreas

tecnológicas e industriais, como, a alimentícia, farmacêutica, química, petrolífera, nuclear, automobilística, mineração, tratamento de água potável água industrial e ar atmosférico [11].

3.3 Carvão Ativado

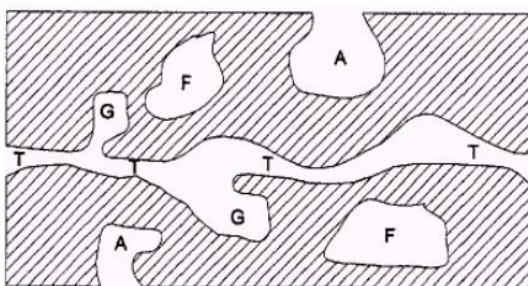
O CA pode ser preparado a partir de um material carbonáceo poroso, que possui estrutura cristalina, não grafítica, que irá sofrer um processo para aumentar a porosidade interna [3]. A porosidade estrutural e interconectividade representam as características mais importantes para a avaliação da capacidade de adsorção do CA. É devido a presença de microporos que temos as propriedades adsorptivas, isto porque, a quantidade adsorvida em material de macroporos é desconsiderada [10]. O CA pode ser classificado em 3 (três) tipos: granular (Gr), fibroso (F) e pó (P). Além disso, quando o CA é ativado obtém-se uma porosidade interna comparável a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores com elevada área superficial. Esta distribuição de tamanhos\porosidade pode ser classificada em: macro, meso e microporosidade [11, 12]. Porém, a distribuição e proporções variam de acordo com o material precursor e processo de fabricação utilizados [14].

A IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) estabelece a classificação da seguinte forma:

Quanto à forma: Utiliza-se a expressão de poro aberto ou fechado para determinar buracos\espaços em materiais sólidos. Os poros abertos são buracos\espaços que se comunicam (interconectividade) com a superfície externa, caso o mesmo permita o fluxo de um fluido, este poro será chamado de poro de transporte, podendo apresentar distribuições, i.e. braços, estes, não

contribuem para o fenômeno de transporte. Os poros fechados são buracos\espaços isolados, como representados na Figura 2 [11].

Figura 2 - Esquema demonstrativo da estrutura do carvão ativado (CA).



Fonte: COUTO 2009 [11].

Quanto a dimensão: Os *microporos* terão diâmetro menor que 2 nm, para os *mesoporos*, diâmetro entre 2 e 50 nm, por fim, para os *macroporos*, maiores que 50 nm.

Os tipos de poros nos carvões ativados são importantes porque orientam\determinam suas aplicações, desta maneira, os *microporos* são empregados na adsorção de moléculas com pequenas dimensões e baixa massa molecular [17].

A capacidade de retenção dos CAs ocorre nos *microporos*, estes representam 95% da área superficial do adsorvente, e 5% da área restante são para os *mesoporos* e *macroporos*. A função destes espaços com dimensões definidas, é permitir o transporte de moléculas no interior do material e sua retenção [10].

Tabela 1 – Principal função dos poros.

Tipo de poro	Função principal
<i>Microporos</i>	Contribuem para a maioria da área superficial proporcionando alta capacidade de adsorção para moléculas de dimensões pequenas. Exemplo: gases e solventes comuns.
<i>Mesoporos</i>	São importantes para a adsorção de moléculas grandes. Exemplo: Corantes e proporcional a maioria da área superficial para carvões impregnados com produtos químicos.
<i>Macroporos</i>	São considerados sem importância para a adsorção e sua função é servir como meio de transporte para moléculas gasosas.

Fonte: SOARES (2001) [15].

Figura 3 - Esquema simplificado da estrutura dos poros dos CAs.



Fonte: MANGUEIRA 2014 [16].

A capacidade de adsorver por uma superfície, deve-se a vários fatores de processo, como: ativação, granulometria, área superficial, densidade, pH, teor

de cinzas, estrutura interna dos poros, os grupos de superfície, dimensão dos poros e resistência mecânica [4].

3.4 Produção do Carvão Ativado

A preparação dos CAs depende especificamente de 2 (dois) processos, a pirólise e ativação. A pirólise ou carbonização, depende do tratamento térmico do precursor em atmosfera inerte, com uma temperatura acima de 200°C (473K). Esta etapa irá remover os componentes voláteis (H, N e O) e gases leves, como CO, H₂, CO₂ e CH₄ abrindo\desobstruindo os poros do CA [10,12].

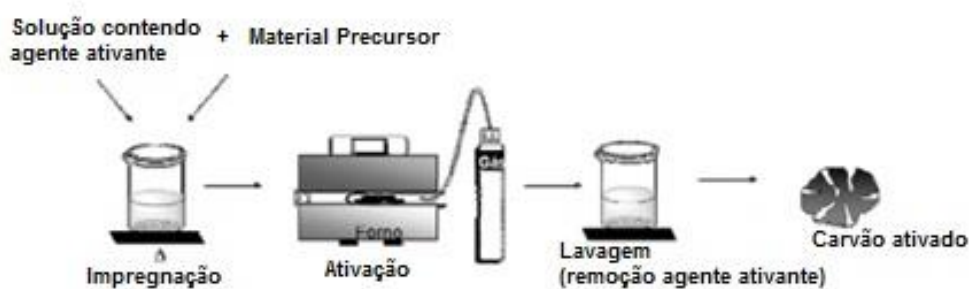
Esta etapa, pode ser realizada em fornos convencionais, por condução ou convecção, ou até em forno micro-ondas, no qual utiliza-se as ondas eletromagnéticas para transferência de calor. O forno micro-ondas, faz com que seu aquecimento gere menor perda de energia para o ambiente, ou seja, com economia de energia [10]. A ativação permite ao material carbonizado reações secundárias para que ocorra o aumento da área superficial e, em alguns casos alterações superficiais, a partir dos grupos químicos disponíveis. É nesta etapa, que irá ocorrer o aumento da porosidade do carvão. No processo de ativação será realizado o controle das características básicas do carvão, como distribuição de poros, área superficial específica, atividade química da superfície, etc, mas isto será feito de acordo com a configuração requerida para uma dada aplicação tecnológica do material [13, 18].

A ativação é um processo que converte um material de origem vegetal, animal ou mineral em adsorvente com elevada área superficial, além de aumentar o diâmetro dos poros e formar novos poros no material e facilitar a interconecção, evitando caminhos preferenciais. O objetivo principal da ativação

é a promoção de determinado material, pouco poroso ou até mesmo sem porosidade, aumentar a área superficial, porosidade e alterações superficiais, devido a oxidação dos átomos de carbono [17].

Os métodos mais utilizados para a preparação do carvão ativado, são as ativações química e física. A ativação química possui vantagens, como, o uso de menor temperatura durante a pirólise, maior rendimento, sendo este rendimento 30% maior que na ativação física. Também é possível obter um material com maior área superficial e interconectividade. Quando utiliza-se a ativação química, o material a ser ativado será impregnado antes da pirólise. Na impregnação, são utilizados reagentes tanto com propriedades ácidas, $ZnCl_2$, H_3PO_4 , HCl e H_2SO_4 , quanto com propriedade básicas, KOH e $NaOH$ e cada reagente proporciona um efeito na superfície do material [2, 13, 14]. Estes reagentes terão a função de desidratante inibindo a formação de alcatrão. Além disso, na ativação química a temperatura utilizada é próxima de $600^\circ C$, gerando uma alta eficiência na produção de CA [14, 17]. Após a pirólise, ocorre o processo de lavagem, utilizando água ou uma solução ácido-básica, expondo a estrutura porosa dos CAs [11].

Figura 4 - Figura representativa do processo de produção do CA.



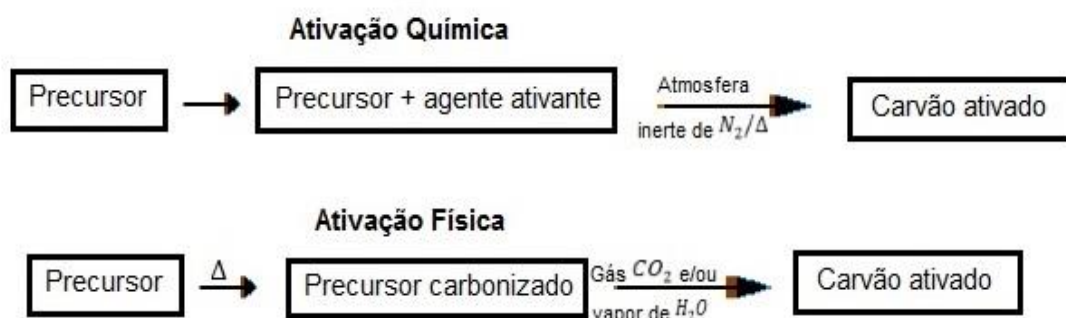
FONTE: Adaptado BOLIGON 2015 [19].

Na ativação física são empregados o vapor d'água, gás carbônico e oxigênio, que são gases oxidantes, além disso, utiliza-se uma faixa de temperatura alta, de 800°C (1073 K) a 1000°C (1273K) [18, 20]. Nesta etapa, ocorre a reação do carbono com o agente oxidante, produzindo óxidos de carbonos, ocasionando a remoção do material carbonáceo, criando a desobstrução dos poros e interconectividade no material e resulta em uma extensa estrutura porosa.

Este material é produzido com a utilização de atmosfera inerte, isto porque, evita que a matéria orgânica seja queimada, e ao mesmo tempo serve de meio de transporte para o calor, fazendo com que ocorra a decomposição térmica, ou seja, a quebra de ligações carbono-carbono formando ligações do tipo carbono-oxigênio [17].

A etapa da carbonização é a principal etapa que produzirá porosidade requerida e a ordenação da estrutura do material e desta maneira, ambos os fatores influenciam de forma conjunta na atividade do material carbonizado e na reação com os agentes gasosos de ativação [18]. Os parâmetros que determinam a qualidade e o rendimento do produto carbonizado, serão a taxa de aquecimento, a temperatura final, o fluxo de gás de arraste e a natureza da matéria prima [12].

Figura 5 - Esquema demonstrativo da ativação química e física.



Fonte: Adaptado PEREIRA 2010 [14]

A escolha de um material precursor pode ser qualquer material carbonáceo (rico em carbono), porém, a escolha desse material deve seguir alguns critérios como, baixo teor de componentes inorgânicos (cinzas), baixo custo e disponibilidade, não sofrer degradação na etapa de armazenamento, facilidade na etapa de ativação e produção de bons adsorventes [14]. Existem vários materiais que podem ser utilizados, por exemplo: casca do coco, o carvão mineral, madeira entre outros [11].

Os materiais que foram utilizados por muito tempo, foram os resíduos de petróleo, carvão natural e madeiras, porém, recentemente aumentou-se o interesse em produzir CAs de resíduos agroflorestais, como, cascas de dendê, cascas de amendoim, bagaço da cana-de-açúcar, grãos de sorgo, caroços de pêssego, de damasco, azeitona, grão de café e etc. A matéria-prima de biomassa é mais barata, renovável e é encontrada abundantemente. Estes são considerados resíduos e geralmente são um problema ambiental, ou seja, a sua utilização é importante para economia e uma solução para o meio ambiente [11, 12].

O agente ativante, Hidróxido de Potássio (KOH), utilizado na impregnação, é encontrado no estado sólido, possui coloração branca, pH 14 e alto ponto de ebulição e fusão. O KOH possui baixa temperatura de ativação e rendimento elevado, favorecendo a formação de estrutura *microporosa* e elevada área superficial [17]. A reação que ocorre com o material carbonoso, segue abaixo:

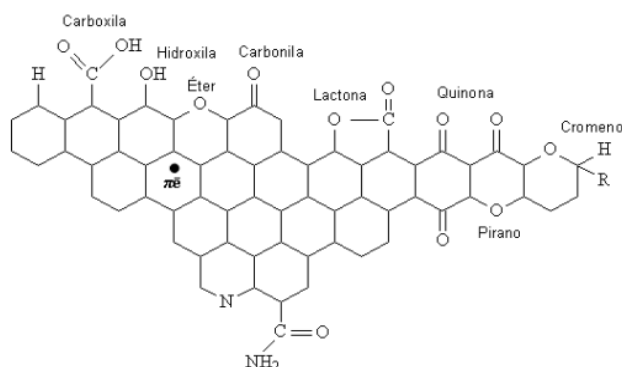


A estrutura do carvão ativado é constituída por uma base grafítica, no qual os vértices e bordas acomodam uma série de elementos, como oxigênio e hidrogênio, que se apresentam na forma de grupos funcionais. O principal átomo encontrado na rede de carbono, é o oxigênio, encontrado nos grupos funcionais da carbonila, carboxila, hidroxila e enóis. Estes grupos influenciam a reatividade e as propriedades de adsorção do material devido a interação com as moléculas de interesse [20]. Os grupos funcionais estão ligados com a reatividade e as propriedades de adsorção do material [17].

3.5 Grupos de superfície

A relação da presença de heteroátomos na superfície dos CAs pode ser devido ao precursor utilizado, ao método de ativação ou até mesmo a funcionalização (introdução de grupos químicos na superfície) posterior ao processo de fabricação. A temperatura influencia a forma de ligação, como por exemplo, a interação CA-molécula se realiza. Se a temperatura for aumentada, a quimissorção de oxigênio aumenta, as moléculas se dissociam, e esses átomos reagem com os átomos de carbono, formando os grupos de oxigênio. Os principais grupos de superfície em um CA são representados na Figura 6 [14].

Figura 6 - Figura simplificada dos grupos funcionais encontrados na superfície do CA.



Fonte: PEREIRA 2010 [14].

Na superfície existem diferentes grupos funcionais e características químicas, que podem ser classificadas em ácidas ou básicas. As ácidas são devido a funcionalidade do oxigênio, nos grupos carboxilas, lactonas e fenóis. As funções dos piranos, éteres, hidroxilas e carbonilas são responsáveis pelas características básicas [11].

3.6 Processo de adsorção

A adsorção é um fenômeno de superfície, no qual ocorre o aumento da concentração de um determinado constituinte em uma interface por 2 (duas) fases imiscíveis [22]. Os processos são utilizados para remoção de cor, odor, gosto em tratamentos de purificação de água, óleos, produtos farmacêuticos e efluentes. A fase condensada, conhecida por *adsorvente*, são estruturas materiais cuja superfície porosa interna é acessível para retenção\combinação seletiva com solutos de uma fase gasosa ou líquida. Alguns dos principais adsorventes comerciais são: o carvão ativo, aluminas, argilas, resinas orgânicas e adsorventes silicosos. Quando a substância ou solução têm suas partículas

adsorvidas na superfície da fase condensada é chamada de *adsorbato* ou *adsorvato* [23].

Esta adsorção pode ocorrer por 2 (dois) mecanismos, físico ou químico. A adsorção física, ou fisissorção, ocorre quando as forças intermoleculares entre as moléculas do fluido e a superfície do sólido são maiores do que as forças de atração entre as moléculas do fluido. Na adsorção química ou quimissorção, ocorre a interação química entre o fluido adsorvido e o sólido adsorvente, isto porque há a transferência de elétrons, formando um novo composto na superfície do sólido, há a formação de uma ligação química [14, 22].

3.7 Corantes

As indústrias, principalmente, as têxteis e de alimentos, utilizam corantes e pigmentos para colorir seus produtos, desta maneira, estima-se que são produzidos anualmente no mundo 7×10^5 e 1×10^6 toneladas de corantes artificiais. Esses corantes são descartados nos efluentes industriais. A remoção é importante, pois são considerados tóxicos para a vida aquática, afeta processos simbióticos, reduz a capacidade de (re)oxigenação da água, dificulta a passagem de luz solar e, conseqüentemente reduz a atividade fotossintética [24].

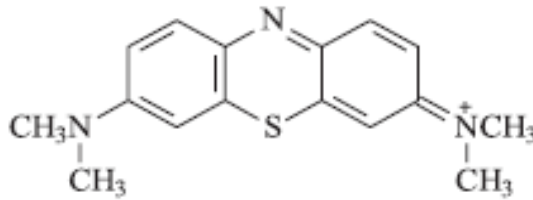
O processo de adsorção serve como uma alternativa para a remoção de corantes de efluentes, visto que, eles são de difícil tratamento porque são moléculas recalcitrantes, resistentes à digestão aeróbia e estáveis a agentes oxidantes, outro fato, é que quando os efluentes contêm baixa concentração de moléculas de corantes [24].

Pertinente às implicações ambientais são utilizados alguns processos de remoção e/ou degradação dos compostos em efluentes têxteis, como os oxidativos, como o tratamento de ozônio, fotocatalise heterogênea e via sistema Fenton, porém eles são considerados destrutivos e apresentam alguns inconvenientes. Portanto, vem crescendo o interesse pela busca de materiais alternativos e de baixo custo que possam ser utilizados, como adsorventes no tratamento dos efluentes [25].

Os corantes são classificados por suas cargas, sendo, corantes catiônicos (+) e aniônicos (-). Os corantes ácidos têm caráter aniônico e os mesmos são portadores de grupos sulfônicos. Já os corantes básicos possuem caráter catiônico [26].

Um dos corantes mais utilizados na indústria têxtil é o Azul de Metileno (AM), corante catiônico com grupos aminos (Figura 7). Este corante não é considerado muito tóxico, além disso é fácil de aplicar, possui durabilidade e boa resistência dos materiais, porém pode ocasionar vários efeitos nocivos à saúde (características cancerígenas e mutagênicas). Para sua remoção é utilizado o método de adsorção [10, 17]. O AM é um corante catiônico (+) solúvel em água. Apresenta intensa absorção na região do UV-Visível ($\lambda_{\text{máx}} = 665 \text{ nm}$) e propriedades semelhantes aos corantes têxteis, sendo de difícil degradação. Além disso, é utilizado também para a caracterização da capacidade de adsorver moléculas grandes [11].

Figura 7 - Estrutura molecular do corante catiônico Azul de Metileno.



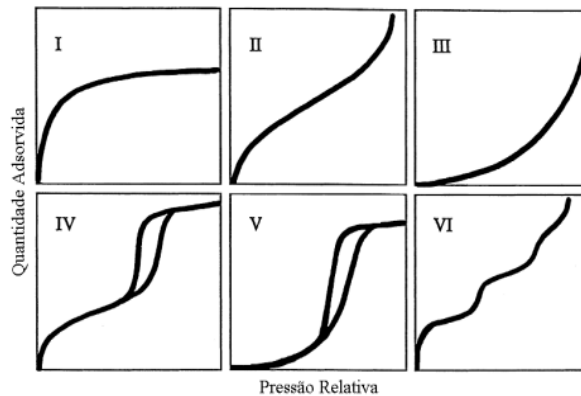
Fonte: OLIVEIRA, SAPAG E PEREIRA [2].

A resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), em sua resolução n. 357/05, retrata que nos corpos hídricos das classes 1, 2 e 3, não é permitido a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removidos nos processos de coagulação, filtração e sedimentação. A presença de certas propriedades nos corantes acaba dificultando e encarecendo o tratamento dos efluentes\águas residuais [10].

3.8 Isotermas de adsorção

A capacidade de adsorção é avaliada por meio de isotermas de adsorção. Estas isotermas, em função da temperatura, mostram a relação de equilíbrio entre a concentração da fase fluida e do adsorbato acumulado nas partículas adsorventes. As isotermas são representadas por expressões matemáticas (modelos matemáticos) que relacionam a quantidade adsorvida em função da pressão ou concentração, a uma dada temperatura. De acordo com a IUPAC as isotermas são representadas na Figura 8:

Figura 8 - Principais tipos de isotermas.



Fonte: PEREIRA 2010 [14].

Cada isoterma está relacionado com o tipo de poro envolvido na adsorção. A *isoterma I*, está relacionada com a adsorção em microporos. A *isoterma II*, são para sistemas não porosos. A *isoterma IV* mostra que a dessorção não coincide com a adsorção (histerese), típica em sistemas não porosos. A *isoterma III e V* são para interações muito fracas em sistemas adsortivos contendo macro e mesoporos. Por fim, a *isoterma VI* é obtida na adsorção de gás por um sólido não poroso [11, 14].

Quando ocorre o uso do CA, os principais fatores que influenciam o processo de adsorção são a área superficial, estrutura dos poros e as características químicas de superfície, ou seja, a presença de grupos funcionais e a temperatura no processo de adsorção [14].

A área superficial de materiais carbonáceos, aumenta com a oxidação dos átomos de carbono, ou seja, após a ativação, o carvão pode apresentar área superficial acima de $800 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ [12].

4. PARTE EXPERIMENTAL

4.1 Obtenção do carvão ativado

A obtenção do carvão ativado foi realizado com material alternativo, pecíolos de Buriti. A matéria prima foi coletada, seca e moída (Figura 9) sendo que todo este processo foi realizado manualmente, depois a mesma foi peneirada obtendo partículas de 0,30 mm.

Figura 9 - Foto ilustrativa do preparo da matéria prima.



Fonte: Autor, 2017.

O processo foi realizado de forma invertida por questões de economia de energia e tempo, por impregnação da matéria prima com hidróxido de potássio em diferentes relações mássicas matéria:agente ativante (1:1, 1:2 e 1:3) e, depois o material foi seco, em estufa, por 24 horas a 110°C.. O processo de ativação química foi realizado feito pelo hidróxido de potássio (KOH) também

utilizado para solubilização e retirada da lignina que une as fibras de celulose permitindo a abertura do material ligno-celulósico.

Após o processo de ativação, o material foi pirolisado, na mufla, Figura 10, em atmosfera inerte de nitrogênio na temperatura de 500°C por 3 horas. O material obtido foi lavado extensamente com água destilada até a obtenção de pH neutro na solução da lavagem (Figura 11). A amostra foi seca em estufa e guardado para análises e experimentos.

Figura 10 - Foto ilustrativa da pirólise do material.



Fonte: O autor, 2017.

Figura 11 - Foto ilustrativa da lavagem do CA.



Fonte: O autor, 2017.

4.2 Caracterização do material

Foram feitas as seguintes análises de caracterização, número de iodo, determinação de umidade e termogravimetria e calorimetria exploratória diferencial (TGA-DSC), adsorção usando o azul de metileno e espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR).

4.3 Número de iodo

O número de iodo foi determinado a partir da norma MB-3410 da ABNT. Foi preparada uma solução que continha 0,100 g de carvão ativado, 10 mL de ácido clorídrico 20% e foi agitado e aquecido, em chapa de aquecimento, até começar a ebulir. Depois de arrefecida, foi adicionada uma solução de iodo 0,100 mol L⁻¹ e esta solução foi filtrada em papel filtro. Descartaram-se os primeiros 20 mL e pipetou-se 50 mL para um erlenmeyer. Foi adicionada à solução indicadora de amido e foi titulada com o tiosulfato de sódio 0,500 mol L⁻¹ (Figura 12).

Figura 12 - Foto ilustrativa do sistema de titulação para determinação do número de iodo.



Fonte: Autor, 2017.

4.4 Caracterização por TGA-DSC

As análises de Termogravimetria e Calorimetria exploratória diferencial (TGA-DSC) foram realizadas no equipamento NETZSCH STA 449F3 com razão de aquecimento $20^{\circ}\text{C min}^{-1}$, em atmosfera de ar.

4.5 Adsorção usando o Azul de Metileno (AM)

Foi preparado uma solução estoque de 100 mg L^{-1} , depois foi preparado soluções diluídas com concentrações de $2,4 \text{ mg L}^{-1}$, $4,8 \text{ mg L}^{-1}$, $6,0 \text{ mg L}^{-1}$, $8,4 \text{ mg L}^{-1}$ e $10,2 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 13), para a construção de uma curva de calibração com 5 (cinco) pontos. As absorvâncias foram medidas com comprimento de onda de 664 nm .

Após a construção da Curva de Calibração, foi preparado soluções com diferentes concentrações (50 , 60 , 70 , 80 , 90 e 100 mg L^{-1}) e adicionou 10 mg de carvão ativado em um Erlenmeyer, estas soluções foram levadas para para agitação (Shaker) por 30 minutos a 160 rpm . Logo depois, as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 30 minutos, o sobrenadante foi retirado para a leitura das absorvâncias em um espectrofotômetro KASUAKI (Figura 14). A partir da curva de calibração foi determinada a concentração em cada frasco.

Figura 13 - Foto ilustrativa das soluções do corante azul de metileno utilizado para a construção da curva de calibração.



Fonte: O autor, 2017.

Figura 14 - Foto ilustrativa do espectrofotômetro UV/VIS Kasuaki.



Fonte: O autor, 2017.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Preparação do carvão ativado (CA)

A preparação do carvão ativado teve como objetivo obter as amostras de carvão ativado nas proporções matéria prima/agente ativante 1:1, 1:2 e 1:3, os quais foram caracterizados por técnicas instrumentais e clássicas como TG-DSC, UV-Vis e número de iodo, para obtenção do teor de cinzas, teor de umidade, capacidade de adsorção e análise dos grupos de superfície.

5.2 Caracterização por TGA-DSC

Os dados termogravimétricos TGA-DSC são mostrados na Figura 15 (a-d), nestas curvas observa-se as etapas de decomposição e teor de cinzas.

Analisando-se as curvas para a matéria prima e CA, nota-se que ambos possuem uma primeira etapa de decomposição em torno de 100°C, que é referente à água adsorvida, as quais foram de 5,31; 3,84; 3,83 e 3,36%, para os carvões 1:1, 1:2, 1:3 e para a matéria prima, respectivamente.

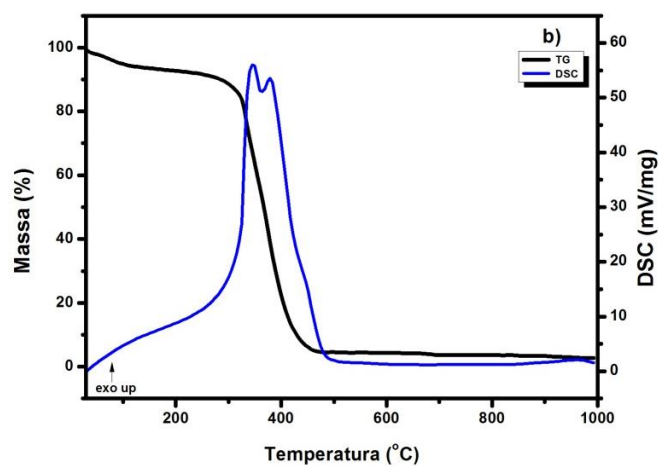
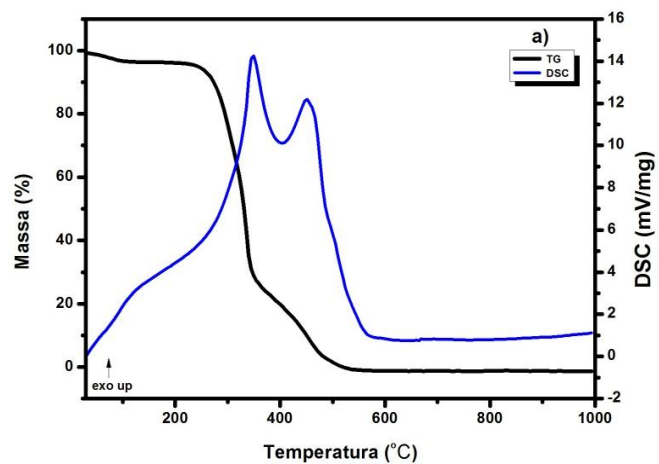
A norma EB - 2133/1991 retrata que a umidade dos carvões não deve ultrapassar 8%, isto porque carvões com alto teor de umidade apresentam um indicativo de superfície com elevadas quantidades de grupos químicos oxidados [17].

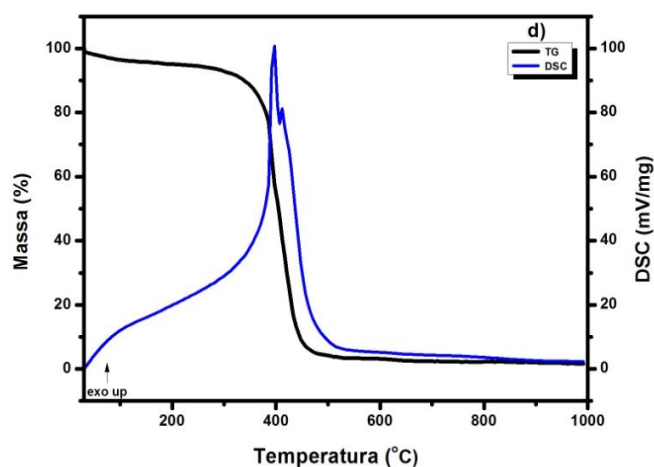
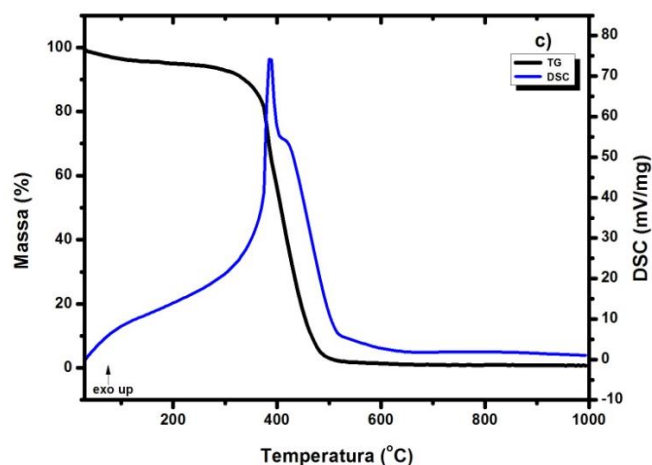
Após a primeira etapa de perda de massa, observa-se, para a matéria prima estabilidade térmica até aproximadamente 230°C, onde inicia a degradação da hemicelulose, com pico exotérmico na DSC em 436°C. A terceira, etapa, iniciando em 360°C, refere-se à decomposição da celulose, com perda de 96,05% e pico exotérmico em 390°C (DSC) leva a formação de resíduo de 0,5% (cinzas).

Durante a preparação do CA diversas impurezas minerais estão presentes, e estas são chamadas de cinzas, sendo resultado da combinação entre os materiais orgânicos e inorgânicos, que são provenientes da matéria-prima ou do processo de ativação.

Para os CA as perdas de massa ocorrem em uma única etapa iniciando em aproximadamente 315°C com perdas de 92,6; 96,0 e 95,3% para os CA 1:1, 1:2 e 1:3, respectivamente. As curvas TG-DSC para os CA têm perfis semelhantes. Isto sugere que arcabouço carbônico \ estrutura 3D para os adsorventes estudados são constituídos basicamente pelos mesmos grupos de superfície. Além do mais, os resíduos (cinzas) formados para os CA (1:1, 1:2 e 1:3) foram baixos, o que é desejável para esse tipo de adsorvente, 7,4; 3,7 e 4,7%, respectivamente. Desse modo, a capacidade adsortiva não será prejudicada, quando os teores de cinzas são baixos, pois os poros do material não ficam obstruídos.

Figura 15 - Curvas TG-DSC dos carvões ativados produzidos a 500°C, sob atmosfera inerte de N₂, razão de aquecimento de 20°C min⁻¹; a) matéria prima *in natura* b) CA 1:1 c) CA 1:2 d) CA 1:3.





5.3 Número de iodo

A quantidade de iodo adsorvido nos CA foram de 1114,5, 1061,4 e 1066,8 mg g⁻¹ para as amostras 1:1, 1:2 e 1:3, respectivamente. Portanto, sabendo que o número de iodo está intrinsecamente ligado à quantidade de microporos dos CA, bem como com a capacidade de adsorver pequena moléculas, pode-se então, estimar que os CA 1:1; 1:2 e 1:3 possuem praticamente a mesma eficiência. Portanto, a porcentagem empregada de agente ativante parece não ter influenciado no aumento de porosidade dos materiais obtidos.

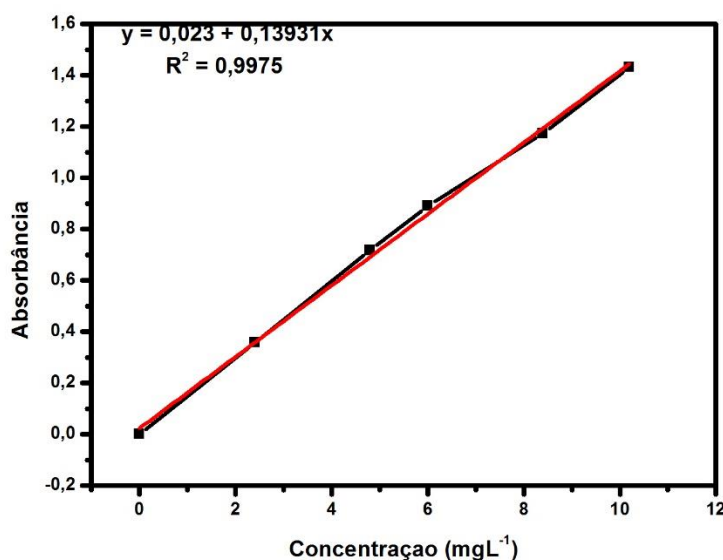
5.4 Adsorção usando o corante Azul de Metileno (AM)

As isotermas de adsorção mostram a relação entre a substância adsorvida por unidade de adsorvente, como também a efetividade de adsorver

as moléculas presentes em solução o que permite determinar a capacidade de adsorção do material.

Para a adsorção do Azul de Metileno foi construída uma curva de calibração para determinar a concentração do corante Azul de Metileno (AM) quando em contato com os carvões ativados (CAs).

Figura 16 - Curva analítica para o Azul de Metileno.



A partir da Curva de Calibração, foi determinada a concentração do Azul de Metileno nas amostras dos carvões ativados (CAs) (1:1, 1:2 e 1:3).

A molécula do corante catiônico (+) Azul de Metileno também foi empregada como adsorbato para experimentos de adsorção em fase líquida para estimar a mesoporosidade dos CA, ou seja, quanto maior o índice de AM, maior será a capacidade de adsorção de moléculas em poros de tamanhos intermediários.

Os dados obtidos para as adsorções com o AM são mostrados na Tabela 2. A partir desses resultados é possível notar que a capacidade de adsorção dos CAs para o corante AM é baixa para todos os adsorventes (1:1; 1:2 e 1:3).

Notadamente, por essa capacidade de adsorção dos CA frente ao AM, sugere-se, então, de maneira qualitativa que o material obtido empregando agente ativante KOH e pirolisado a 500°C foram obtidos predominantemente com estruturas *microporosas*. Este material pode ser proposto e adequado à adsorção de gases, pequenas moléculas e íons metálicos ou não metálicos.

A ativação com KOH proporciona grupos funcionais básicos (-) na superfície dos CAs, assim o Azul de Metileno (+), pode interagir com a superfície dos CAs por meio de sítios carregados negativamente (-) com grupos hidroxilados.

Tabela 2 - Resultados da quantidade de adsorção do azul de metileno nos carvões ativados.

Carvão ativado	Concentração (mg L⁻¹)	Quantidade adsorvida (mg L⁻¹)
1:1	50	24,91
	60	29,93
	70	34,96
	80	39,93
	90	44,92
	100	49,00
1:2	50	24,37
	60	29,54
	70	34,58
	80	39,48
	90	44,28
	100	49,46
1:3	50	24,32
	60	26,95
	70	34,65
	80	39,46
	90	44,55
	100	49,90

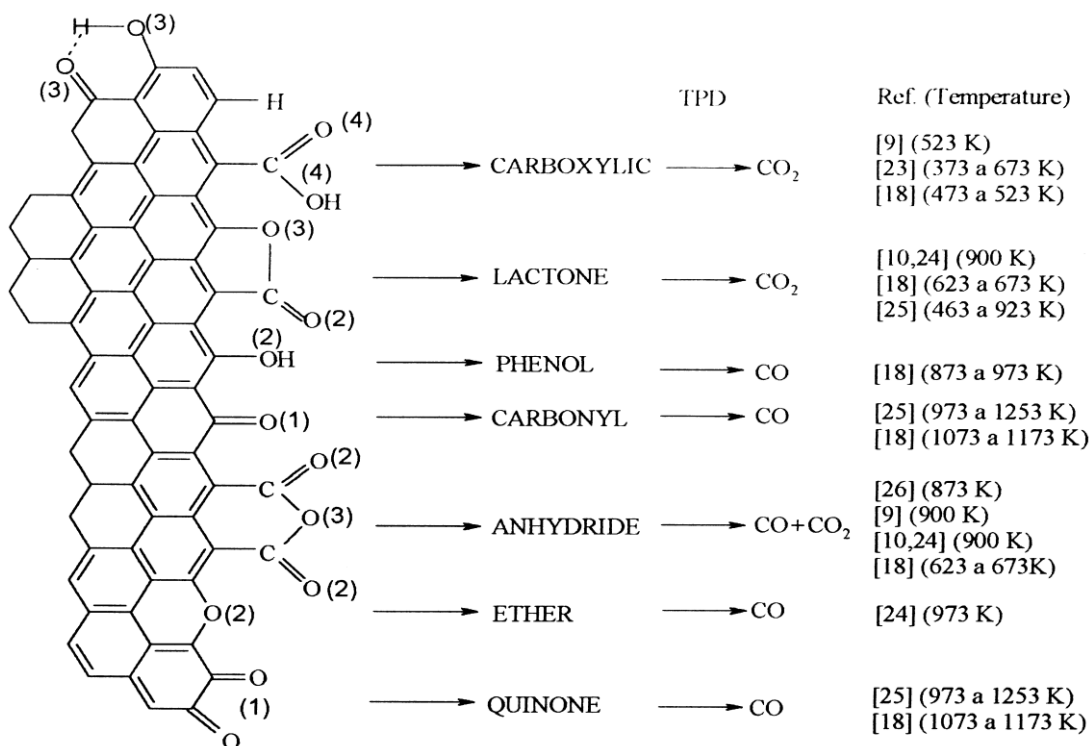
5.5 Grupos de superfície dos CA

Os grupos de superfícies mais comumente encontrados nos CAs são de ácidos carboxílicos, fenóis, lactonas, aldeídos, cetonas, quinonas, anidridos carboxílicos, éteres, entre outros (Figura 17). No entanto, como os adsorventes em estudo foram produzidos em temperatura relativamente alta (500°C), os grupos de superfície mais prováveis de serem encontrados no material carbonoso (matriz carbônica) são grupos como lactonas, quinonas e carbonil que precisam de temperaturas mais elevadas para se decompor, conforme ilustrados pela Figura 18 [16].

Nos grupos funcionais dos CAs, há a presença do elemento oxigênio, o qual, está com pares de elétrons livres e o adsorbato, tem grupos com carga positiva, ou seja, pobre em elétrons, desta maneira, é possível que ocorra a interação entre eles. A interação que acontece, é química, isto porque, as moléculas do adsorbato interage com a superfície do sólido adsorvente, além disso, envolveu o compartilhamento e a transferência de elétrons entre adsorbato e o adsorvente.

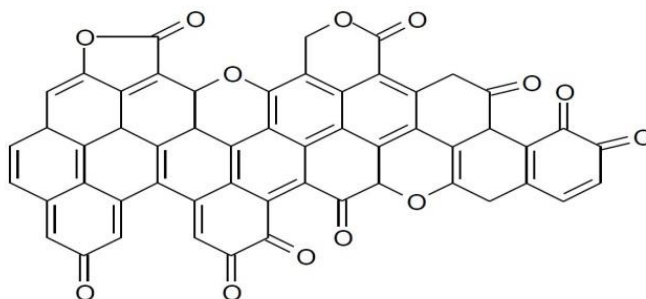
Caso as cargas do adsorvente e do adsorbato sejam iguais, ocorreria uma repulsão eletrostática, sendo possível ver a partir do ponto de carga zero. Também, ocorreu uma interação ácido-base, já que, os grupos de superfície do adsorvente possuem uma característica ácida e o do adsorbato, é básico.

Figura 17 – Estrutura representativa da matriz carbônica com os grupos funcionais e sua respectiva temperatura.



Fonte: FIGUEIREDO *et al* 1999 [27].

Figura 18 - Estrutura representativa da matriz carbônica com os prováveis grupos de superfície presentes nas amostras de carvão ativado produzidos a 500°C.



6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados experimentais obtidos das curvas TGA-DSC pode-se determinar a estabilidade térmica do material, bem como o teor\conteúdo de cinzas (óxidos metálicos), o qual estão abaixo de 10% (7,4% (1:1), 3,7% (1:2) e 4,7% (1:3)). Sugere-se a partir dos resultados experimentais que estes CAs não sejam capazes de influenciar na capacidade de adsorção do material. Além disso, é possível observar que os materiais produzidos têm o mesmo comportamento térmico o que sugere, fortemente, que os grupos de superfície para todos os CA são aproximadamente os mesmos.

Os dados inerentes à capacidade de adsorção dos CAs determinados pelo número de iodo e Azul de Metileno mostraram excelente correlação, uma vez que, as capacidades máximas de adsorção de todos os materiais determinadas em ambas as técnicas têm valores muito próximos para os CA 1:1, 1:2 e 1:3.

Para obtenção de melhores resultados, seria ideal determinar o pH do ponto de carga zero visto que seria possível conhecer o comportamento das moléculas, dos grupos de superfície e suas cargas elétricas, o qual permitirá determinar qual faixa de pH o adsorvente terá maior capacidade em adsorver o corante.

Conclui-se, então, a partir das caracterizações e experimentos realizados que o aumento da proporção de agente ativante não influenciou no aumento da porosidade do material e na sua capacidade adsortiva. Portanto, do ponto de vista custo-benefício o CA 1:1 produzido a 500°C seria uma proposta viável para

atender requisitos ambientais e econômico do aproveitamento dessa biomassa do Cerrado para propósitos tecnológicos.

7. REFERÊNCIAS

- [1]. ZUNZ, A.; ZAMORA, P. P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, n.1, p. 78-82, 2002.
- [2]. PEREIRA, E.; OLIVEIRA, L. C. A.; VALLONE, A.; SAPAG, K.; PEREIRA, M. Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de FeCl₃ como agente ativante. **Química Nova**. v. 31, n. 6, p. 1296-1300, 2008.
- [3]. RAMOS, P. H.; GUERREIRO, M. C.; RESENDE, E. C.; GONÇALVES, M. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do Café. **Química Nova**. v. 32, n. 5, p. 1139-1143, 2009.
- [4]. MUSSATO, S. I.; ROBERTO, I. C. Avaliação de diferentes tipos de carvão ativo na destoxificação de hidrolisado de palha de arroz para a produção de xilitol. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas. jan. mar. 2004.
- [5]. BRUM, S. S.; Bianchi, M. L.; Silva, V. L.; Gonçalves, M.; Guerreiro, M. C.; Oliveira, L. C. A. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Química Nova**, v. 31, p. 1048-1052, 2008.
- [6]. ANDRADE, C. A. **Preparação e caracterização de carvão ativado a partir de material alternativo lignocelulósico**. Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2014, 65p.
- [7]. SPERA, M. R. N.; CUNHA, R.; TEIXEIRA, J. B. Notas Científicas: Quebra de dormência, viabilidade e conservação de sementes de buriti (*Mauritia flexuosa*). **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, n. 12, p. 1567-1572, dez 2011.

- [8]. SAMPAIO, M. B. Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do buriti. **Instituto Sociedade, População e Natureza**, v. 2, p. 80, 2011.
- [9]. SILVA, D. S. A, et al. Adsorção do corante têxtil Azul Remazol por pecíolo de buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.). **Cad. Pesq.**, São Luís, v. 19, n. especial, jul. 2012.
- [10]. LIMA, H. H. S. **Tratamento físico-químico da vinhaça por coagulação e adsorção em carvão ativado do bagaço da cana de açúcar**. João Pessoa - Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental - UFPB, 2013. Dissertação de Mestrado, 84p.
- [11]. COUTO, G. M. **Utilização da serragem de *Eucalyptus sp.* na preparação de carvões ativados**. Lavras - MG, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira - UFLA, 2009. Dissertação de Mestrado, 89p.
- [12] CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. UFSC. Florianópolis, 2003, 101p.
- [13]. SCHNEIDER, E. L. **Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado**. Toledo - PR, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - UNIOESTE, 2008. Dissertação de Mestrado, 79 p.
- [14]. PEREIRA, E. I. **Produção de carvão ativado a partir de diferentes precursores utilizando $FeCl_3$ como agente ativante**. Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, UFLA, Lavras, 2010, 90p.
- [15]. SOARES, A. G. **Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina**. Programa de Pós-Graduação em Física, Unicamp, Campinas, 2001. Tese de Doutorado, 154p.

- [16]. MANGUEIRA, E. S. V. **Produção de carvão ativado a partir de endocarpo de coco da baía (*Cocos nucifera*) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuizín.** João Pessoa - PB. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental - UFPB, 2014. Dissertação de Mestrado, 103 p.
- [17]. OLIVEIRA, G. F. **Produção de carvão ativado a partir do pecíolo do babaçu.** Dourados - MS, Programa de Pós-Graduação em Química - UFGD, 2016. Dissertação de Mestrado, 86p.
- [18]. PIZA, A. V. T. **Avaliação da capacidade adsortiva de carvões ativados para a remoção de diuron e hexazinona.** Dissertação de mestrado - Departamento de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto, 2008.
- [19]. BOLIGON, J. **Produção e caracterização de carvão ativado a partir da borra de café solúvel.** Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. Londrina - PR, UTFPR, 2015. Dissertação de Mestrado, 87p.
- [20]. ROCHA, W. D. et al. Adsorção de cobre por carvões ativados de endocarpo de *Noz Macadâmia* e de Semente de Goiaba. REM: R. Esc. p. 409-414, 2006.
- [21]. GUILARDUCI, V. V. S. et al. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. **Química Nova na Escola.** v. 29, p. 1226-1232, 2006.
- [22]. FERNANDES, F. L. **Carvão do endocarpo de coco da Bahia ativado quimicamente com $ZnCl_2$ e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon**

Cloreto. Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008, 116p.

[23]. ATKINS, P.; PAULA, J. Físico-Química. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

[24]. DOTTO, G. L. et al. Remoção dos corantes Azul Brilhante, Amarelo Crepúsculo e Amarelo Tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra Diatomácea, quitina e quitosana: Estudos de Equilíbrio e Termodinâmica. **Química Nova na Escola**. v. 34, p. 1193-1199, 2011.

[25]. DALLAGO, R. M.; SMANIOTTO, A. Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. **Química Nova na Escola**. v. 28. p 433-437, 2005.

[26]. CARVALHO, T. E. M. Adsorção de corantes aniônicos de solução aquosa em cinza leve de carvão e zeólita de cinza leve de carvão. Dissertação de Mestrado, 119p. Programa de Pós-Graduação em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais, Ipen, São Paulo, 2010.

[27]. FIGUEIREDO, J. L.; PEREIRA, M. F. R.; FREITAS, M. M A.; ÓRFÃO, J. J. M. Modification of the surface chemistry of activated carbons. **Carbon** 37, 1379-1389, 1999.