



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

LARISSA TAVARES ESQUERDO

**PIRÓLISE DA CASCA DE BURITI E ATIVAÇÃO TÉRMICA DE SEU CARVÃO
VEGETAL PARA USO COMO ADSORVENTE NA ADSORÇÃO DO COBRE II**

ANANINDEUA
2019

LARISSA TAVARES ESQUERDO

**PIRÓLISE DA CASCA DE BURITI E ATIVAÇÃO TÉRMICA DE SEU CARVÃO
VEGETAL PARA USO COMO ADSORVENTE NA ADSORÇÃO DO COBRE II**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade
Federal do Pará, em cumprimento as exigências para
a obtenção do Grau de Bacharel em Ciência e
Tecnologia – Ênfase em Tecnologia Mineral.

Orientador: Prof. Msc. Alacid do S. Siqueira Neves.

Coorientador: Bel. Brenda Thayssa Figueira Daniel

ANANINDEUA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

E74p Esquerdo, Larissa Tavares
 Pirólise da casca de buriti e ativação térmica de seu carvão
 vegetal para uso como adsorvente na adsorção do cobre II / Larissa
 Tavares Esquerdo. — 2019.
 71 f. : il. color.

 Orientador(a): Prof. Me. Alacid do Socorro Siqueira Neves
 Coorientador(a): Prof. Brenda Thayssa Figueira Daniel
 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Ciência
 e Tecnologia, Campus Universitário de Ananindeua, Universidade
 Federal do Pará, Ananindeua, 2019.

 1. Pirólise. 2. Carvão Ativado. 3. Adsorção. 4. Casca do
 Buriti. I. Título.

CDD 541.335

LARISSA TAVARES ESQUERDO

**PIRÓLISE DA CASCA DE BURITI E ATIVAÇÃO TÉRMICA DE SEU CARVÃO
VEGETAL PARA USO COMO ADSORVENTE NA ADSORÇÃO DO COBRE II**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Ciência e Tecnologia da
Universidade Federal do Pará, em cumprimento
as exigências para a obtenção do Grau de
Bacharel em Ciência e Tecnologia – Ênfase em
Tecnologia Mineral.

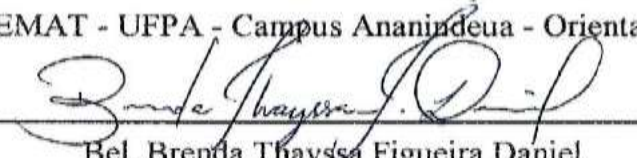
Data da Avaliação: 16 / 07 / 2019

Conceito: EXCELENTE

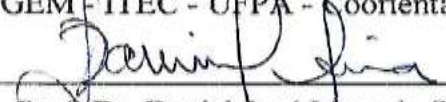
BANCA EXAMINADORA:



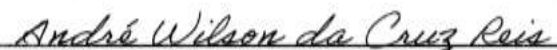
Prof. Msc. Alacid do Socorro Siqueira Neves
(FEMAT - UFPA - Campus Ananindeua - Orientador)



Bel. Brenda Thayssa Figueira Daniel
(PPGEM - ITEC - UFPA - Coorientador)



Prof. Dr. Daniel José Lima de Sousa
(FCT - CANAN - UFPA - Membro)



Prof. Msc. Eng. André Wilson da Cruz Reis
(PRODERNA - ITEC - UFPA - Examinador Externo)

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, meu guia, socorro presente n hora da angústia, ao meu pai Teles, minha mãe Sinamor, aos meus irmãos, aos meus professores e colegas que me ajudaram na conclusão da monografia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu saúde e força para superar as dificuldades existentes na graduação todos os dias, não deixando faltar motivação e coragem ao longo da minha vida.

A toda a minha família em geral pelo apoio incondicional e dedicação, ao meu Pai Lucival Esquerdo, que sempre tentou me ajudar o máximo possível, seja para deixar a comida pronta antes de eu sair, seja para me levar e buscar em todos os lugares que eu vá; a minha mãe Sinamor Esquerdo, que sempre priorizou e incentivou a minha educação para que eu pudesse conquistar tudo que tenho hoje; a minha irmã Alessandra que sempre foi minha principal ouvinte e me acompanhou incontáveis madrugadas, enquanto eu estudava; a minha princesa Laura, que é de longe a pessoa que mais amo e com a sua delicadeza, conseguia acabar com qualquer estresse e tristeza que eu poderia trazer; ao meu irmão Hugo (in memoriam), que muitas vezes agiu como meu pai, me buscando na faculdade e sempre me incentivava a estudar, comemorou muito a minha entrada no ensino superior e tenho certeza que ele está feliz pelo meu sucesso. Aos meus amigos Jéssica Penha, Kevenn Dantas, Dorivane Farias e Savio Nunes, que sempre escutaram minhas lamentações e me forçaram incontáveis vezes a terminar o curso.

Aos amigos de coração que conquistei neste curso, apesar de cada um ter seguido seu próprio caminho, o amor e a amizade prevaleceram, e obrigada pelos momentos memoráveis.

Às amigas que ganhei no LABEM (Laboratório de Engenharia Mecânica), local onde estagiei e obtive grandes aprendizados, em especial o Prof. Disterfano Barbosa, por sempre ter me ajudado a conseguir o que precisava no curso, ao Kelvin Pinheiro, meu orientador e Jéssica Bezerra, minha supervisora.

Ao meu amigo, conselheiro, ouvinte, Yuri Leon, que participou ativamente no desenvolvimento deste trabalho sem medir esforços, com dedicação, compreensão, carinho e amor, e por me ajudar muitas vezes a achar soluções quando elas pareciam não aparecer. Você foi à pessoa que compartilhou comigo todos os momentos de tristeza e alegria. Muito obrigada pela sua amizade, companheirismo, sua ajuda e apoio durante esses anos de curso.

Ao meu Orientador Professor Msc. Alacid Neves e a Coorientadora Brenda Daniel, pela confiança, amizade, ensinamentos e dedicação concedida no desenvolvimento deste trabalho, no suporte no pouco tempo que lhes coube, pelas suas correções e incentivos.

Ao corpo docente e técnico da Faculdade de Ciência e Tecnologia.

Ao Secretário Josivan Franca, pela amizade e empenho de sempre ajudar no que fosse possível nas resoluções de problemas envolvendo a faculdade.

Ao bibliotecário Erik Pires, pela amizade, carinho, apoio e paciência durante todo período do curso, sua ajuda foi inestimável.

Aos laboratórios de análises da UFPA e IFPA, que ajudaram a caracterizar os materiais para esta pesquisa.

Enfim, a todas as pessoas que contribuíram de forma direta ou indiretamente para o desenvolvimento da concretização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho visa a pirólise da casca do fruto, resíduo do processamento do buriti *Mauritia Flexuosa*, para produção de carvão vegetal, sua ativação térmica e a caracterização do carvão vegetal e do carvão ativado obtido em diferentes temperaturas, bem como o desempenho do processo de adsorção. A pirólise foi realizada em forno mufla a temperatura de 800°C, em seguida o produto obtido foi pulverizado e submetido ao processo de ativação térmica nos tempos de 1, 2 e 3 horas, respectivamente, com a finalidade, de realizar a ativação térmica do carvão vegetal. O carvão ativado obtido foi submetido a ensaios de adsorção por 60 min utilizando uma solução de Cu II para promover o contato e a adsorção do adsorbato Cu (II) pelo carvão ativado e também para avaliar a capacidade de adsorção dos carvões ativados produzidos. A qualidade do carvão ativado dependerá do tempo de ativação, carbono fixo, massa específica e teor de cinzas adequado para a porosidade do material. Deste modo, o carvão vegetal e o carvão ativado obtido, foram caracterizados por meio de análises em MEV, DRX, EDS E FRX e as soluções do ensaio de adsorção foram analisadas por Espectrofotometria de Absorção Atômica. Com base nessas caracterizações, o melhor carvão ativado produzido foi o de 1 h. Isto fica evidente nos resultados da composição química imediata, onde se apresentou como destaque nos cálculos de rendimento (60%), material volátil (40%), teor de cinzas (7,38%) e carbono fixo (52,62%), bem como as demais caracterizações do (MEV-EDS), no qual a morfologia foi capaz de identificar a presença de poros na estrutura de forma homogênea entre os matérias (CVCB, CACB1H, CACB2H e CACB3H), onde essa abertura porosa acontece com a eliminação do material volátil e é proporcional ao tempo de ativação; ademais, a análise do espectro confirmou a presença do elemento carbono (C) em sua composição. Verificou-se pelas análises do FRX e DRX a presença de quartzo e silvina, composição característica de carvão de origem orgânica Logo, a casca do buriti atual como uma interessante alternativa para a produção do carvão ativado, ajudando na redução dos impactos que esses resíduos podem gerar no meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Pirólise, Carvão Ativado, Adsorção, Casca do Buriti.

ABSTRACT

This work aims to peel the fruit, pyrolysis residue from processing the buriti *Mauritia Flexuosa*, for production of charcoal, your thermal activation and characterization of charcoal and activated carbon obtained at different temperatures, as well as the performance of the adsorption process. Pyrolysis was held on muffle oven the temperature of 800° C, then the product obtained was cominution and subjected to thermal activation process in times of 1, 2 and 3 hours, respectively, with the purpose to carry out thermal activation of charcoal. Activated charcoal obtained was subjected to adsorption tests for 60 min using a solution of Cu (II) to promote the contact and the adsorption of Cu (II) adsorbate by activated carbon and also to evaluate the adsorption capacity of activated coals produced. The quality of the activated charcoal depends on the activation time, fixed carbon, density and ash content suitable for the porosity of the material. In this way, the charcoal and activated carbon were obtained was characterized through analysis on SEM, XRD, EDS and FRX and adsorption test solutions were analyzed by Atomic absorption spectrophotometry AAS. Based on these characterizations, the best activated carbon produced was that of 1:00. This is evident in the results of the chemical composition, where she performed as featured in the calculations of income (60%), volatile material (40%), ash content (7.38%) and fixed carbon (52.62%), as well as the other characterizations of (SEM-EDS), in which the morphology was able to identify the presence of pores in the homogeneous form between the substances (CACB1h, CACB2H, CVCB and CACB3H), where this is the case with porous opening elimination of volatile material and is proportional to the time of activation; Furthermore, spectrum analysis confirmed the presence of the element carbon (C) in your composition. It was found by analyses of the FXR and DRX the presence of quartz and silvina, composition of coal characteristic of organic origin Soon, the bark of the buriti current as an interesting alternative to the production of activated carbon, helping in the reduction of impacts that such waste can generate in the environment.

KEY WORDS: Pyrolysis, Activated Carbon, Adsorption, Buriti bark.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Buritizeiro.....	18
Figura 2 - Fruto Buriti.....	19
Figura 3 – Divisão do Fruto de Buriti.....	20
Figura 4 - Localização das Reservas de Carvão Mineral no Brasil.....	21
Figura 5 - Processo de Formação do Carvão.....	22
Figura 6 - Diferenças entre o Carvão Mineral e Vegetal.....	23
Figura 7 – Áreas de Contaminação.....	32
Fluxograma 1 - Metodologia Aplicada.....	36
Fotografia 1 - Casca de Buriti Limpas.....	37
Fotografia 2 - Casca de Buriti Seca.....	38
Fotografia 3 - a) Carvão Vegetal da Casca de Buriti e b) armazenamento.....	38
Fotografia 4 - Carvão Vegetal pulverizado.....	39
Fotografia 5 - Carvão Granulado.....	40
Fotografia 6 - a) Cadinho tampado; b) CACB3H dentro do cadinho.....	40
Fotografia 7 - Ensaio da Adsorção.....	46
Fotografia 8 - Armazenamento do Ensaio Absortivo.....	46
Figura 8 - Micrografia do CVCB.....	52
Figura 9 - Micrografia do CACB1H.....	53
Figura 10 – Micrografia do CACB2H.....	54
Figura 11 - Micrografia do CACB3H.....	55
Figura 12 - EDS do CVCB.....	56
Figura 13 - EDS do CACB1H.....	57
Figura 14 - EDS do CACB2H.....	57
Figura 15 - EDS do CACB3H.....	58
Difratograma 1 - CVCB.....	59
Difratograma 2 - CACB1H.....	59
Difratograma 3 - CACB2H.....	60
Difratograma 4 - CACB3H.....	60

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos poros de um adsorvente.	2
Tabela 2 - Propriedades do Cobre.....	2
Tabela 3 - Limite Máximo do Cobre em Classes de Água.	2
Tabela 4 - Rendimento e Material Volátil do Carvão Vegetal e Ativado.	2
Tabela 5 - Resultado do Teor de Cinza em Porcentagem.	2
Tabela 6 - Carbono Fixo do Material.....	2
Tabela 7 – Resultado Médio da Massa Específica.	2
Tabela 8 - Resultado Médio da Massa Específica Aparente.	2
Tabela 9 - Porosidade do Material Produzido	2
Tabela 10- FRX da Amostra Estudada	2
Tabela 11 - Percentual de Remoção de Cu (II)	2
Tabela 12 – pH médio do CACB.....	2

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM.....	American Society for Testing and Materials
ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CVCB.....	Carvão Vegetal da Casca de Buriti
CACB.....	Carvão Ativado da Casca de Buriti
PH.....	Potencial Hidrogeniônico
CM.....	Carvão Mineral
CV.....	Carvão Mineral
CA.....	Carvão Ativado
Cu.....	Cobre
µm.....	micrômetro
g.....	grama

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	2
1.1	Justificativa	2
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Objetivo Geral	2
1.2.2	Objetivos Específicos.....	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1	Buruti	2
2.1.1	Características Gerais.....	2
2.1.2	Frutificação.....	2
2.1.3	Resíduo de Buriti	2
2.2	Tipos de Carvão	2
2.2.1	Carvão Mineral (CM).....	2
2.2.2	Carvão Vegetal (CV)	2
2.2.2.1	Produção do Carvão Vegetal.....	2
2.3	Carvão Ativado (CA)	2
2.3.1	Processos de Ativação	2
2.3.1.1	Ativação Química	2
2.3.1.2	Ativação Física.....	2
2.4	Propriedades Físicas do Carvão Ativado	2
2.4.1	Porosidade	2
2.5	Adsorção.....	2
2.5.1	Tipos de Adsorção	2
2.6	Efluentes Industriais	2
2.6.1	Metais Pesados.....	2
2.7	Cobre (Cu).....	2
3	METODOLOGIA.....	2
3.1	Produção do carvão ativado	2
3.1.1	Material precursor – Casca de Buriti	2
3.1.2	Preparação da matéria – prima	2
3.1.3	Processo de pirólise para carbonização	2
3.1.4	Processo de pulverização.....	2

3.1.5	Processo de classificação por peneiramento.....	2
3.1.6	Processo de ativação	2
3.2	Caracterização dos carvões vegetal e ativado	2
3.3	Ensaio de adsorção	2
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	2
4.1	Caracterização dos carvões.....	2
4.1.1	Composição química imediata.....	2
4.1.2	Teor de cinzas (TC).....	2
4.1.3	Carbono fixo	2
4.1.4	Massa específica	2
4.1.5	Massa específica aparente	2
4.1.6	Porosidade	2
4.1.7	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	2
4.1.8	Espectroscopia de energia dispersiva (MEV-EDS)	2
4.1.9	Difração de Raios – X (DRX)	2
4.1.10	Fluorescência de Raio – X (FRX).....	2
4.2	Espectrofotômetro de absorção atômica	2
4.2.1	Determinação do pH	2
5	CONCLUSÃO.....	2
6	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	2
	REFERÊNCIAS.....	2

1 INTRODUÇÃO

Toda e qualquer atividade econômica possui estreita vinculação com o meio ambiente. Esta associação pode ser observada com o aumento da demanda sobre bens e serviços ambientais, a exemplo de água, solo e biodiversidade; geração de resíduos e processos poluentes, como a indústria de produtos químicos e resíduos da mineração (PEZOTI et al., 2014)

Países desenvolvidos e subdesenvolvidos estão sofrendo com a crescente poluição do meio ambiente, pois tal relação decorre de um rápido crescimento econômico associado à exploração de recurso natural. Ao lado das crescentes dificuldades provocadas por esse tipo de contaminação, estão os processos utilizados para extrair matérias-primas e para transformá-las em produtos para fins de consumo em elevada escala (SILVA, 2016).

O desenvolvimento industrial das últimas décadas tem sido um dos principais responsáveis pela contaminação do meio ambiente, seja devido à negligência no tratamento de seus efluentes ou mesmo por acidentes cada vez mais frequentes que propiciam o lançamento de muitos poluentes no meio ambiente. “Dentre os diversos tipos de poluentes, os metais pesados têm sido mais estudados, pois alguns são extremamente tóxicos para o organismo humano, mesmo em concentrações muito baixas” (SALVADOR, 2009). Os metais pesados são elementos químicos metálicos, de peso atômico alto, que são encontrados na natureza em diversos minérios.

Dentre os metais pesados que apresentem grandes preocupações ambientais, estão o Cu (Cobre), Ag (Prata), Cr (Cromo), Cd (Cádmio), Co (Cobalto), Mn (Manganês) e Pb (Chumbo), produzidos pelas diferentes atividades tecnológicas, levando a necessidade de serem removidos dos efluentes industriais. “Os metais podem estar presentes como íons-livres ou complexos organo-minerais solúveis ou adsorvidos às partículas sólidas” (PEZOTI et al., 2014); diante do caráter tóxico por parte de alguns metais, fez-se necessário o estabelecimento de normas para o descarte de efluentes.

No Brasil, segundo a Resolução nº 357 do CONAMA o lançamento de despejos de efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderá ser feito, direta ou indiretamente, nos corpos de água de classe 1 a 8, desde que atendam às condições dispostas na resolução, e não venham fazer com que os limites estabelecidos para as respectivas classes sejam ultrapassados. (BRASIL, 2006).

A água, para o abastecimento público, muitas vezes requer um tratamento complementar, com objetivo de remover algumas substâncias causadoras de sabor, cor e odor

na mesma, geralmente ocasionada pelos metais pesados. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a maioria das substâncias tóxicas presentes na água pode ser adsorvida pelo carvão ativado, sendo que no processo de adsorção as moléculas do adsorvato são transferidas para a superfície do adsorvente, permanecendo aí retidas, ou seja, ficam retidas nos poros do carvão ativado.

Marrara (2005), cita que a filtração lenta é um processo que representa uma opção tecnológica para o tratamento de água, onde vários estudos estão sendo realizados para avaliação da eficiência de filtros lentos, na remoção de microrganismos patogênicos e indicadores de contaminação, foram observadas elevadas taxas de remoção. Ou seja, O tamanho dos poros desenvolvidos durante o processo de ativação é determinante no comportamento de adsorção no carvão. Os poros atuam como uma espécie de peneira, a qual impede a passagem de moléculas maiores do que o seu diâmetro, selecionando as moléculas a serem adsorvidas.

Há diversos estudos para encontrar aplicações economicamente viáveis para o uso de biomateriais, são materiais de origem natural que podem ser implantados para substituir ou reparar tecidos em falta; neste contexto, a utilização das cascas do fruto buriti (*Mauritia Flexuosa*) como adsorvente para possível tratamento de efluentes contaminados é uma aplicação viável, devido à abundância e o baixo custo deste material. É válido ressaltar que a utilização de adsorventes a partir de resíduos agrícolas tais como casca de laranja, de coco, talo da uva, fibra de bambu e outros, tem despertado a atenção da comunidade científica, pois pode contribuir para o desenvolvimento de tecnologias limpas (BRITO, 1990). Deste modo, o uso desses biomateriais como adsorventes, surge como uma alternativa promissora e de grande interesse para o tratamento de efluentes industriais contendo metais em solução.

1.1 Justificativa

O desenvolvimento industrial está intimamente ligado aos processos de geração de resíduos. Segundo Júnior (2011), os rejeitos das indústrias eram depositados de forma inadequada, contaminando o meio ambiente a exemplo da poluição dos efluentes, com prejuízo da comunidade ribeirinha por meio da água contaminada pelos metais pesados.

A procura por novas tecnologias de tratamento de efluentes a partir de resíduos agroindústrias vem sendo estudada e testada para auxiliar empresas a se adequarem às leis ambientais vigentes, de tal forma que seus efluentes se enquadrem nos padrões exigidos, sem

encarecer demasiadamente o processo produtivo e principalmente, sem agressão ao meio ambiente. Ao se buscar possibilidades de tratamento de efluentes a baixo custo surgiu o interesse em estudar e evidenciar a eficiência do carvão ativado em adsorver o Cu II, um dos elementos causadores do sabor, cor e odor da água, pois o processo de adsorção não emprega produtos químicos e não possui exigência de equipamentos sofisticados para controle da operação.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Produção do carvão vegetal e ativação térmica para a avaliação de eficiência de remoção de Cobre (II) por meio da adsorção.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterização do carvão vegetal e do carvão ativado termicamente através do MEV, EDS, DRX, FRX, teor de carvão fixo, cinzas;
- Analisar o melhor carvão ativado através da análise química imediata e da adsorção do Cobre (II);
- Comparação do carvão ativado em diferentes tempos de ativação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Buruti

2.1.1 Características Gerais

O Buriti, *Mauritia Flexuosa*, é uma palmeira que atinge cerca de 40 metros de altura, possuindo folhas grandes em formato de estrela; sua origem ocorre naturalmente em áreas isoladas ou em grupos, de preferência nos terrenos pantanosos, sendo por isso denominada Palmeira-do-brejo, Buritis Altos, Vereda do Buriti Pardo, Buriti Mirim (BURITI, 2015).

“O buritizeiro cresce espontaneamente nas várzeas do Brasil Central, nos terrenos pantanosos próximos dos cursos d’água permanente e nas altas serras”. (MANHÃES, 2007). Na Figura 1, temos o Buritizeiro.

Figura 1 – Buritizeiro.



Fonte: (BURITI, 2015).

Esta palmeira é encontrada nos Estados do Pará, Amazonas, Amapá, Rondônia, Goiás, Bahia, Minas Gerais, Maranhão. “O buriti é fruto da palmeira conhecida localmente como árvore da vida, assim chamada por ser possível utilizar praticamente tudo dessa espécie”. (PINTO, 2011). A polpa dos frutos é utilizada para fazer doces; as sementes são utilizadas para fazer colares e brincos, as folhas trançadas cobrem as casas e até do caule se extrai um líquido que substitui o açúcar (BURITI, 2015).

2.1.2 Frutificação

Uma única planta do buritizeiro pode conter cachos de frutos, com uma média anual de produção de até 5000 frutos, isso equivale a 150 a 220 kg por safra, que ocorre entre os meses de dezembro a junho na maioria das regiões (MANHÃES, 2007). O fruto é dividido da seguinte forma: 40% de caroço, 30% de casca do fruto, 20% de envoltório celulósico e 10% de polpa. Na Figura 2, temos o fruto do buritizeiro.

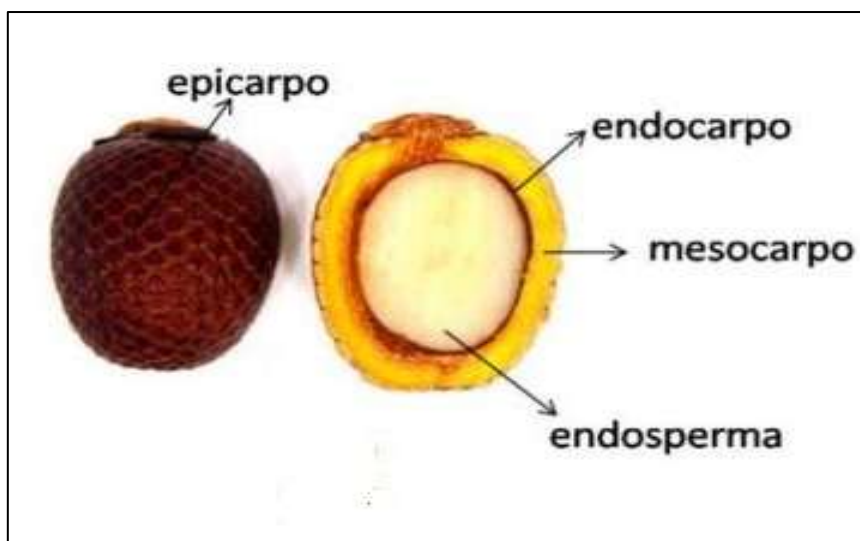
Figura 2 - Fruto Buriti.



Fonte: (BURITI, 2015)

Cada fruto pesa em média 50g, de coloração vermelha escura, possuindo o epicarpo (cascas) com escamas sobrepostas e dura, tendo o mesocarpo carnoso (polpa) de coloração amarela escura do qual se pode extrair o óleo por meio do endocarpo (semente) que contém 2 cm de diâmetro (BURITI, 2015). Conforme a Figura 3 apresenta a divisória interna do fruto.

Figura 3 – Divisão do Fruto de Buriti.



Fonte: (CARVALHO, 2011).

2.1.3 Resíduo de Buriti

A Lei 12.305, Política Nacional dos Resíduos Sólidos, mostra que rejeitos são sobras que não podem ser mais reaproveitáveis, com o descarte destinado a aterros sanitários ou incineração e resíduos, são restos que possuem algum valor econômico, que pode ser apropriado pelas indústrias de reaproveitamento ou reciclagem, que foram consumidos até o fim de sua vida útil, tal como cascas de frutas e vegetais. Segundo Santana (2014), os resíduos são considerados a sobra após uma ação ou processo produtivo passando a ser descartados e acumulados no meio ambiente.

Por causa do caráter oleoso do fruto de buriti (*Mauritia flexuosa*), alguns pesquisadores, tais como Remédios (2006), Barbosa (2010) e Luz (2010), estudaram somente a semente da fruta nos cachos do buritizeiro e a casca da fruta tornou-se resíduo, que independente da intensidade e propriedade físico-química, ocasionando grande alteração no meio ambiente e necessitando de destinação e tratamento.

Uma alternativa de minimizar esse desperdício é a produção de carvão ativado a partir das cascas, o que confere a esse resíduo um maior valor agregado, com o processo de produção de adsorventes de baixo custo, sendo uma alternativa promissora para o tratamento de águas residuais que podem ser preparados a partir de uma ampla variedade de matérias-primas e diminuindo o impacto dos descartados na natureza (JUNIOR, 2016)

2.2 Tipos de Carvão

2.2.1 Carvão Mineral (CM)

No Brasil, o Estado de Santa Catarina possui o maior pólo de produção de energia através do carvão (BRASIL, 2017). Foi na crise do petróleo que houve o maior destaque do carvão mineral, este período ficou conhecido como a “Época de Ouro do Carvão no Brasil” e com isso teve minas de extração do carvão mineral e consequentemente um maior aumento na poluição ambiental, decorrente dessa atividade produtiva. Na Figura 4 temos o mapa da localização das reservas do carvão mineral.

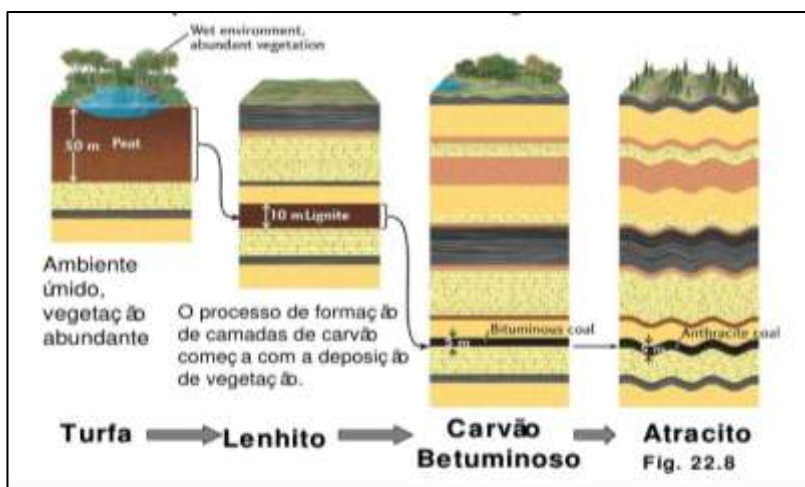
Figura 4 - Localização das Reservas de Carvão Mineral no Brasil.



Fonte: (BRASIL, 2017).

O carvão é composto por uma mistura de estruturas orgânicas sólidas, pela acumulação e carbonização ao longo dos anos, formada basicamente por carbono, oxigênio, hidrogênio, enxofre e cinzas (ANEEL, 2011), ou seja, é uma mistura de substâncias complexas ricas em carbono. A composição do percentual de carbono depende da formação do carvão no subsolo (Figura 5); dentre isso, formam-se quatro tipos de carvões minerais: a turfa, linhito, hulha (Carvão Betuminoso) e antracito, com 60%, 70%, 80%, 98% de carbono respectivamente.

Figura 5 - Processo de Formação do Carvão.



Fonte: (MATOS, 2010).

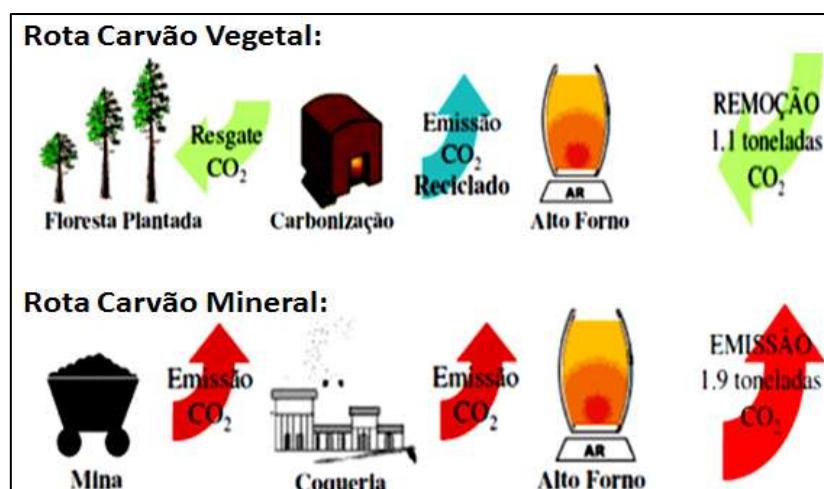
Entre os citados, a Hulha é o que possui interesse comercial, pois por meio da destilação a seco na ausência de ar, obtêm-se os carvões necessários para a indústria, como a indústria siderúrgica, que necessita do carvão mineral para fabricar o coque. Na Equação 1 temos a exemplificação da reação de combustão completa do carvão, onde o Carbono sólido reage completamente com o Oxigênio formando o dióxido de carbono



2.2.2 Carvão Vegetal (CV)

O carvão vegetal é produzido pelo processo de carbonização incompleta da madeira ao se controlar a entrada de ar, posteriormente esse processo resulta em uma substância negra. Ao contrário do que aconteceu nos países industrializados, no Brasil, o uso industrial do carvão vegetal continua sendo largamente praticado nos últimos anos; o Estado brasileiro é o maior produtor da América - latina, e o país que mais produz carvão vegetal no mundo; com aproximadamente 6,2 milhões de toneladas em 2015, isso representa cerca de 10% da produção mundial (FAO, 2017). A maior parte desse produto é utilizada no setor industrial, principalmente no setor siderúrgico, pois surgiu como alternativa para minimizar os impactos ambientais causados pelo carvão mineral. Conforme a Figura 6.

Figura 6 - Diferenças entre o Carvão Mineral e Vegetal.



Fonte: (DORNELA et al., 2016).

Como o carvão vegetal é derivado de uma das poucas fontes de carbono capazes de regeneração, o que o torna proveniente de fonte renovável, ele possui uma grande vantagem ambiental em relação ao carvão mineral, pois, há a vantagem do reflorestamento ambiental, além da possibilidade de remoção do CO₂ e a liberação de O₂ para a atmosfera. Recentemente, a cadeia produtiva de carvão vegetal tem estudado a modernização e melhoria da tecnologia empregada na conversão da madeira em carvão, além de substituir a matéria-prima oriunda da mata nativa por madeira do gênero *Eucalyptus* obtida através das florestas plantadas, alcançando, assim, maior qualidade e homogeneidade do produto (REZENDE et al., 2013).

2.2.2.1 Produção do Carvão Vegetal

A qualidade do produto do carvão vegetal depende da espécie da madeira e do método de carbonização. O carvão vegetal é produzido mediante ao processo da pirólise, que é um processo de quebra de moléculas em outras mais simples mediante a aplicação de calor tem-se que na fabricação do carvão vegetal, aplica-se o “calor à madeira em ausência de oxigênio para desdobrar os seus complexos constituintes em gases, tais qual o dióxido e o monóxido de carbono, os líquidos, ácido acético, por exemplo, e um resíduo sólido, que é o carvão vegetal”. (JUVILLAR, 1989 apud ROHDE, 2007).

Na Equação 2 temos o exemplo da combustão incompleta, onde há a formação do monóxido de carbono.



Os sistemas de produção do carvão vegetal são divididos em duas formas:

- a) **Sistemas por combustão parcial:** a fonte do calor é fornecida por meio da combustão de uma parte do produto total, destinada para carbonização; onde uma parte do peso da amostra é “sacrificada” através da combustão total, gerando o calor necessário ao processo (BRITO, 1990).
- b) **Sistemas com fonte externa:** neste caso não há a queima de uma parte da carga para a geração de calor necessário ao processo. Toda a madeira é teoricamente convertida em carvão vegetal, o que resulta num maior rendimento do processo (BRITO, 1990).

No Quadro 1, temos as fases do fenômeno de conversão da madeira para carvão vegetal.

Quadro - Fenômeno de conversão da madeira para o carvão vegetal.

Fase	Temperatura (°C)	Fenômenos e produtos
I	Até 200	– Poucas reações importantes; – Perda de umidade; – Fase endotérmica.
II	200 até 280	– Aumento de reação e na eliminação de gases; – A amostra passa a ter cor arroxeada; – Fase endotérmica.
III	280 até 380	– Importantes fases de reações e grandes eliminações de gases, componentes químicos orgânicos; – O resíduo final dessa fase já é o carvão vegetal, mas ainda apresenta composto volatizáveis em sua estrutura; – Fase exotérmica.
IV	380 até 550	– Redução da saída de gases; – O carvão vegetal passa a sofrer uma purificação em sua composição química, com a eliminação do restante dos gases voláteis; – O carvão torna-se mais rico em carbono em sua estrutura; – Fase exotérmica.
V	Acima de 550	– Degradação do carvão; – Término da carbonização e início da gaseificação do carvão; – Fase exotérmica.

Fonte: Adaptado de Trugilho et al., 2001.

A produção do carvão vegetal é uma atividade economicamente importante para o Brasil, entretanto, há desafios que impedem sua produção sustentável em toda a extensão da cadeia de produção, como as emissões de gases e poluentes, responsáveis pelo efeito estufa. Uma alternativa seria a incineração reduzindo assim as emissões em dióxido de carbono e água; a incineração de gases abre novas oportunidades de negócios, pois a energia gerada durante o processo de incineração pode ser transformado em eletricidade, gerando mais receita para os produtores e também pode ser usado na secagem da madeira a ser carbonizada, reduzindo o tempo do ciclo de produção, aumentando a capacidade de produção e, conseqüentemente, a renda dos produtores (COSTA et al., 2015).

2.3 Carvão Ativado (CA)

“O carvão ativado é obtido através da queima controlada, com baixo teor de oxigênio a uma temperatura que varia de 800 °C a 1000°C, com cuidado para não haver a queima total do produto, de forma a manter a sua porosidade”. (PEREIRA et al, 2008)

O carvão ativado (CA) é o nome geral dado a um grupo de materiais carbonáceos produzidos para ter uma porosidade altamente desenvolvida e elevada área superficial; possui uma alta quantidade de carbono em sua estrutura, que lhe dá uma grande capacidade de adsorção, ou seja, as moléculas de gases e líquidos ficam retidas nos seus poros, ocasionando o processo de filtração. “A origem do CA pode ser obtido por qualquer precursor, desde que seja rico em carbono e orgânico, como a madeira, ossos de animais e resinas fenólicas, furfurílico, poliacrilonitrila”. (CARRIJO et al., 2002).

O carvão ativado pode ser utilizado em diversas maneiras, tais como, remoção de odor e cor em determinados materiais por meio da adsorção; na indústria farmacêutica, como desintoxicação alimentar, drogas, medicamentos e produtos químicos. Ou seja, o carvão ativado elimina substâncias de concentração e composição de tamanhos variáveis (FAO, 2017). O processo da adsorção do carvão ativado, que é utilizado comercialmente é extremamente eficaz no combate das impurezas residuais, promovendo diversos estudos nesta área, pois o custo se torna oneroso para a indústria. Portanto, o uso das cascas de buriti como matéria prima de produção do carvão ativado é um projeto novo e seu uso deve se adequar as características básicas, a exemplo o teor de carbono fixo.

2.3.1 Processos de Ativação

A ativação do carvão pode ser feita pelo processo físico ou químico, contudo, antes de chegar nesta etapa de ativação, é necessário fazer o processo de carbonização. Segundo Pinheiro et al., (2006), a carbonização é um processo em que a madeira é submetida a aquecimento entre 450 °C - 550 °C em ambiente fechado, com pequena quantidade ou exclusão total de ar e durante o qual são liberados gases, vapores de água e líquidos orgânicos, permanecendo como resíduos, principalmente, o alcatrão e o carvão vegetal.

Na ativação dos carvões, podem ser utilizados dois métodos: a ativação pelo processo químico e ativação pelo processo físico.

2.3.1.1 Ativação Química

Segundo Pereira (2008), a ativação química é conhecida como um método de único na presença de agentes químicos, onde geralmente utiliza temperaturas menores do que a ativação física, em torno de 600°C, portanto pode melhorar o desenvolvimento de poros na estrutura do carvão devido aos efeitos dos produtos químicos; a vantagem da ativação química está relacionada à alta eficiência do processo com baixo custo (PEZOTI et al., 2014).

Nas literaturas, as ativações químicas são encontradas por agentes inorgânicos, tais como o hidróxido de potássio, cloreto de zinco e ácido fosfórico, que tem sido muito utilizado na indústria agrícola.

2.3.1.2 Ativação Física

A ativação física também é conhecida como ativação térmica, e são produzidas a partir do material carbonizado, geralmente na faixa de 380°C a 500°C (Quadro 1). Devido à natureza endotérmica da reação, as partículas devem ser mantidas em contato direto com os gases, fazendo com que na teoria, a ativação física obtenha uma maior produção de poros; a energia para o processo de ativação pode ser fornecida de maneira direta ou indireta dependendo do tipo de forno empregado (BOUCHELTA et al., 2008)

O processo de ativação consiste na remoção de compostos orgânicos como alcatrão, creosoto e naftas, além de outras impurezas que podem obstruir os poros. Neste contexto, a etapa de ativação leva a formação de sítios livres, com alta capacidade de adsorção (BANDOSZ, 2006). É importante ressaltar que em processos industriais, a carbonização e a ativação são executadas simultaneamente.

2.4 Propriedades Físicas do Carvão Ativado

2.4.1 Porosidade

A porosidade é uma das características mais relevantes para a avaliação da capacidade de adsorção do carvão ativado. Neste contexto, a presença de microporos em sua estrutura é responsável por suas propriedades adsorptivas, pois a quantidade de material adsorvido nos macroporos normalmente é desconsiderada (MORENO, 2004). A produção da enorme área superficial depende do desempenho do carvão ativado na estrutura dos poros com a sua superfície química. A existência de poros no carvão ativado é consequência de uma complexa estrutura formada através de um aglomerado de camadas irregulares de carbono, e por existir 23 espaços nas camadas, não é possível a formação de grafite mesmo quando aquecido a 300°C (CARRIJO et al., 2002).

Os poros podem ser classificados com relação aos seus tamanhos. A classificação proposta por Dubinin (1979) e adotada atualmente pela *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC, 1997) define três categorias de poros:

- **Microporos:** Diâmetros dos poros menores que 2 nm;
- **Mesoporos:** Diâmetros dos poros entre 2 a 50 nm;
- **Macroporos:** Diâmetros dos poros são superiores a 50 nm.

Cada tipo de poro desempenha um papel específico no fenômeno de adsorção. Os microporos contribuem para a grande parte da área superficial específica que é responsável pela adsorção (Tabela 1); os mesoporos e os macroporos servem como meio de transporte para as moléculas menores.

Tabela 1 - Classificação dos poros de um adsorvente.

Classificação	Diâmetro Médio dos Poros (nm)	Volume Poroso ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	Superfície Específica ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)
Microporos	< 2	0,2 – 0,6	400 – 900
Mesoporos	2 – 50	0,02 – 0,1	20 – 70
Macroporos	> 50	0,2 – 0,8	0,5 – 2

Fonte: Adaptado Arvelos (2017).

Estudos demonstram que a capacidade de retenção do carvão ativado ocorre nos microporos, os quais constituem aproximadamente 95% da área superficial específica do adsorvente, restando 5% para os mesoporos e macroporos, entretanto, estes desempenham importante função de acessibilidade no carvão ativado, pois possibilitam o transporte de moléculas no interior do material onde, geralmente, se encontram as moléculas de adsorbato (BOUCHELTA, et al., 2008).

Existem diferentes técnicas para a distribuição e caracterização dos poros, sendo a adsorção física de gases e vapores as mais empregadas. Durante a produção de carvão ativado, o controle da distribuição do tamanho dos poros e a afinidade superficial do carvão ativado são aspectos importantes, pois a maior parte das aplicações de adsorventes demanda de um grande volume de microporos (MARRARA, 2005).

2.5 Adsorção

O processo de adsorção é um fenômeno físico ou químico em que uma substância, chamada adsorvato, une-se fortemente à superfície de contato de um material, chamado adsorvente. Na adsorção ocorre uma acumulação de moléculas sobre a superfície do adsorvente. Quando um adsorvente encontra-se em contato com o soluto, há um decréscimo de sua concentração na fase líquida e um aumento sobre a superfície do adsorvente, até se obter uma condição de equilíbrio (PINHEIRO et al., 2006). De maneira sucinta, Santana (2014), resume que o processo de adsorção é composto por três etapas:

- **Macro Transporte:** é o movimento do material orgânico através do sistema macroporo do carvão ativado;
- **Micro Transporte:** é o movimento do material orgânico através do sistema mesoporo e microporo do carvão ativado;

- **Sorção:** é o “aprisionamento” físico do material orgânico na superfície do carvão ativado, nos mesoporos e microporos.

Esse fenômeno ocorre devido aos átomos da superfície que possuem uma posição incomum em relação aos átomos do interior do sólido; os átomos da superfície apresentam uma força resultante na direção normal à superfície, de maneira interna, a qual deve ser balanceada; com isso, a tendência é neutralizar essa força que gera uma energia superficial, atraindo e mantendo na superfície do adsorvente as moléculas de gases ou de substâncias de uma solução que estejam em contato (MARRARA, 2005).

Segundo Brito (1990) durante o processo a adsorção de moléculas pode ser representada como uma reação química, conforme a Equação 3.



Onde:

- (A) = É o adsorvato;
- (B) = É o adsorvente;
- (AB) = É o composto adsorvido.

Os compostos permanecem adsorvidos na superfície do adsorvente pela ação de forças químicas, tais como: ligações de hidrogênio, interações Dipolo-Dipolo e forças de Van de Waals.

2.5.1 Tipos de Adsorção

Classificam-se os fenômenos adsorptivos quanto às forças responsáveis em dois tipos:

- A Adsorção Física ou Fisiosorção: O adsorvato e o adsorvente interagem por forças atrativas de Van der Waals. Esse tipo de interação gera um fenômeno reversível, onde é possível observar que mais de uma camada do adsorvato é ligada a superfície do adsorvente e o equilíbrio é alcançado rapidamente. O tipo de interação é de longo alcance e fraca, liberando uma baixa energia (PEREIRA et., 2008).

- A Adsorção Química ou Quimiossorção: O adsorvato é ligado à superfície do adsorvente em forma de apenas uma única camada, por meio de um compartilhamento ou a troca de elétrons. O tipo de interação é na forma de ligação química, normalmente do tipo covalente. Há irreversibilidade na ligação e liberação de energia similar a uma reação química (PEREIRA et al., 2008).

O Quadro 2 mostra a classificação em dois tipos dos fenômenos adsortivos:

Quadro 2 - Principais Diferenças entre a Adsorção Física e Química.

Adsorção Física	Adsorção Química
–Causada por forças de Van de Waals.	–Causadas por forças eletrostáticas e ligações covalentes.
–Baixo calor de adsorção (menor que 2-3 vezes o calor latente de vaporização).	–Alto calor de adsorção (maior que 2-3 vezes o calor latente de vaporização).
–Não específica.	–Altamente específica.
–Significante apenas em baixa temperatura.	–Possível sob grande faixa de temperatura.
–Mono ou multicamada.	–Somente monocamada.
–Sem transferência de elétrons embora possa ocorrer polarização.	–Com transferência de elétrons e formação com ligação química com a superfície.
–Rápida, pouco ativada e reversível.	–Instantânea, mas ativada, pode ser lenta e irreversível.
–Sem dissociação das espécies envolvidas.	–Normalmente ocorre dissociação.

Fonte: Adaptado de Yamamura et al., 2005.

Quando a molécula de adsorvato presentes na fase líquida atingem a superfície do adsorvente, a força residual, resultante do desequilíbrio das forças de Van de Waals que agem na superfície da fase sólida, cria um campo de forças que atraem e aprisiona a molécula. O tempo que a molécula de adsorvato fica ligada à superfície do adsorvente depende diretamente da energia com que a molécula é adsorvida, ou seja, é uma relação entre as forças exercidas pela superfície sobre essas moléculas e as forças de campo das outras moléculas vizinhas (FERNANDES, 2005).

2.6 Efluentes Industriais

Originários de atividades industriais e mineradoras, os rejeitos contendo metais pesados ocasionam danos severos ao meio ambiente e à saúde humana. Em determinados locais, efluentes industriais contendo zinco e cobre têm sido encontrados em níveis até dez vezes maiores que o limite tolerável desses metais (YAMAMURA et al., 2005)

Os processos industriais são responsáveis pela geração de uma grande quantidade de efluentes ricos em substâncias orgânicas e inorgânicas. Sob o crescente cenário de interesse na temática ambiental, existem diversos métodos para tratamento de efluentes como a troca iônica, precipitação química, extração por solvente, ultrafiltração, entre outros (KLEINUBING, 2006).

Cada método de tratamento possui vantagens e desvantagens, entretanto os métodos de adsorção e troca iônica são os mais efetivos, pois os demais processos geralmente não alcançam os limites estabelecidos pela legislação. (WERLANG et al., 2013)

Os resíduos contendo metais precisam ser tratados para não causar danos ao homem e ao meio ambiente, da mesma forma que qualquer tipo de resíduo convencional. Pequenas quantidades de metais radioativos, absorvidas pelo homem, podem ser ineficientes para causar doenças, entretanto, o metal possui efeito cumulativo no organismo provocando danos irreparáveis como o câncer e as alterações no DNA. (YAMAMURA et al., 2005)

2.6.1 Metais Pesados

Na cinética dos metais no solo, é comum o processo de formação de depósitos minerais e de lençóis freáticos que podem ocorrer em solos subjacentes às unidades de disposição de rejeitos de mineração. Os riscos que os metais pesados oriundos da disposição do material descartados pelas indústrias acarretam na qualidade das águas, sobretudo, nas águas superficiais e subterrâneas são enormes, além dos elevados custos envolvidos em operações de remediação. (MARRARA, 2005).

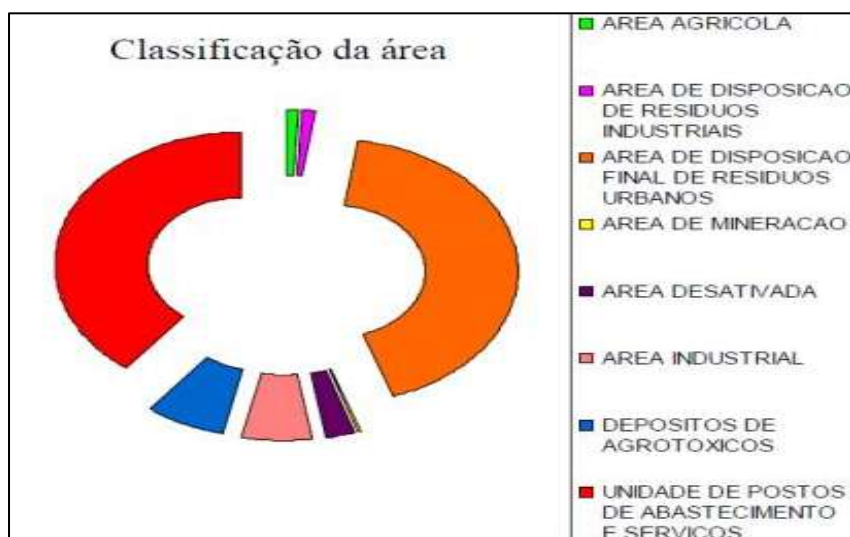
Silva (2004), afirma que os elevados teores de metais pesados que podem ser encontrados nos arredores da mineração, pode colocar em risco toda a população localizada nesse entorno e ressalta que a drenagem ácida constitui sério problema ambiental, capaz de comprometer a qualidade dos recursos hídricos, cuja águas se tornam inadequadas para irrigação, consumo humano e animal e para uso industrial.

Segundo Rezende (2013), os metais pesados se encontram dividido em dois grupos.

- **Oligoelementos ou micronutrientes:** São os requeridos em quantidades pequenas por plantas e animais, sendo necessários para que os organismos completem o ciclo vital. Neste grupo se encontram: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se e Zn.
- **Metais pesados** sem uma determinada função biológica: que em quantidades elevadas no organismo produzem doenças; são tóxicos e apresentam a propriedade de serem acumulados em organismos vivos. São principalmente: Cd, Hg, Pb, Sb, Bi.

A crescente demanda por metais pesados tem resultado na exploração de novas jazidas, enquanto, algumas espécies metálicas são extraídas algumas outras espécies presentes de menor importância econômica não são recuperadas e são liberadas no meio ambiente (MILIARUM, 2004). Aproximadamente 10% dos resíduos produzidos pelos países desenvolvidos são formados por metais pesados. A verificação da contaminação por metais pesados no solo superficial da área de disposição de resíduos podem ser classificadas como na Figura 7.

Figura 7 – Áreas de Contaminação.



Fonte: Vigisolo (2013)

Vários metais são associados com desenvolvimento industrial, tal como o arsênio, cádmio, ferro, cobre, níquel, chumbo, entre outros. Alguns setores industriais possuem uma maior descarga de íons de metais pesados e seus efluentes.

2.7 Cobre (Cu)

O cobre é um metal relativamente raro, empregado nas mais diversas formas. Foi o primeiro metal a ser usadas pelo homem como substituto da pedra, nas confecções de armas, ferramentas de trabalho. Por causa de suas propriedades e de suas varias aplicações, o cobre se tornou o metal necessário em variados setores; diversos países como Chile, Peru, China, Congo, Estados Unidos, Austrália, são responsáveis pelas maiores produções mundiais (USGS, 2019). Comercialmente, a calcocita e a calcopirita são os minérios mais importantes, contendo cerca de 80% e 30% do metal, respectivamente. (SILVA, 2016). No Brasil, as reservas do cobre indicam 1,9% da reserva mundial, estimada em 607 milhões de toneladas. (MELO, 2012).

Segundo Pezoti (2014), este metal possui características como, maleabilidade, ductilidade, condutividade e resistência à corrosão, o que lhe confere um caráter universal em diversas aplicações, como na indústria automobilística, construção civil e em equipamentos elétricos, sendo este último responsável pelo consumo de mais de 50% de todo metal utilizado na indústria, devido a sua elevada condutividade. A Tabela 2 representa a propriedade físico-química do cobre.

Tabela 2 - Propriedades do Cobre

Raio Covalente	Raio Iônico	Eletronegatividade de Pauling	Potências de redução padrão	1° Energia de Ionização
1,17 Å	0,73 Å	1,9	0,34 V	745 kJ/mol

Fonte: Silva (2016).

Embora pequenas quantidades de cobre sejam essenciais aos seres humanos, quantidades maiores são tóxicas. A absorção elevado do cobre pelo homem pode resultar no *mal de Wilson*, o qual o excesso desse metal fica depositado no cérebro, ossos, pâncreas, miocárdio e fígado, os sintomas são: úlcera gástrica, necroses no fígado e problemas renais (WERLANG, et al., 2013).

O cobre chega às águas superficiais principalmente através de descartes de efluentes industriais. As indústrias de mineração e de metalurgia são as que geram maior quantidade de efluentes contendo o cobre (MORAIS, 2014).

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) através da resolução 357 de março de 2005 estabelece os limites máximos de concentrações de cobre para cada tipo de água e sua respectiva classificação, os quais podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Limite Máximo do Cobre em Classes de Água.

Tipo	Classe	Valor Máximo (Cu)
Água Doce	Especial	Não especificado
	1	0,009 mg/L
	2	0,009 mg/L
	3	0,013 mg/L
	4	Não especificado
Água Salina	Especial	Não especificado
	1	0,005 mg/L
	2	7,8 µg/L
	3	Não especificado
Água Salobra	Especial	Não especificado
	1	0,005 mg/L
	2	7,8 µg/L
	3	Não especificado

Fonte: Adaptado Brasil (2005).

Em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos lançou o Decreto 7.404 que incentiva o reaproveitamento de resíduos agrícolas, colaborando diretamente para que este setor se torne mais sustentável. Dessa forma, comumente esses resíduos são utilizados como matéria prima para a fabricação do carvão ativado, por serem matérias ricas em carbono (SOARES, 2010). Neste contexto, o rejeito de buriti por haver em grande quantidade na nossa floresta amazônica, e até o momento, de pouca exploração e aproveitamento, surge como novo produto, que facilmente pode ser utilizado no processo de tratamento de remoção de íons de cobre produzidos pelas indústrias de mineração.

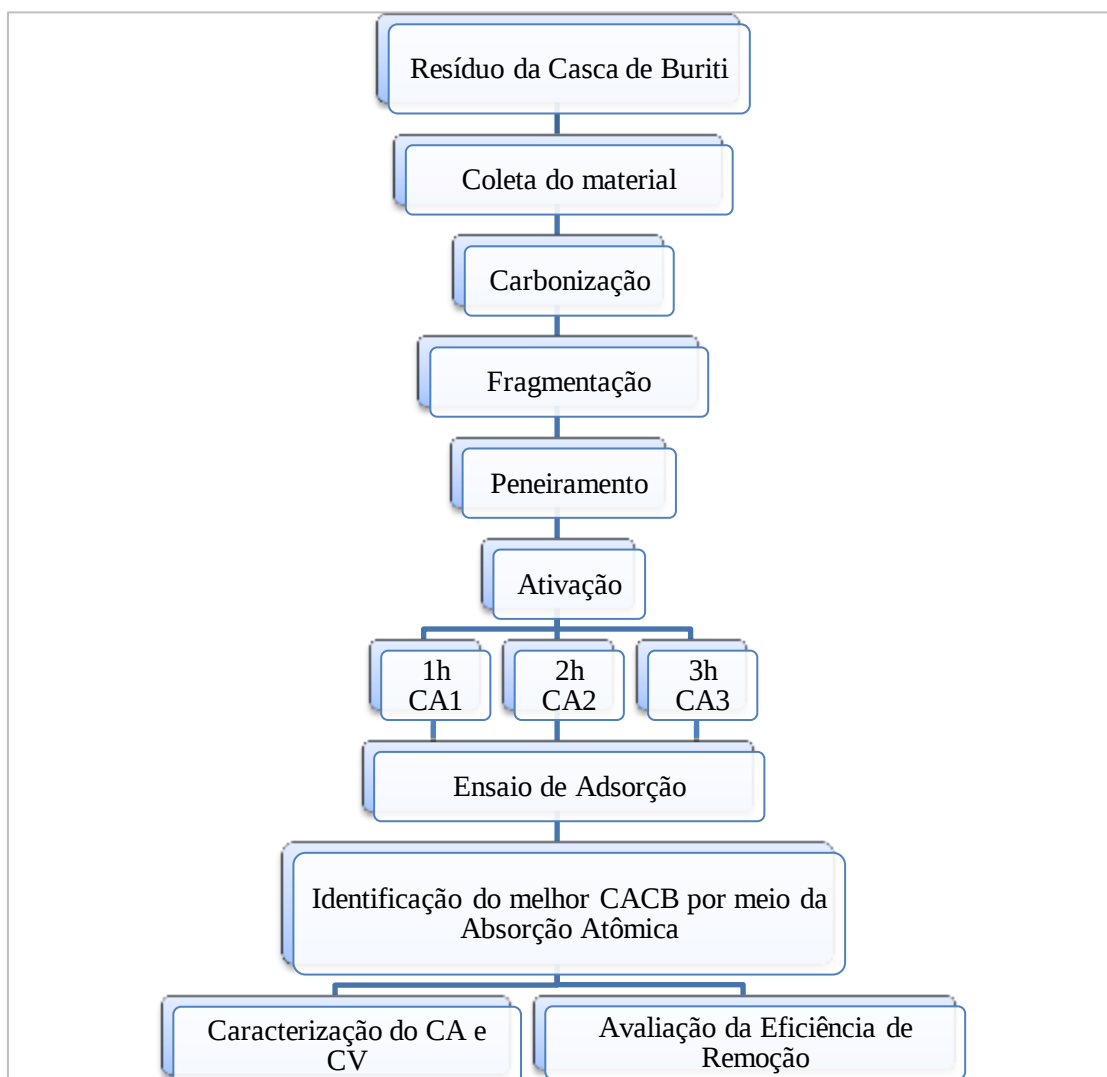
3 METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado nos seguintes locais durante o período do primeiro semestre do ano de 2019.2:

- Laboratório de Metalografia, do Laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM) - UFPA – *Campus* Belém;
- Laboratório de Caracterização de Materiais na Mineração, Metalurgia e Siderurgia (MATCAM), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA) - UFPA – *Campus* Belém;
- Laboratório de Química, Faculdade de Química - UFPA – *Campus* Ananindeua;
- Laboratório de Geociências – UFPA – *Campus* Belém;
- Usina de materiais - Instituto Federal do Pará (IFPA) – *Campus* Belém;
- Centro de Pesquisa Museu Paraense Emílio Goeldi.

As etapas de metodologia aplicada nesta pesquisa estão baseadas nos trabalhos de Melo (2012), que trabalhou com a casca da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* L.) e PINTO (2011), no qual trabalhou com o caroço de Buriti (*Mauritia Flexuosa*), bem como a caracterização do cada material Carvão Vegetal da Casca de Buriti (CVCB), Carvão Ativado da Casca de Buriti 1 Hora (CACB1H), Carvão Ativado da Casca de Buriti 2 Horas (CACB2H) e Carvão Ativado da Casca de Buriti 3 Horas (CACB3H) está dentro das normas pré-estabelecidas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). As etapas de produção do carvão ativado estão dispostas no Fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Metodologia Aplicada.



Fonte: Autora (2019).

3.1 Produção do carvão ativado

3.1.1 Material precursor – Casca de Buriti

Na produção do carvão ativado, foram utilizados como material precursor, cascas de buriti proveniente da região metropolitana de Belém – Marituba – PA, por tratar-se de um resíduo comum da floresta nativa amazônica, encontrado em grande quantidade e pouca explorada comercialmente. Esta matéria-prima foi obtida a partir do resíduo de produção artesanal de polpa de Buriti, e do processo da extração óleo a partir do caroço de buriti.

3.1.2 Preparação da matéria – prima

Inicialmente, as cascas de buriti, Fotografia 1, foram lavadas e expostas ao sol para que não houvesse a propagação de fungos.

Fotografia 1 - Casca de Buriti Limpas



Fonte: Autora (2019).

Foram colocadas 737 g de casca de buriti em estufa com recirculação de ar, para serem secadas em aproximadamente $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por 24h. O processo foi realizado em duplicata, até obter-se a massa de 670g de casca de buriti seca, como mostra a Fotografia 2

Fotografia 2 - Casca de Buriti Seca.



Fonte: Autora (2019).

3.1.3 Processo de pirólise para carbonização

Para a obtenção do carvão da casca de Buriti, a matéria prima foi colocada em um vasilhame refratário de argila, com dimensões 7x10x30 cm de largura, altura e comprimento, respectivamente, em formato de “telha”, e inserido no forno elétrico tipo MUFLA DE LEO e modelo A3AFDI 300 sendo aplicada a temperatura de $400\text{C} \pm 5\text{C}$ por um período de 3h. Após o processo de carbonização, a mufla foi desligada e no dia seguinte, o vasilhame, cuja massa já havia sido tarada foi retirado e levando a balança para leitura da massa.. O material carbonizado foi armazenado em um recipiente de plástico, devidamente vedado para evitar que a amostra entrasse em contato com a umidade, conforme a Fotografia 11 a e 11 b.

Fotografia 3 - a) Carvão Vegetal da Casca de Buriti e b) armazenamento.



Fonte: Autora (2019).

3.1.4 Processo de pulverização

A etapa de pulverização fez-se necessária para fracionar o carvão vegetal e facilitar o processo de peneiramento, pois estes materiais têm de ser de tamanhos uniformes e textura boa para trabalhar eficazmente, pois, sabe-se que o produto fragmentado influencia diretamente o rendimento de processos subsequentes de concentração. Logo, fez-se o uso do grau de porcelana e pistilo para a pulverização da matéria-prima até a obtenção de um material homogêneo, conforme a Fotografia 4.

Fotografia 4 - Carvão Vegetal pulverizado.



Fonte: Autora (2019).

3.1.5 Processo de classificação por peneiramento

Classificou-se a granulometria do carvão, de modo a se aproximar dos carvões granulados comerciais para filtragem de água, respeitando a norma ABNT NBR 12075. Para isso, 203 g de carvão vegetal foram peneirados manualmente, em peneiras GRANUTEST de 50 e 80 mesh até que estivessem em suas devidas faixas granulométricas. De acordo com a Fotografia 5.

Fotografia 5 - Carvão Granulado..



Fonte: Autora (2019).

3.1.6 Processo de ativação

Para a ativação do material, foram inseridos 30g do material carbonizado, de granulometria 80 mesh, em um cadinho de porcelana com tampa de 100 mL, para evitar a perda de materiais voláteis, e colocado no mesmo forno mufla, com $800\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura por um período estabelecido de 1 h, 2 h e 3 h, respectivamente, como mostra a (Fotografia 6 a e 6 b).

Fotografia 6 - a) Cadinho tampado; b) CACB3H dentro do cadinho.



a)



b)

Fonte: Autora (2019).

3.2 Caracterização dos carvões vegetal e ativado

Com o intuito de obter uma melhor compreensão dos materiais Carvão Vegetal da Casca de Buriti (CVCB), Carvão Ativado da Casca de Buriti de 1 Hora (CACB1H), Carvão Ativado da Casca de Buriti de 2 Horas (CACB2H) e Carvão Ativado da Casca de Buriti de 3 Horas (CACB3H), foram realizadas as análises imediatas, feitos em triplicata, como os cálculos de rendimento do carvão e dos materiais voláteis, assim como, a massa específica real e aparente, porosidade, teor de cinzas, carbono fixo bem como as análises do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), a Espectroscopia de Energia Dispersa (EDS), a Difração de Raios-X (DRX), a Espectrometria de Fluorescência de raios-X (FRX).

- Determinação do Rendimento do CVCB: O cálculo do rendimento do carvão vegetal refere-se à massa do carvão final em relação a massa da matéria-prima; e os teores dos materiais voláteis envolvem a subtração do teor de rendimento com a amostra total. Este resultado é dado em percentual e está de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 8112/1983a).

A Equação 4 mostra o cálculo do Rendimento do Carvão (RC), expresso em porcentagem.

$$RC (\%) = \left(\frac{\text{Carvão Vegetal (g)}}{\text{Materia Prima (g)}} \right) \times 100 \quad (4)$$

A Equação 5 mostra o cálculo do Conteúdo de Material Volátil do Carvão (MVC) da casca de Buriti, carbonizada a $400 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 3 h, expresso em porcentagem:

$$MVC (\%) = 100 - RC \quad (5)$$

- Determinação do Rendimento do CACB: Para a compreensão do comportamento da perda do material no processo da queima, foi realizado o cálculo do rendimento do carvão ativado. No experimento, foi inserido 30g do carvão vegetal para cada tempo de ativação. Ao final do processo, a massa foi pesada e calculada, de acordo com a Equação 6, expresso em porcentagem.

$$RCA (\%) = \left(\frac{\text{Carvão Ativado (g)}}{\text{Carvão Vegetal (g)}} \right) \times 100 \quad (6)$$

O conteúdo de voláteis expressa a facilidade de se queimar um material e se determina como a fração em massa do combustível que volatiliza durante o aquecimento de amostra padronizada, em atmosfera inerte, até a temperatura de aproximadamente 850°C, por 7 minutos (WERLANG, *et al*, 2013). A Equação 07 mostra o cálculo para determinar o Material Volátil do Carvão Ativado (MVCA), segundo as normas técnicas ABNT NBR 8112/1983^a.

$$MVCA (\%) = 100 - RMCA \quad (07)$$

- Teor De Cinzas: A cinza é o resíduo inorgânico remanescente da queima do carvão. Para a análise de cinzas, foi utilizada a norma ASTM D2866-94/2004, que recomenda a combustão da amostra em um forno mufla, em uma faixa de temperatura de 550 °C (± 25 °C) a 775 °C (± 25 °C). Os procedimentos se iniciam na pesagem de aproximadamente 0,1 g de amostra de amostra na base seca, no cadinho de 50 mL com tampa; logo após, o cadinho foi inserido no forno elétrico tipo MUFLA DE LEO e modelo A3AFDI 300 para a calcinação a 550 °C por um período de 3 h. A análise foi feita em duplicata e o teor de cinza, expresso em porcentagem, está descrita na Equação 8.

$$CCT(\%) = \left(\left[\left(\frac{D - B}{C - B} \right) \right] \right) \times 100 \quad (8)$$

Onde:

- D = Peso do cadinho + massa carbonizada
- C = Peso do cadinho + massa da amostra
- B = Peso do cadinho
- Carbono Fixo: Segundo a ABNT NBR 8299, 1983, o carbono fixo é calculado por meio dos valores do Conteúdo de Cinza Total (CCT) e Materiais Voláteis do Carvão Ativado (MVCA), conforme mostra a Equação 9.

$$CF (\%) = 100 - (MVCA + CCT) \quad (9)$$

- Massa Específica: O método empregado corresponde à relação entre as massas das partículas e o volume que a estrutura sólida delas ocupa, excluindo os poros e os espaços entre as partículas. Para esse ensaio, a massa específica foi estimada por

picnômetria, seguindo a norma da ABNT NBR 8916, 2015, feito em triplicata. Foi introduzido água no picnômetro e anotou-se a massa, no qual definimos por (m_1); após, inseriu-se ± 2 g de amostras no picnômetro onde foi retirado o excesso de água até a água ficar no limite da marca de referência, no qual foi pesado novamente e registrou-se a nova massa (m_2); Fazendo um resumo das massas citadas, temos a Equação 10. (MELO, 2012).

$$d = \frac{m_{amostra}}{m_{amostra} - (m_2 - m_1)} \quad (10)$$

Onde:

- $m_{amostra}$ = massa da amostra
- m_1 = massa do picnômetro+ água.
- m_2 = massas do picnômetro+ água + carvão

Como a massa específica é calculada levando em conta a temperatura da água durante o ensaio, é necessário que se faça uma correção a fim de se obter resultados padronizados. Na análise em questão, foi adotada a massa específica da água em temperatura de 4 °C, cujo valor da massa é igual a 0,1000. (g/cm^3)

- Massa Específica Aparente: É uma grandeza que está diretamente direcionada para o corpo homogêneo, onde todos os pontos dessa substância apresentam as mesmas propriedades. Desse modo, para entrar em consonância com a ABNT NBR 9165, 1985., as análises foram feitos em triplicata, no qual foi realizado o cálculo da diferença das massas da proveta vazia e com amostra (Equação 11) e a equação da massa específica aparente (Equação 12), respectivamente.

$$M \quad M_2 - M_1 \quad (11)$$

Onde:

- M_1 = Massa da proveta vazia.
- M_2 = Massa da proveta + massa da amostra.
- M_3 = Massa final.

Para isso, inicialmente, as amostras foram colocadas em uma estufa de secagem a $150^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ por 2 horas, e durante esse tempo pesou-se a massa da proveta (M_1),

passado o tempo de secagem, a amostra seca foi inserido em uma proveta de 100 ml (M_2). A diferença entre as massas (1) e (2) é o valor ser calculado na Equação 11. A razão da massa (M_3) pelo volume ocupado em cm^3 indicou a massa específica aparente (ρ) em (g/cm^3).

$$\rho = \left(\frac{M3 \text{ (g)}}{V_{\text{deslocado}}(\text{cm}^3)} \right) \quad (12)$$

- Porosidade: Os espaços entre as partículas que formam qualquer tipo de matéria são chamadas de porosidade, tais espaços podem ser maiores ou menores, tornando a matéria mais ou menos densa (QUADROS, 2014). Neste ensaio, os valores obtidos entre a massa específica e a massa específica aparente, foram fundamentais para o cálculo da porosidade, de acordo com a ABNT NBR9165, 1985 e expressa pela Equação 13.

$$P(\%) = \left(1 - \frac{\text{Massa específica}}{\text{Massa específica aparente}} \right) \times 100 \quad (13)$$

- Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV): Esta técnica possibilita investigar a superfície de amostras com magnificações da ordem de centenas de milhares de vezes. Para isso, as amostras foram colocadas em uma fita de cobre, para haver condução de corrente elétrica, e submetida em microscópio de varredura, modelo HITASHI - TM 3000, onde gerou imagens em preto e branco, com aumento de 100 a 300 vezes. As condições de análise para a imagem de elétrons secundários foram: corrente do feixe de elétrons 5kv e distância de trabalho 300 μm .
- Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS): É um procedimento que possibilita a identificação e o mapeamento dos elementos químicos presentes no material; desta forma, por meio do acoplamento de um decodificador de EDS a um MEV, modelo HITASHI - TM 3000 foi possível a identificação da composição química presente no material.
- Difração de Raios-X (DRX): É uma técnica padrão para caracterizar a estrutura cristalina dos materiais. Ela também pode ser utilizada para quantificar o tamanho dos

cristalitos dos materiais carbonosos. Para esta caracterização, foi utilizada o equipamento modelo Empyrean da PANalytical, tubos de raios-X cerâmico de anodo de Co ($K\alpha_1 = 1,789010 \text{ \AA}$), foco fino longo, filtro $K\beta$ de Fe, detector PIXCEL3D-Medpix3 1x1, no modo scanning, com voltagem de 40 kV, corrente de 35mA, tamanho do passo $0,0263^\circ$ em 2θ , varredura de $3,0072^\circ$ a $94,9979^\circ$ em 2θ , tempo/passo de 30,6s, fenda divergente: $1/4^\circ$ e anti-espalhamento: $1/2^\circ$, máscara: 10 mm. A preparação da amostra foi através do método backload.

- Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX): É uma análise não destrutiva que permite identificar os elementos mineralógicos presentes em uma amostra. Para esta análise, primeiramente preparou-se uma pastilha em uma prensa compactadora de amostra espectrométricas modelo PCA 40, utilizando 3g de cada material, com o aglomerante de 2g de parafina. Após as pastilhas prontas, foi realizada a análise do FRX, utilizando o espectrômetro de fluorescência de Raios-X, modelo S2 RANGER BRUKER,

3.3 Ensaio de adsorção

Efetuuou-se o ensaio de adsorção para a avaliação da capacidade de adsorção dos carvões ativados obtidos. Para os ensaios, foi preparada uma solução estoque de 1000 ppm e a partir desta preparou uma solução com concentração utilizou-se o volume de 50 ml para cada concentração. Os parâmetros de tempo de contato (60 min), concentração do adsorvente, no qual foi pesado 1 g de cada material e inserido no bécker de 100 mL e após adicionou-se 600 mL de solução contendo 50 ppm para cada concentração, permaneceram constantes, como mostra a Fotografia 7. Após o referido tempo, as amostras foram filtradas e armazenadas a temperatura ambiente para posterior análise em absorção atômica.

Fotografia 7 - Ensaio da Adsorção.



Fonte: Autora (2019).

- Espectrofotômetro de Absorção Atômica: É um método de análise usado para determinar qualitativamente e quantitativamente a presença de metais em uma solução qualquer. Executou-se o ensaio de acordo com a metodologia da norma ABNT NBR 11834, 1991. para efetuar a avaliação do equilíbrio de adsorção. O ensaio foi realizado em triplicatas e as soluções filtradas após serem submetida ao contato com o carvão ativado foram armazenadas em tubetes com tampa de rosca (Fotografia 8) e levadas para a análise de absorção atômica modelo Espectrômetro: ICE 3000 AA05131503 v1, 30.

Fotografia 8 - Armazenamento do Ensaio Absortivo.



Fonte: Autora (2019).

- Determinação do pH: Segundo a ABNT NBR 7353/2014, as medições de pH podem ser feitas em soluções aquosas contendo altas concentrações de eletrólitos ou compostos orgânicos solúveis em água. O Potencial de Hidrogeniônico (pH) significa uma escala logarítmica que mede o grau de acidez ou alcalinidade de uma determinada solução. Neste ensaio, o pH das amostras foi medido nas alíquotas filtradas por meio de um peagâmetro modelo HANNA – HI98108.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados os resultados obtidos nas etapas de produção de CVCB e CACB, bem como as caracterizações dos materiais e o ensaio de adsorção da solução de cobre (II) nos carvões ativados em diferentes temperaturas, de acordo com as metodologias citadas neste trabalho.

4.1 Caracterização dos carvões

4.1.1 Composição química imediata

Para os devidos cálculos de rendimento e conteúdo de material volátil, é importante registrar os valores das massas antes e depois da carbonização e do processo de ativação. Substituindo os valores do Rendimento Médio do Carvão (RMC) e Materiais Médio Voláteis do Carvão (MMVC), das Equações 4 e 5 para a carbonização e as Equações 6 e 7 para o tratamento térmico, temos a Tabela 4.

Tabela 4 - Rendimento e Material Volátil do Carvão Vegetal e Ativado.

Amostras	$m_{entrada}(g)$	$m_{saída}(g)$	RMC (%)	MMVC (%)
CVCB	670	203	30,29	69,71
CACB1H	30	18	60,00	40,00
CACB2H	30	16	53,33	46,67
CACB3H	30	17	56,66	43,34

Fonte: Autora (2019).

Comparando os resultados com o Pinto (2011) e Melo (2012), que trabalharam com os resíduos de Buriti e Castanha, respectivamente, carbonizados no mesmo tempo e temperatura ($400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 3 h), observa-se que o RMC apresentou um valor abaixo ao do caroço de Buriti (73, 01%) e da casca da castanha (50,72%) e o MMVC apresentou um valor acima dos resultados do caroço de Buriti (26,99%) e da castanha (49,28%). Isso significa dizer que, dada as mesmas temperaturas de carbonização entre os materiais, retiram-se mais materiais da casca de buriti, logo, o Carvão Vegetal de Casca de Buriti (CVCB) é

menos reativo do que os outros rejeitos, por possuir menor conteúdo de carbono (PINTO, 2011).

A qualidade e o desempenho do carvão vegetal dependem diretamente das características que compõem a matéria, ou seja, para a produção do carvão vegetal de baixo custo e elevada qualidade, deve-se procurar materiais que apresentem determinadas características específicas, tal como a teor de cinzas, carbono fixo e massa específica. No processo de carbonização, busca-se o maior rendimento em carvão, uma vez que, na maioria dos casos, a fumaça não é recuperada para outras utilizações. (TAVARES, 2003)

Os resultados apresentados para o carvão ativado foram intermediários entre os valores encontrados por Pinto (2011), que ativou o caroço de Buriti a 900°C em 1h, cujo rendimento e o material volátil apresentam 22,32% e 77,68%, respectivamente, e Melo (2012), que ativou a 2h o rejeito da casca de castanha, cujo resultado é 30,05 % de rendimento e 69,95% de material volátil. Desta forma, Santos (2012) afirma que, quanto ao processo, a temperatura é um importante parâmetro, responsável por regular a composição química do produto, em termos do rendimento, durante a ativação do material, quanto maior o teor de carbono fixo alcançado pelo aumento da temperatura, menor será o rendimento gravimétrico da conversão da madeira em carvão.

Ademais, os materiais voláteis são aqueles componentes presentes no material que podem ser removidos por efeito da temperatura em atmosfera não oxidante ou inerte (KURAUCHI, 2014).

4.1.2 Teor de cinzas (TC)

Tabela 5 exibe uma média dos teores percentuais de cinza da duplicata, que foram obtidos de acordo com a Equação 8.

Tabela 5 - Resultado do Teor de Cinza em Porcentagem.

Amostras	B (g) ($P_{cadinho}$)	C (g) ($P_{cadinho} + M_{amostra}$)	D (g) ($P_{cadinho} + M_{carbonizada}$)	TC (%)
CACV	86	86,1456	86,0096	6,59
CACB1H	86	86,1245	86,0092	7,38
CACB2H	86	86,1249	86,0097	7,76
CACB3H	86	86,1235	86,0093	7,53

Fonte: Autora (2019).

A Tabela 5 exibe uma média do experimento em teor percentual de cinzas. Este resultado, quando comparado para os carvões ativados de Pinto (2011) e Melo (2012), cujo resultado é de 8,416% e 4,85% respectivamente indica que o teor de cinza obtido está próximo dos resultados encontrados. As cinzas representam a mistura de todos os componentes restantes após a combustão completa do carvão, geralmente em resíduo óxido de minerais.

Segundo Werlang (2013), os teores de cinzas acima de 7% para o carvão vegetal, são considerados elevados, pois pode indicar possível contaminação do carvão com resíduos do solo; logo, o resultado de 6,59% de cinzas condiz com a literatura, com carvão de boa qualidade.

4.1.3 Carbono fixo

Segundo Manhães (2007) o carbono fixo, é a quantidade de carbono que ficou retida em determinado material após passar por uma análise laboratorial, perdendo todas as substâncias que volatizaram no processo e também que não é cinza. Fazendo as substituições das incógnitas da Equação 9, o resultado do carbono fixo do Carvão Ativado da Casca de Buriti expresso em porcentagem, está disposto na Tabela 8.

Tabela 6 - Carbono Fixo do Material

Amostras	Carbono Fixo (%)
CACV	23,70
CACB1H	52,62
CACB2H	45,57
CACB3H	49,13

Fonte: Autora (2019).

Moreno (2004) afirma que, os principais constituintes da biomassa (Carbono, Hidrogênio e Oxigênio) são volatilizados durante a desidratação e a pirólise resultando em um aumento do teor fixo de carbono. A partir dos dados da Tabela 6, nota-se que há uma diferença considerável entre as amostras, do vegetal para os ativados, para o teor de carbono fixo.

Demirbas (2009) cita que, com o aumento da temperatura, o teor de carbono fixo aumenta significativamente, o que resulta no aumento da qualidade do carvão. A casca de buriti apresenta altos teores de carbono fixo, no qual é valor típico em biomateriais precedentes de resíduos (VASSILEV et al., 2010) Os autores Pinto (2011) e Melo (2012), encontraram valores de 13,90% e 23,34% de carbono fixo para o carvão ativado, respectivamente. Portanto, pode-se dizer que esse material se deve a serem orgânicos, presentes na estrutura do carvão da casca de buriti.

4.1.4 Massa específica

A média da massa específica está na resolução da Equação 10 e os resultados obtidos para os carvões vegetais e ativados, estão de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 – Resultado Médio da Massa Específica.

Amostras	$m_a(g)$	$m_{1(g)}$	$m_{2(g)}$	$ME(g/cm^3)$
CVCA	2,0075	72,0929	72,0904	0,9987
CACB1H	2,0133	73,0926	73,1059	1,0066
CACB2H	2,0362	73,0527	73,0889	1,0181
CACB3H	2,0425	73,0829	73,1254	1,0212

Fonte: Autora (2019).

Ao ser comparado com os resultados de Pinto (2011) que obteve o valor de 1,7594 g e Melo (2012), cujo resultado foi de 0,96 g para os seus carvões ativados, no qual os autores usaram diferentes metodologias para a obtenção de seus resultados, pode-se dizer que o valor médio da massa específica da casca de buriti é próximo ao resultado da casca da castanha do Brasil, no qual esta metodologia foi baseada. Em termos gerais, esperava-se o aumento da massa específica em função do tempo de ativação, estimando-se as massas específicas com valores acima de 0,97 g para temperaturas superiores a 800 °C (DI BERNARDO et al., 2005).

4.1.5 Massa específica aparente

Os resultados obtidos para o cálculo da massa específica aparente, baseados nas Equações 11 e 12, das amostras são ilustrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultado Médio da Massa Específica Aparente.

Amostras	$m_{1(g)}$	$m_{2(g)}$	$m_{(g)}$	MEA (g/cm^3)
CVCA	45,9582	97,7476	51,7892	0,5178
CACB1H	45,9584	98,0491	52,0907	0,5209
CACB2H	45, 9736	98,2242	52,2506	0,5225
CACB3H	45,9348	98,3476	52,4128	0,5241

Fonte: Autora (2019).

Ao comparar com o resultado médio de Pinto (2011) e Melo (2012) que foram $0,8170 (g/cm^3)$ e $0,48 (g/cm^3)$, respectivamente para os seus carvões ativados, realizadas sob a mesma metodologia, pode-se observar que o valor médio da casca de buriti é aproximadamente superior da casca da castanha. Esta aproximação de resultado se refere por se tratar do mesmo material, cascas em sua composição e a baixa massa específica aparente devido à maior quantidade de fibras destes materiais (QUADROS, 2014).

4.1.6 Porosidade

A partir dos resultados da massa específica aparente e real, foi possível calcular a porosidade do material, expresso em porcentagem conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Porosidade do Material Produzido

Amostras	Massa específica (g/cm^3)	Massa Específica Aparente (g/cm^3)	P(%)
CVCA	0,5178	0,9987	48,15
CACB1H	0,5209	1,0066	48,25
CACB2H	0,5225	1,0181	48,67
CACB3H	0,5241	1,0212	48,67

Fonte: Autora (2019).

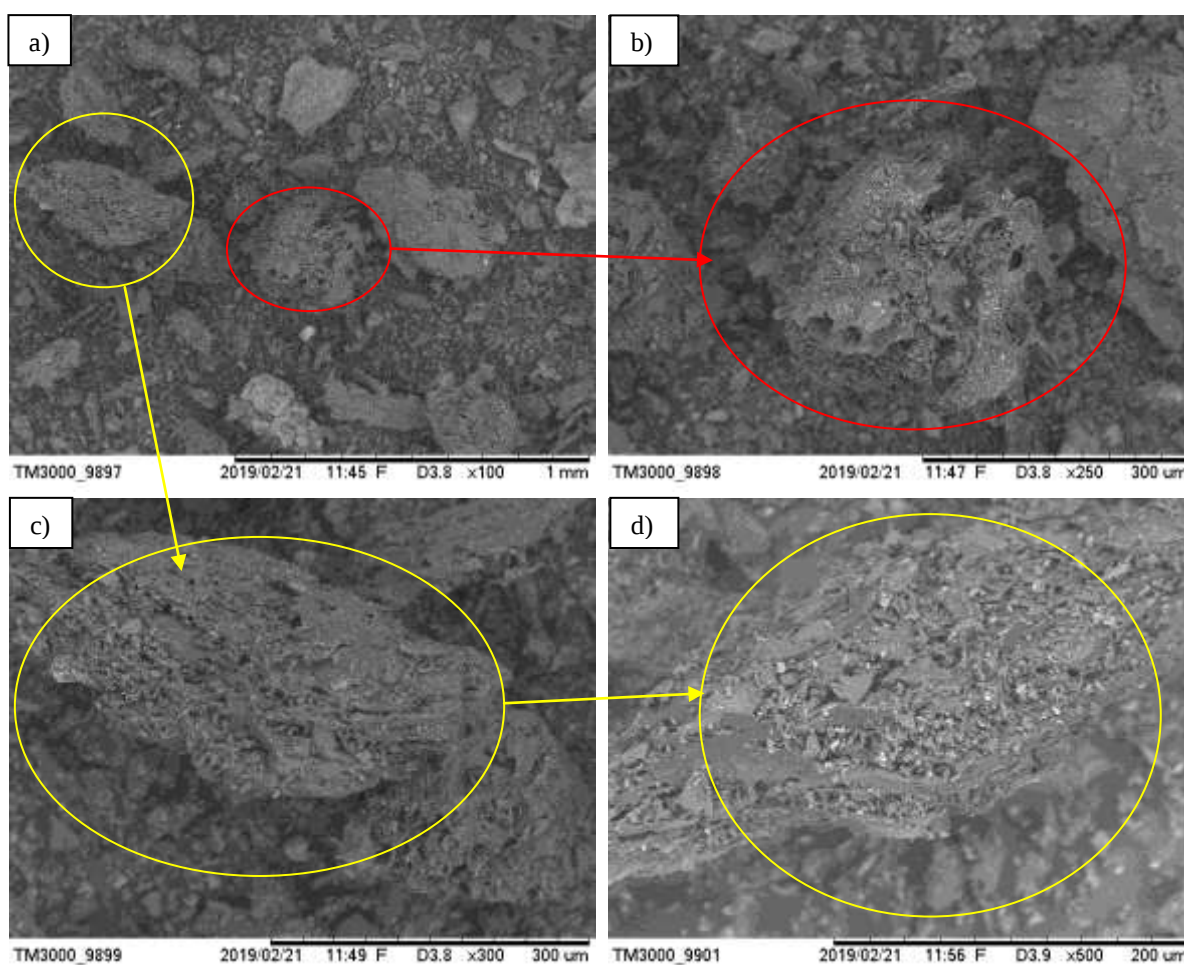
O resultado da porosidade do material, ilustrado na Tabela 9, quando comparado com os trabalhos de Pinto (2011) e Melo (2012), mostra que a porosidade do carvão ativado da

casca de buriti é próxima ao da casca da castanha do Brasil (50,52%), do que do caroço de buriti (53,56%) demonstrando que o material do carvão ativado, oriundo da casca, se comporta de maneira semelhante. (MAIA et al, 2014), diz que, independente da metodologia empregada, a massa específica aparente será baixa, igual ou menor do que $1(g/cm^3)$, quando forem utilizadas matérias primas dessa origem orgânica.

4.1.7 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A análise da microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada para se analisar a morfologia do material, tanto na carbonização quanto no carvão ativado. A Figura 8 mostra a morfologia do carvão vegetal.

Figura 8 - Micrografia do CVCB.

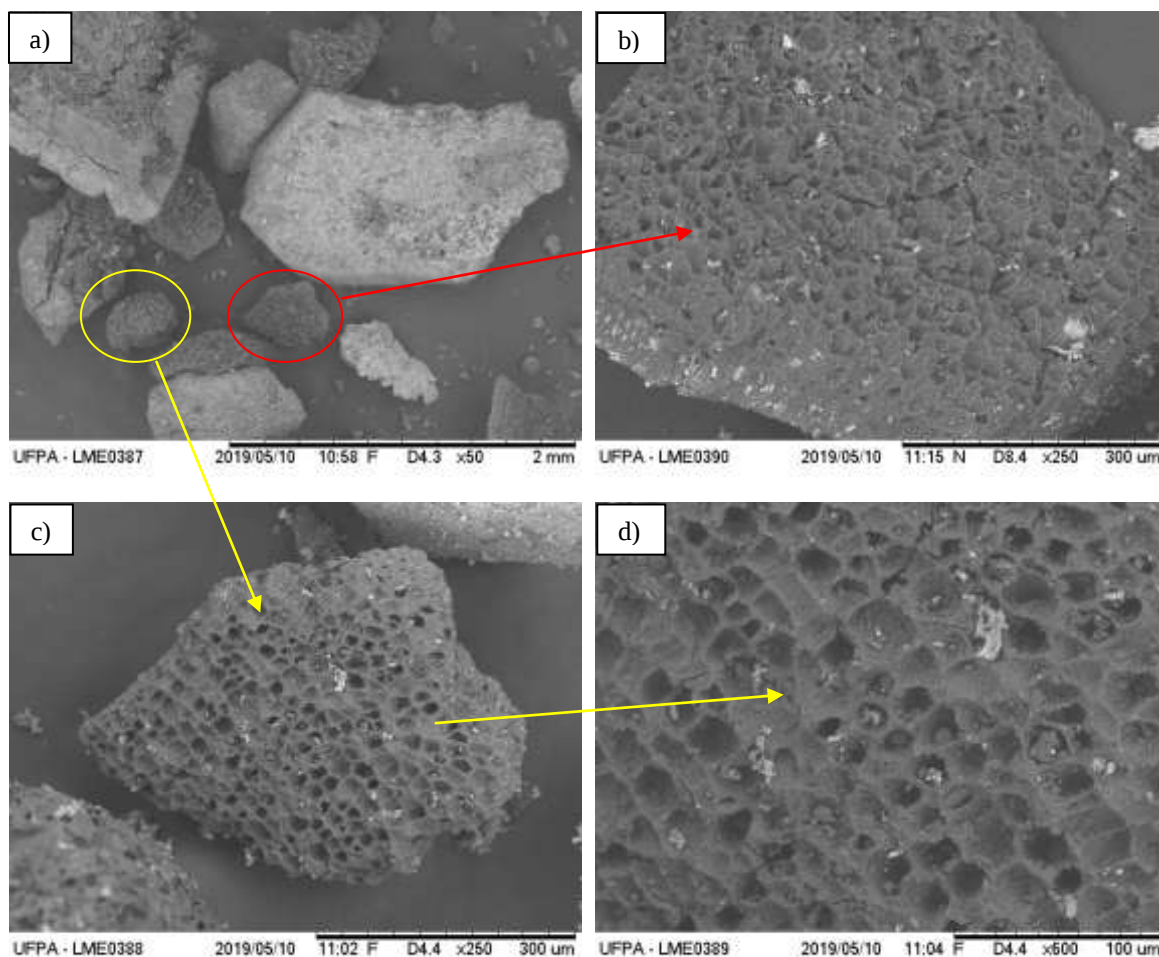


Fonte: Autora (2019).

A Figura 8 apresenta a morfologia da amostra vegetal, onde a) corresponde o “universo”, a amostra por inteira; b) aponta poucos poros, demonstrados no círculo vermelho; c) mostra um material quebradiço, identificados pelos círculos amarelos; d) visão detalhada dos fragmentos. O processo de pirólise do material e sua ativação produzem modificações nessa estrutura e proporcionam o surgimento de poros na forma de pequenas cavidades devido à evaporação dos componentes voláteis que preenchiam os sulcos celulósicos no precursor. A estrutura do carvão adquirida é semelhante à estrutura obtida pela carbonização de outros materiais a base de celulose. (COSTA et al., 2015).

As Figuras 9, 10 e 11 mostram a morfologia dos carvões ativados de 1, 2 e 3 horas, respectivamente.

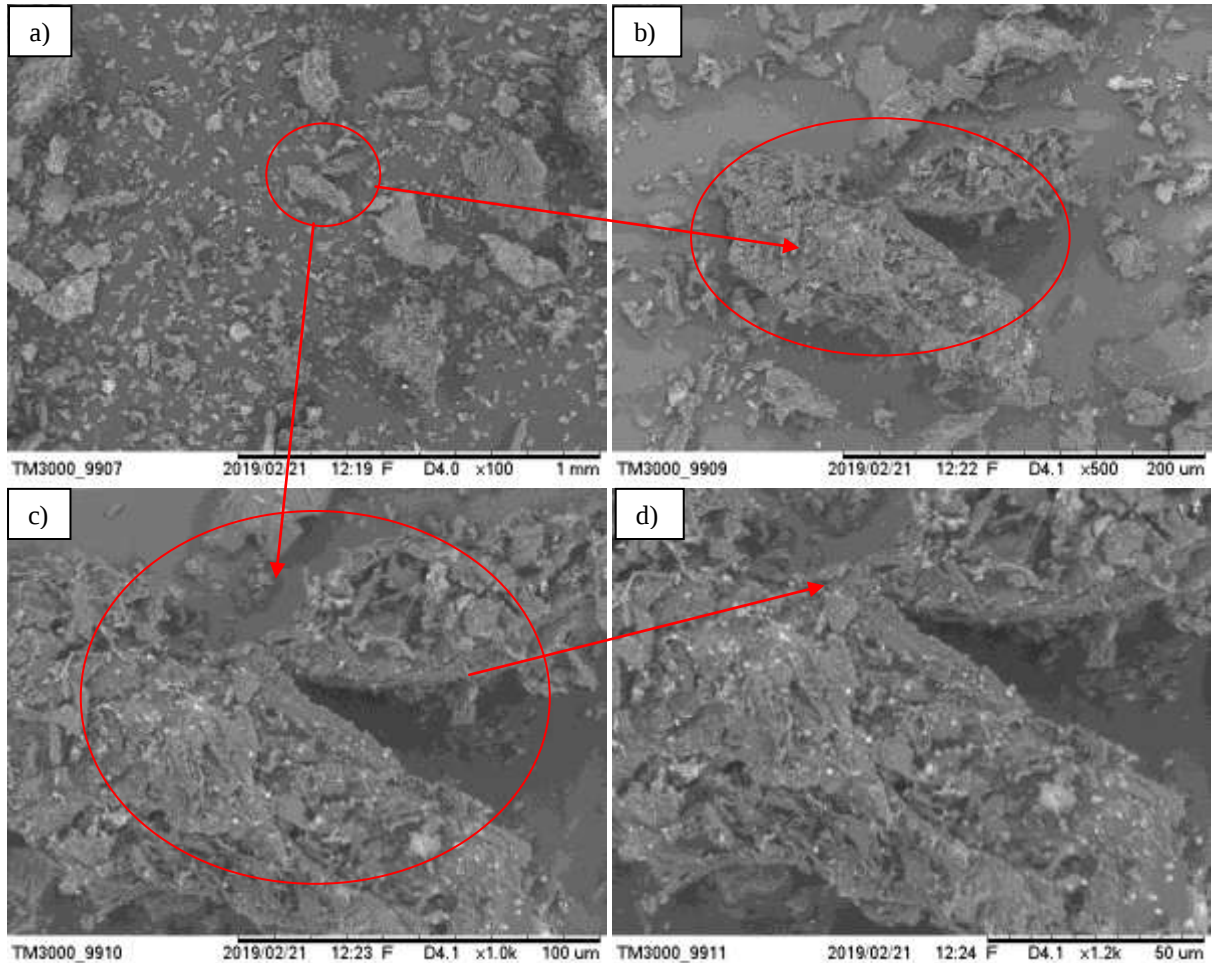
Figura 9 - Micrografia do CACB1H



Fonte: Autora (2019).

É perceptível na Figura 9, uma mudança de estrutura do material, no qual há o aumento dos volumes dos poros; isso acontece devido ao aumento de temperatura, provocado pela perda de materiais voláteis.

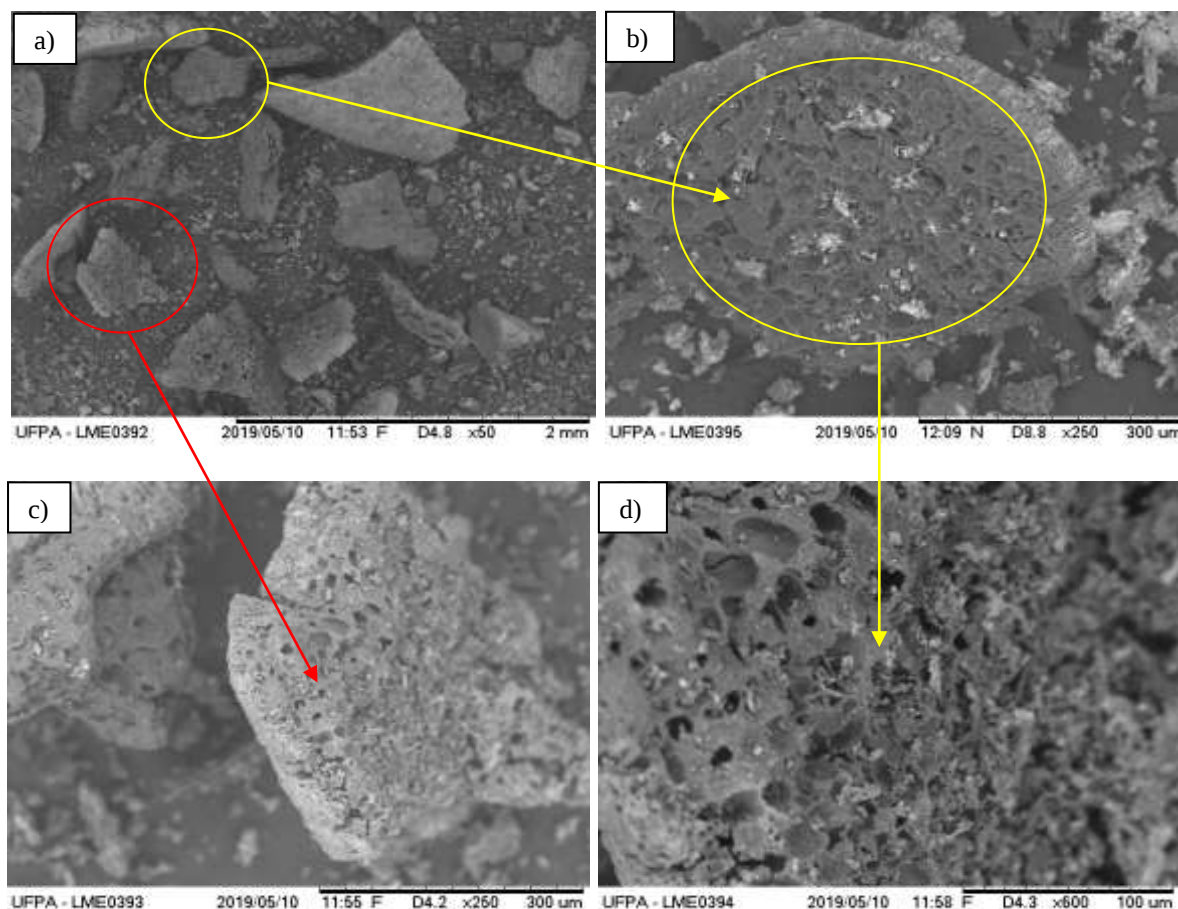
Figura 10 – Micrografia do CACB2H.



Fonte: Autora (2019).

Na Figura 10, temos um material quebradiço, onde o carvão ativado da casca de buriti ativado em 2h está começando a se degradar.

Figura 11 - Micrografia do CACB3H.



Fonte: Autora (2019).

Comparando as características únicas de cada material, percebe-se que há elevação de poros a partir da ativação. O aumento do tempo e da temperatura de ativação provoca aumento significativo da porosidade, consequentemente observa-se um aumento na formação de microporos, melhorando a qualidade do carvão.

Demiral (2011) e Gaspard (2007) utilizando o processo de ativação física, observaram que o aumento da temperatura e tempo de ativação faz com que a diferença entre os valores de volume total de poros e volume de microporos diminua, mostrando a formação de microporos.

Entretanto, observa-se nas Figuras 10 e 11, que a morfologia está começando a ser modificada pela fragmentação e o aumento de placas brancas, demonstrados pelos círculos vermelhos, o que pode ser a degradação do material.

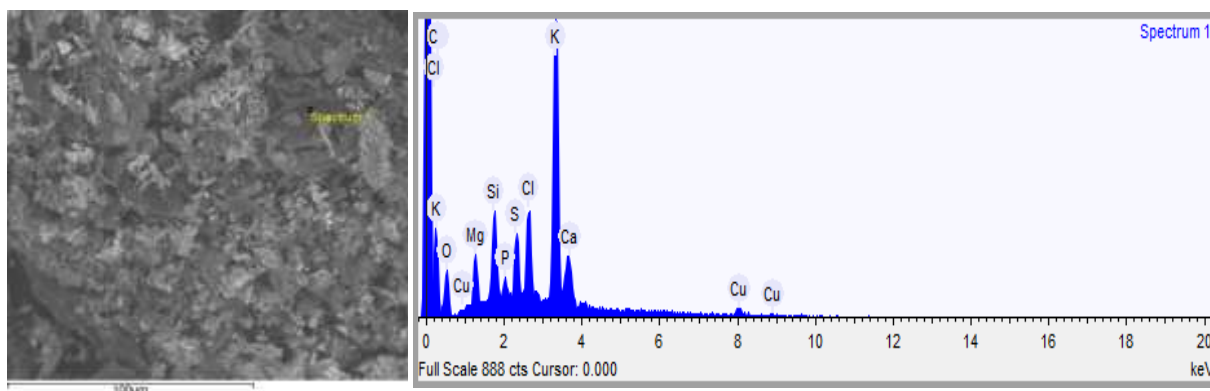
Yang (2007) diz que a faixa de temperatura em que se dá a maior degradação do material é entre 800°C a 900°C, dependendo do tempo que o material está sob estas

temperaturas. Em seu trabalho, o autor diz é possível determinar quando a degradação térmica se inicia e quando é mais acentuado, por meio do surgimento de massas brancas, chamadas de “massa morta”. As Figuras 8, 9, 10 e 11 comprovam uma estrutura porosa com consequente elevação da área superficial do carvão ativado da casca de buriti; logo, foi possível verificar que a evidência maior da evolução dos poros está no CACB1H, demonstrando que a metodologia aplicada está satisfazendo o que é encontrado nas literaturas.

4.1.8 Espectroscopia de energia dispersiva (MEV-EDS)

Com a análise de espectroscopia de energia dispersiva, permitiu verificar a composição química de cada amostra. Essa determinação foi feita em diferentes regiões da amostra de forma aleatória, em análise qualitativa, como mostrados nas Figuras 12, 13, 14 e 15.

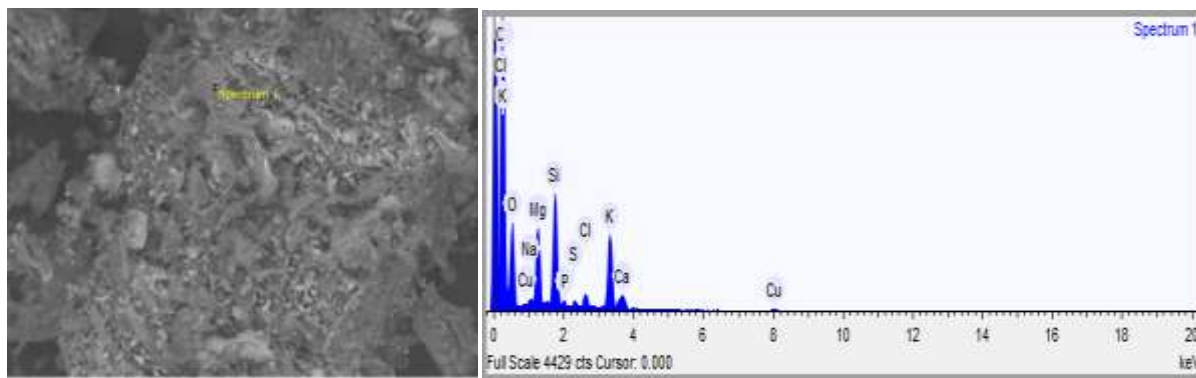
Figura 12 - EDS do CVCB



Fonte: Autora (2019).

A Figura 12 mostra o espectro da análise EDS para a composição elementar da amostra. Como se trata de um carvão de origem orgânico, observa-se a presença de elementos, como carbono (C), sílica (Si), magnésio (Mg), potássio (K), cálcio (Ca) e fósforo (P), que são elementos presentes na estrutura do fruto buriti. (ROCHA, 2015) Os precursores do carvão ativado são materiais que se enriquecem durante o tratamento térmico, sem que haja fusão ou abrandamento que impeça a formação de microporos. Caso a porosidade dos precursores seja baixa, é necessário ativá-los (WERLANG, et al., 2013).

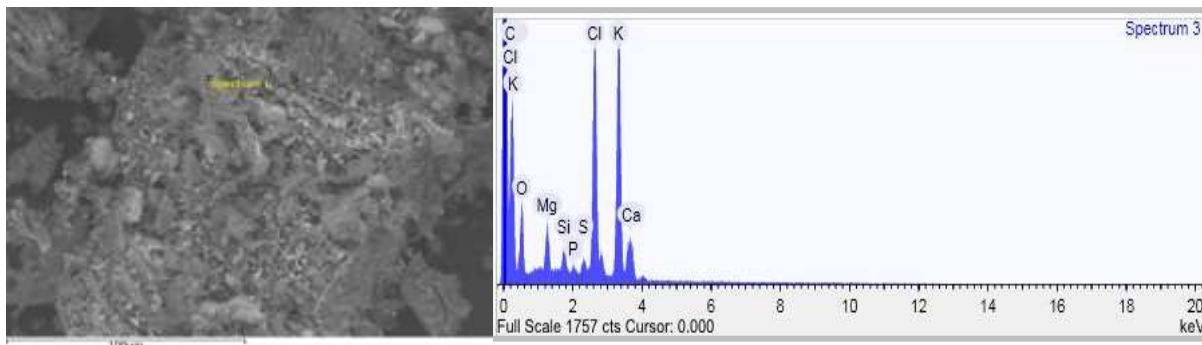
Figura 13 - EDS do CACB1H



Fonte: Autora (2019).

No espectro de energia dispersiva da Figura 13, pode-se observar a presença de vários elementos, nos quais os picos mais altos são o carbono (C), pois é um material carbonáceo, o cloro (Cl) e potássio (K), que são nutrientes encontrados no solo, onde são absorvidas pelas plantas chegando ao seu fruto. (BARBOSA, 2010).

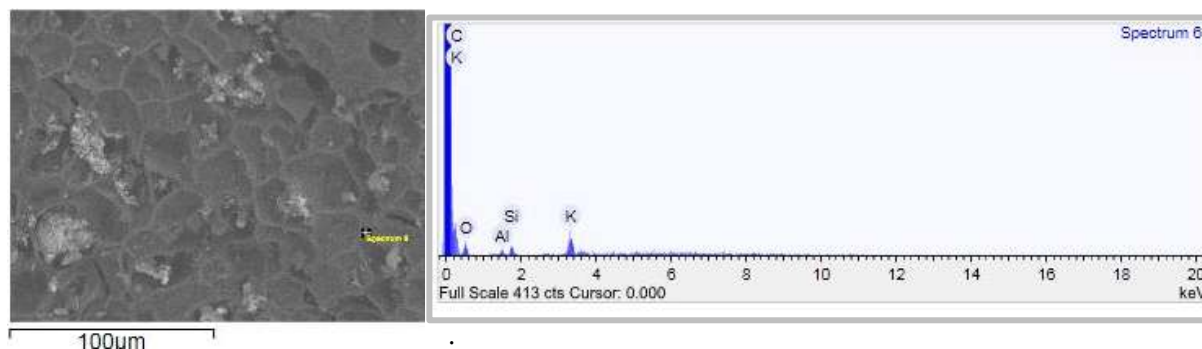
Figura 14 - EDS do CACB2H



Fonte: Autora (2019).

A Figura 14 mostra que, com o aumento do tempo de ativação, é possível perceber a ausência de alguns elementos químicos, resultado da volatilização dos elementos, quando submetidos a altas temperaturas.(PEZOTI, 2014).

Figura 15 - EDS do CACB3H.



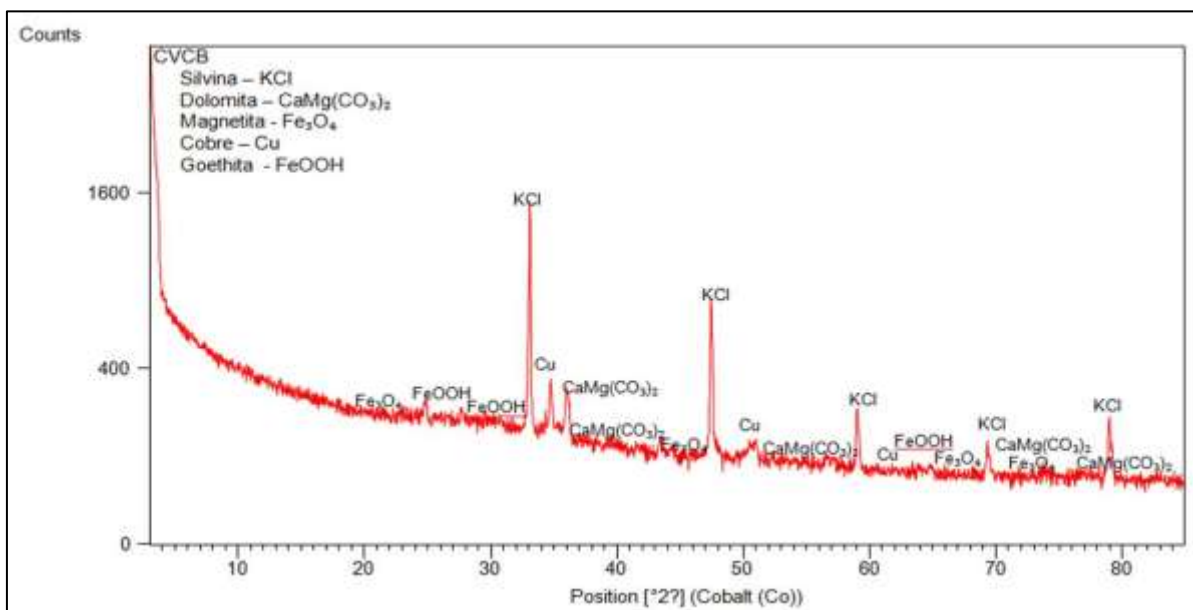
Fonte: Autora (2019).

Nota-se que a Figura 15 ilustra poucos elementos presente em sua amostra, isso acontece pela perda de materiais voláteis, quando o material é submetido a altas temperaturas. (SCREMIN, 2012) As diferenciações de picos que se mostraram em algumas amostras mais intensas acontecem devido aos diferentes pontos que está sendo analisado. (TELLES, 2015). De forma geral, conforme todas as análises do EDS apresentaram uma constituição elementar bastante semelhante, onde se observou a presença dos elementos, carbono e oxigênio, o que justifica a constituição carbonácea das amostras em questão, além da presença de cloro (Cl) e potássio (K), que é comum na composição dos nutrientes minerais no solo. (ROCHA, 2006). A presença desses elementos são resultados que corrobora com o DRX e FRX. Ressalta-se que essa análise representa um ensaio qualitativo quanto à existência de átomos de carbono na estrutura.

4.1.9 Difração de Raios – X (DRX)

Os difratogramas 1, 2, 3 e 4 apresentam os resultados obtidos na análise de Difração de Raios – X da amostra do carvão vegetal e ativado, ilustrando as transformações dos minerais que ocorrem em diferentes tratamentos térmicos.

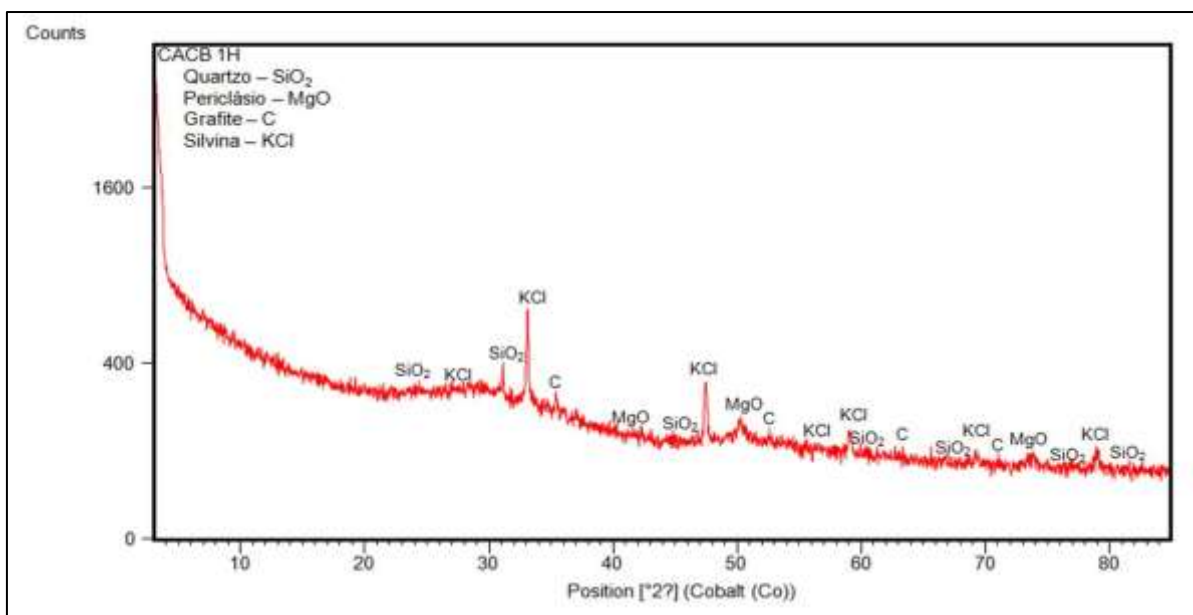
Difratograma 1 - CVCB



Fonte: Autora (2019).

Pela análise do difratograma 1, observa-se que o comportamento do material vegetal apresenta como fase predominante a silvina (KCl) o que pode ser justificado pelas análises químicas que demonstram alto teor de potássio e cloro, proeminentes no carvão vegetal e nos ativados identificados pelo EDS. (CAMPUS, 2014)

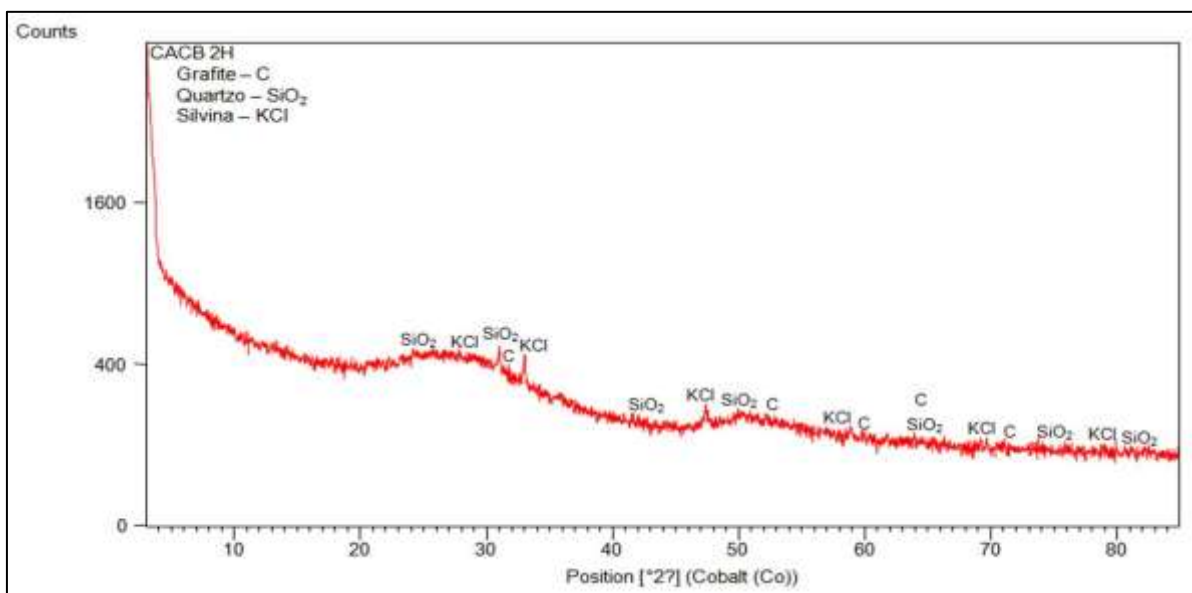
Difratograma 2 - CACB1H



Fonte: Autora (2019).

Nota-se no difratograma 2, que o quartzo (SiO_2), a silvina (KCl), o periclásio (MgO) e grafite (C), foram os minerais predominantes encontrados, em consequência do potássio e cloro serem proeminentes do carvão vegetal e ativado.(MACHADO, 2019).

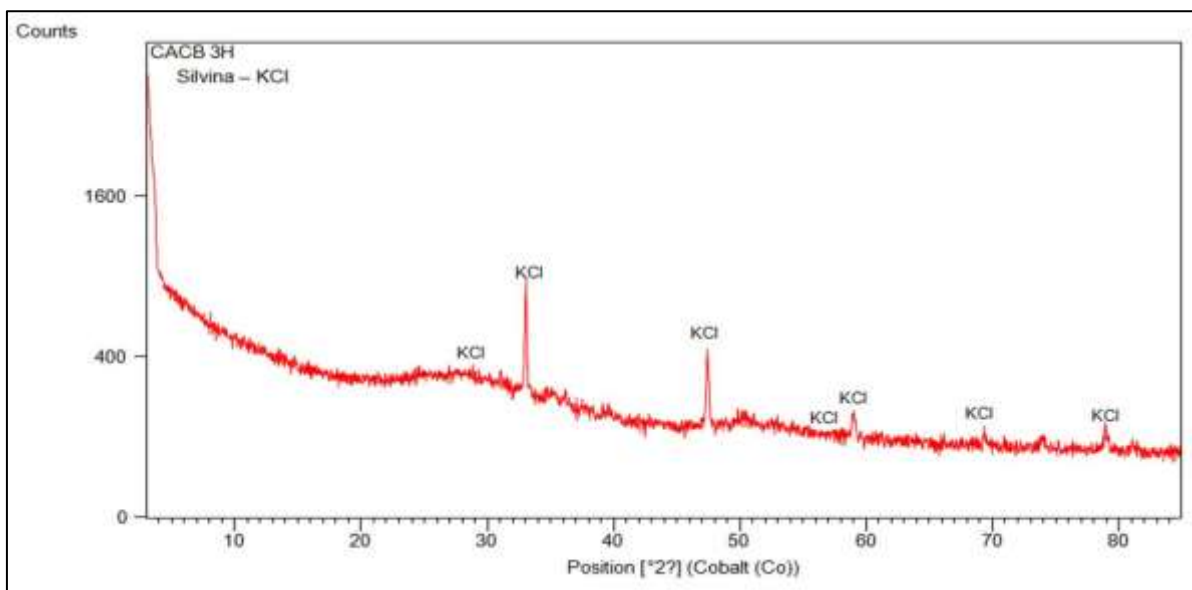
Difratograma 3 - CACB2H



Fonte: Autora (2019).

O difratograma 3 ilustra a presença de quartzo na amostra do carvão. Sua presença normalmente aumenta na formação de cinzas como resultado de possível cristalização da sílica assim como a recristalização de outros silicatos minerais. (MORAIS, 2014).

Difratograma 4 - CACB3H



Fonte: Autora (2019).

Nota-se ao comparar os resultados do DRX que a dolomita, magnetita e goethita não aparecem nas amostras submetidas nas temperaturas mais elevadas, isto ocorre porque durante o tratamento térmico pode ocorrer interações entre os minerais e novas espécies minerais vão aparecendo. A presença de normalmente aumenta na formação de cinzas como resultado de possível cristalização da sílica assim como a recristalização de outros silicatos minerais. Ademais, é perceptível a diminuição de elementos químicos, ao aumento de tempo de exposição para a temperatura de 800 °C, o que confirma a oxidação significativa da matéria orgânica. (OLIVEIRA, 2015). A formação de camada de grafite acontece em temperaturas acima de 400 °C, após a quebra da ligação C – O e C – C entre as temperaturas de 260 °C a 400 °C (MORAIS, 2014).

4.1.10 Fluorescência de Raios – X (FRX)

Na Tabela 10 são apresentados os valores da composição química (FRX), expressa na forma de óxidos, determinada pelas amostras estudadas.

Tabela 10- FRX da Amostra Estudada

Amostras	K₂O (%)	SiO₂ (%)	Cl (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na₂O (%)	P₂O₅ (%)
CVCB	36,37	18,04	10,91	9,05	6,74	4,65	2,50
CACB 1H	37,24	14,09	9,01	11,10	7,75	7,06	2,85
CACB 2H	25,69	38,42	4,74	7,76	4,32	7,87	1,93
CACB 3H	33,35	25,50	7,09	9,25	7,07	5,82	2,85

Fonte: Autora (2019).

Os resultados obtidos demonstram que os elementos predominantes tanto no carvão vegetal quanto nos ativados foram o K₂O, SiO₂, Cl e MgO. Segundo Speight (2013), as fases minerais presentes confirmam os resultados do DRX e na literatura, que citam sulfetos, carbonatos e quartzo como os minerais mais comuns nos carvões. A composição da matéria mineral desempenha importante papel durante as análises químicas, principalmente quando há a ativação térmica, as quais são realizadas, geralmente, em torno de 815°C e em condições oxidantes, onde quase todas as famílias minerais sofrem o processo de oxidação. (SILVA, 2016)

4.2 Espectrofotômetro de absorção atômica

Os resultados obtidos no presente estudo demonstraram a redução na concentração na solução de cobre (II), obtida no ensaio de adsorção conforme a Tabela 11.

Tabela 11 - Percentual de Remoção de Cu (II)

Amostra	T (min)	Ci (mg/L)	MCf (mg/L)	ΔC	R %
BRANCO	60	48,4407	48,4407	0,00	0,00
CAB1H	60	48,4407	0,0954	48,3453	99,80
CAB2H	60	48,4407	2,1370	46,3037	95,58
CAB3H	60	48,4407	0,2979	48,1428	99,38

Fonte: Autora (2019)

Os resultados obtidos na Tabela 11 demonstram a diminuição da concentração da solução submetida ao processo de adsorção, pois os valores da concentração foram inferiores em relação a solução bruta. O rendimento percentual de remoção de 1 h e 3 h apresentou um excelente percentual de remoção, acima de 98%; este resultado é próximo dos valores obtidos por trabalhos de Pinto (2011), 97, 23%, e Melo (2012), 99,32%, tal diferença pode ser resultado da queima e ativação em fornos diferentes.

Devido às eficiências de remoção aproximadas, escolheu-se a amostra de CACB1H como o melhor carvão ativado a 800°C, devido ao maior percentual de remoção de Cu (II), além de se apresentar em destaque para as análises químicas imediatas. Quadros (2014), diz que, se a coloração dos efluentes do tingimento pudesse ser totalmente eliminada, através de um processo eficiente de adsorção, estes poderiam ser reutilizados para outros processos como enxágues, limpeza ou tingimento, com consequência na economia de consumo de água da indústria.

4.2.1 Determinação do pH

O resultado do pH da amostra “branco”, foi de 4,01, que é o pH natural da solução de sulfato de cobre (II). Segundo Melo (2012), dependendo da temperatura de ativação, os carvões ativados podem ser considerados como ácidos, quando ativados a temperatura de 200 a 400°C ou básicos, quando ativados a temperaturas de 800 a 1000 °C. Para as amostras do carvão ativado da casca de buriti, ativados a 800 °C foram obtidos os seguintes resultados, apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – pH médio do CACB

Amostra	pH	Caracterização do CACB
BRANCO	4,65	Ácido
CACB1H	9,76	Base
CACB2H	8,54	Base
CACB3H	9,50	Base

Fonte: Autora (2019).

O pH das amostras entra de acordo com a literatura, pois apresentaram o caráter básico, por ter sido submetido a uma temperatura de 800°C. Nos resultados médios do pH obtido do Pinto (2011) de 10,70 e Melo (2012) de 10,10, observa-se que ambos apresentaram o caráter básico, submetidos na mesma temperatura, tendo o pH da CACB1H o valor que ficou mais próximo dos autores citados. Verifica-se que a porcentagem de adsorção é maior quanto maior o pH final da solução aquosa, a adsorção ocorre com maior eficiência com pH 9,76 onde a adsorção apresentou 99,80%, Isso poderia ser explicado pela presença de maior número de sítios adsorvedores na superfície do carvão nessa faixa de pH, o que aumentaria a tendência de interação com os íons de cobre. Esse resultado demonstra que é importante controlar o pH, devido a competição que ocorre entre os íons do cobre e os íons H⁺ presentes na solução pelos sítios do carvão, essa captura pode ser justificado devido a associação e dissociação de alguns grupos funcionais do material.

5 CONCLUSÃO

O adsorvente Carvão Ativado da Casca de Buriti (CACB), ativado a 800°C por um período de 1h (CACB1H) se apresentou como melhor material para a avaliação de eficiência de remoção de cobre (II), por meio da adsorção; pois dentre os materiais produzidos, o CACB1H teve o pH próximo de 10, o que facilita a adsorção de muitos elementos. Isto fica evidente nos resultados da composição química imediata, onde se apresentou como destaque nos cálculos de rendimento (60%), material volátil (40%), teor de cinzas (7,38%) e carbono fixo (52,62%), bem como as demais caracterizações do (MEV-EDS), no qual a morfologia foi capaz de identificar a presença de poros na estrutura entre os materiais (CVCB, CACB1H, CACB2H e CACB3H), onde essa abertura porosa acontece com a eliminação do material volátil e é proporcional ao tempo de ativação; ademais, a análise do espectro confirmou a presença do elemento carbono (C) em sua composição. Verificou-se pelas análises do FRX e DRX a presença de quartzo e silvina, composição característica de carvão de origem orgânica. Logo, o CACB pode representar uma alternativa original como material adsorvente no tratamento de águas residuárias que contenha cobre (II), pois eles tornam-se rejeito comum quando o fruto é utilizado na culinária ou pela produção e extração de óleo.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Produzir carvão ativado adotando a ativação química do mesmo material;
- Efetuar o processo de adsorção em leito fixo;
- Efetuar o estudo de remoção com outros íons metálicos ou corantes;
- Realizar ensaios com efluentes industriais.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Carvão Vegetal: Análise Imediata**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986 (NBR 8112).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Carvão vegetal: Determinação da Densidade Relativa Aparente, Relativa verdadeira e Porosidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1985 (NBR 9165).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Carvão ativado pulverizado - Determinação granulométrica**. Rio de Janeiro; ABNT, 1991 (NBR 12075).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal – Análise imediata. São Paulo, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Determinação da densidade básica. São Paulo, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7353**: Soluções aquosas - Determinação do pH com eletrodos de vidro. São Paulo, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8299**: Carvão Mineral - Determinação do carbono fixo. Rio de Janeiro, 1983.
- ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica (BRASIL)**. Atlas de Energi Elétrica do Brasil - Brasília, 2011. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>. Acesso em: 08 de Abril de 2019.
- ARVELOS, Sarah. **Modelagem termodinâmica da Adsorção de Gases: um Estudo teórico-Computacional Sobre Sistemas Não-Ideais**. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21526/1/ModelagemTermodinamicaAdsorcao.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2019.
- BANDOSZ, T. J. Activated Carbon Surfaces in Environmntal Remediation. **Elsevier**.- New York: p. 571, Vol. 7. 2006.
- BARBOSA, R. I., LIMA A. D. e MOURÃO JÚNIOR M. **Biometria de frutos do buriti *Mauritia flexuosa* L.f. – Arecaceae: Produção de polpa e óleo em uma área de savana em Roraima**.Amazônia: Ci & Desenvolvimento. Belém, Vol. 5. 2010.
- BOUCHELTA, C. et al. Preparation and Characterization of Activated Carbon From Date Stones By Physical Activation With Stream. **Journal of Analytical Applied Perolysis**. Amsterdã. p. 70-77, Vol. 82. 2008.
- BRANCO, Pércio de Moraes **Carvão Mineral**. Serviço Geológico do Brasil. Canal Escola, 18 de Agosto de 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Carvao-Mineral-2558.html>. Acesso em: 08 de Março de 2019.

BRASIL. **Anuário Mineral do Estado do Rio Grande do Sul**. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ano base 2016. Brasília: DNPM, 2017.

BRASIL. **Carvão Mineral - Plano Nacional de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia - Colaboração de Empresa de Energia Elétrica. Brasília: MME, EPE. Vol. 12. 2010.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde**. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, .Vol. p. 212. 2006.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2010.

BRITO, José Otavio. **Princípios de Produção e Utilização de Carvão Vegetal de Madeira**. Tese de Doutorado. Departamento de Ciências Florestais - Universidade de São Paulo, 19 de Maio de 1990. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/docflorestais/cap9.pdf>. Acesso em: 11 de Março de 2019.

BURITI. **Portal São Francisco**. Buriti. 2015. Disponível em: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/alimentos/buriti>. Acesso em: 06 de Março de 2019.

CAMPOS, J.D.R.. **Preparação e Caracterização de Carvão Ativado Impregnado com Prata**: 54º Congresso Brasileiro de Química. 2014. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2014/trabalhos/12/4603-18927.html>>. Acesso em: 11 jul. 2019.

CARRIJO O.A, Liz RS. e MAKISHIMA N. **Fibra da casca de coco verde como substrato agrícola**, Horticultura Brasileira- Brasília, Vol. 20. pp. 533-535. 2002.

CARVALHO, Cecília Oliveira. **Comparação entre Métodos de Extração do Óleo de Mauritia Flexuosa L.F. (Arecaceae - Buriti) para o Uso Sustentável na Reserva de Desenvolvimento Tupé: Rendimento e Atividade Antimicrobiana**. Universidade do Estado do Amazonas – UEA. Escola Superior de Ciência da Saúde. Manaus, 2011.

CASTILLA, M. C. **Eliminación de Contaminantes Orgánicos de las aguas mediante adsorción em materiales de carbón**. Departamento de Química Inorgánica - Faculdade de Ciências - Universidade de Granada. - Espanha, 2004.

COSTA, Franciele Oliveira, SILVA André Miranda e CARVALHO Emanuel. **Carvão Ativado e suas Propriedades**. I Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB. Paraíba, 2015.

COSTA, P. D., Furmanski L. M. e Domingui L. Produção, Caracterização e Aplicação de Carvão Ativado de Casca de Nozes para Adsorção de Azul de Metileno. **Revista Virtual de Química**. Criciúma-SC, 2015.

DANA, James. **Manual de Mineralogia**. Rio de Janeiro, 1969.

DEMIRAL, H., DEMIRAL I. e KADADADAKOGLU B. **Production of activated carbon from olive bagasse by physical activation**. Chemical Engineering Research and Design- 2011.

DENG, Hui et al. Optimization of Preparation of Activated Carbon from Cotton Stalk by Microwave Assisted Phosphoric Acid-Chemical Activation. **Journal of Hazardous Materials**. Amsterdam - Holanda, p. 217-224. 182: Vol. 160. 2010.

DI BERNARDO, L. e DANTAS A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. São Carlos, Vol. p.1565. 2005.

DORNELA, Paulo et al. **Utilização de finos do carvão vegetal para produção do biocoque metalúrgico**. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Rota-do-carvao-mineral-e-vegetal-1_fig1_311946796>. Acesso em: 17 jul. 2019.

DUBUNI, M. M. **Adsorption equations for active carbons with inhomogeneous microporous structures**. Carbon, v. 17, p. 505-506, 1979.

FAO. **Região da América Latina e Caribe é a Segunda Maior Produtora do Carvão do Mundo**. Food and Agriculture Organization of the United Nations - 23 de Março de 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/853969/>. Acesso em: 11 de Março de 2019.

FERNANDES, R. **Adsorventes Alternativos Para Remoção de Fenol em Solução Aquosa**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

GASPARD, S., ALTENOR S. e DAWSON E. A. Ouensanga, A. Activated carbon from vetiver roots: Gas and liquid adsorption. **Journal of Hazardous Materials**. 2007.

JUNIOR, Orlando Ferreira. **Produção de Carvão Ativado a partir de Produtos Residuais de Espécies Nativas da Região Amazônica**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Manaus, 2016.

KLEINUBING, J. S. **Remoção de Cádmio, Chumbo e Cobre utilizando zeólita natural clinoptilolita em coluna de leito fixo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006.

KURAUCHI, M. H. N. **Uma abordagem de ensaio de resistência mecânica de carvão vegetal**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais- São Paulo, 2014.

LUZ, E. Jr. G. et al. Direct synthesis and characterization of LaSBA-15 mesoporous molecular sieves. **Journal of materials Science**, Vol. 45. 2010.

MAIA, B. G. O., SOUZA O. e MARANGONI C. **Production and Characterization of Fuel Briquettes from Banana Leaves Waste**. Chemical Engineering Transactions. 2014.

MACHADO, Janaína. **Avaliação da Reatividade do Carvão Vegetal, Carvão Mineral Nacional e Mistura Visando a Injeção em Altos-Fornos**. 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/22732/1/EveraldoDantasDeMoraes_DISSERT.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2019

MANHÃES, Luciana R. T. **Characterization of the buriti pulp (*Mauritia flexuosa*, Mart.) with use as functional food**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro- Seropédica, 2007.

MARRARA, Danilo A. F. **Filtração lenta em areia, manta não tecida e carvão ativado como pós-tratamento de efluentes doméstico e reúso**. Dissertação - Programa de Pós - Graduação - Campinas Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Civil - Arquitetura e Urbanismo, 2005.

MATOS, João. **Formação do Carvão Fóssil e Mineral**. 2010. Disponível em: <<http://muchaquimicaever.blogspot.com/2013/10/formacao-do-carvao-fossilmineral.html>>. Acesso em: 17 jul. 2019.

MELO, Selma dos Santos. **Produção do Carvão Ativado a partir da Biomassa Residual da Castanha do Brasil (*Bertholletia Excelsa* L.) para Adsorção do Cobre (II)**. Dissertação - Mestrado Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia - Programa de Pós Graduação em Engenharia Química.- Belém, 2012.

MILIARUM, **Contaminación por metales pesados**. Site institucional. Disponível em: <http://www.miliarium.com/Proyectos/Suelos/Manuales/Contmetalespesados.asp>. Acesso em: 28 de Abril de 2019.

MORAIS, Everaldo Dantas de. **Produção do carvão ativado a partir do mesocarpo do coco-da-baía (*cocosnuciferalinn*) utilizando H₃PO₄, CH₃COONa e KOH como ativantes**. 2014. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

MORENO, C. Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. **Journal Elsevier**, Vol. 42. 2004.

OLIVEIRA, Fernanda Campus de. **Avaliação da Interação entre o Persulfato com Solos Brasileiros para Utilização da Tecnologia de Remediação por Oxidação Química In Situ**. 2015. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-07072016-113012/publico/FernandaCamposdeOliveiraCorr15.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2019

PEREIRA, E. **Preparação do Carvão Ativado em Baixas Temperaturas de Carbonização a partir de Rejeitos de Café: Utilização de FeCl₃ como Agente Ativante**. Química Nova - Minas Gerais, Vol. 31. 2008.

PEZOTI, Osvaldo Jr e CAZETTA André L. Adsorption studies of methylene blue onto ZnCl₂ – activated carbon produced from buriti shells (*Mauritia Flexuosa* L.). **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. Amsterdam, Holanda, 2014.

PINHEIRO, P. C. C., SAMPAIO R. S. e REZENDE MEA. **A Produção do Carvão Vegetal: Teoria e Prática**. Mestrado de Engenharia de Materiais - Universidade Federal de Minas Gerais. Brasília, 2006.

PINTO, Marcos V. S. **Obtenção e Caracterização do Carvão Ativado de Caroço de Buriti (*Mauritia Flexuosa* L. F.) para Avaliar o Processo de Adsorção de Uma Solução de Cu**

(II). Universidade Federal do Pará - Instituto de Tecnologia - Programa de Pós Graduação em Engenharia Química.- Belém, 2011.

QUADROS, S.S. **Tratamento e Reutilização de Efluentes Têxteis Gerados nos Tingimentos de Tecidos de Algodão**. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado) - Universidade Regional de Blumenau, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Programa de Pós-Graduação em Química.- Blumenau, 2014.

REMÉDIOS, C. M. R. et al. **Estudo espectroscópico de óleos derivados de frutos da palma**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais., 2006.

REZENDE, J. B. e SANTOS A. C. A Cadeia Produtiva do Carvão Vegetal em Minas Gerais: Pontos Críticos e Potencialidades. **Journal Elsevier BV**. 23 de Maio de 2013.

ROCHA, Caroline. **Os produtos alimentícios feitos com o buriti podem ser produzidos pelas comunidades extrativistas e pelas agroindústrias**. 2015. INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.. Disponível em: <<http://portal.inpa.gov.br/index.php/component/content/article?id=2260>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

ROCHA, Welca. **Carvão Ativado a partir de Resíduos Agrícolas e suas Aplicações na Adsorção de Íons Metálicos**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Mineral - Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, 2006.

RODRIGUES, Reinoso e SABIO, Molina M. **El Carbón Activado como Adsorbente en Descontaminacion Ambiental**. Laboratorio de Materiales Avanzados, Departamento de Química Inorgánica, Universidade de Alicante - España, 2004.

RUTHVEN, D.M. **Principles of adsorption and adsorption process**. Ed. John Wiley&Sons, New York, 1984.

ROHDE, Geraldo M. **O Mito da Combustão Espontânea do Carvão Vegetal**. 2007.

SALVADOR, Graziela **Estudo da adsorção do cobre (II) usando como adsorvente pó da casca de coco verde ativada com hidróxido de sódio**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Química, 2009.

SANTANA, Gregório M. **Resíduos de Bambu (Bambusa Vulgaris Schard.) para a Produção de Carvão Ativado**. Dissertação - Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira- Lavras: Universidade Federal de Lavras - Minas Gerais, 2014.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de Qualidade da Madeira e do Carvão Vegetal de Clones de Eucalipto**. Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira.- Lavras, 2010.

SCREMIN, A. L. T. **Estudo Energético e Fisicoquímico do Carvão Vegetal de Eucalyptus dunnii Maiden**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste. Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. Guarapuava, 2012.

SILVA S. R.; PROCÓPIO, S.O.; QUEIROZ, T.F.N. & DIAS, L.E. **Caracterização de Rejeito de Mineração de Ouro para Avaliação de Solubilização de Metais Pesados e Arsênio e Revegetação** – (2004) Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832004000100018&script=sci_abstract&tlng=pt. Acessado em 09 de Julho de 2019.

SILVA, Erivanildo Cobre. **Ocorrência, obtenção industrial, propriedades e utilização**. Educação UOU.- 2016.

SING, K. S. et al. **Reporting Physiortion Data For Gas/Solid Systems With Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity** – IUPAC. Pure & Appl. Chem, Vol. 57. 1985.

SOARES, P. S. M., YOKOYAMA L. e FREIRE D. D. C. **Transporte de metais pesados no solo no contexto da disposição de resíduos sólidos**. CETEM/MCT. Rio de Janeiro. 45 p., 2005.

SPEIGHT, J.G. **Mineral Matter**. Handbook of Coal Analysis John Wiley & Sons, New. 2013.

TAVARES, Mario et al. **Composição química e estudo anatômico dos frutos de buriti do Buritizal**. Estado de São Paulo. Minas Gerais, 2003

TELLES, V.B. **Estudo da influencia da sinterização de minérios de ferro na redução por hidrogênio**. 2015. 126 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. Influência das temperaturas finais de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea courbaril*). **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 2, n. 1/2, p. 45-53, 2001.

USGS. **Mineral Commodity Summaries**. 2019. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/centers/nmic/mineral-commodity-summaries>>. Acesso em: 11 jul. 2019

VASSILEV, S. V., BAXTER D. e ANDERSEN L. K. et al. **An overview of the chemical composition of biomass**. Fuel, n. 89- 2010.

VIGISOLO - Boletim da vigilância de populações expostas a solo contaminado. 4p. 2013.
WERLANG, Eliana B. et al. **Produção de carvão ativado a partir de resíduos vegetais**. Revista Jovens Pesquisadores - Santa Cruz do Sul, 1. p. 156-167: Vol. III. 2013.

YAMAMURA, Amanda P. G. e YAMAMURA Mitiko. **Estudo da Cinética e das Isotermas de Adsorção pelo Bagaço de Cana - de – Açúcar**. International Nuclear Atlantic Conference –2005. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/2005/full/2122.pdf>. Aceso em: 28 de Abril de 2019.

YANG, H. **Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis**. Fuel. Vol. 86.2007.