



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

YURI LEON DOS SANTOS SILVA

**PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL E ATIVAÇÃO TÉRMICA
A PARTIR DE RESÍDUOS DE BAMBU (*Bambusa Vulgaris*) PARA
ADSORÇÃO DE COBRE (II)**

ANANINDEUA
2019

YURI LEON DOS SANTOS SILVA

**PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL E ATIVAÇÃO TÉRMICA A PARTIR DE
RESÍDUOS DE BAMBU (*Bambusa Vulgaris*) PARA ADSORÇÃO DE 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. Me. Alacid do S. Siqueira Neves.

Coorientadora: Bel. Brenda Thayssa Figueira Daniel.

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)

S586p Silva, Yuri Leon dos Santos
Produção de carvão vegetal e ativação térmica a partir de
resíduos de bambu (*bambusa vulgaris*) para adsorção de cobre (II) /
Yuri Leon dos Santos Silva. — 2019.
72 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Me. Alacid do Socorro Siqueira Neves
Coorientador(a): Profª. Bel. 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. Carvão Ativado. 2. Adsorção. 3. Bambu. 4. Cobre (II). I.
Título.

CDD 660.284235

YURI LEON DOS SANTOS SILVA

**PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL E ATIVAÇÃO TÉRMICA A PARTIR DE
RESÍDUOS DE BAMBU (*Bambusa Vulgaris*) PARA ADSORÇÃO DE 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.

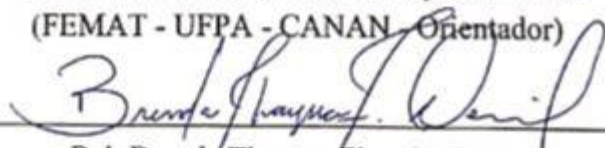
Data da Avaliação: 16 / 07 / 2019

Conceito: EXCELENTE

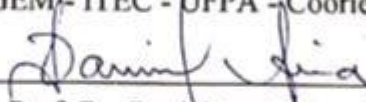
BANCA EXAMINADORA:



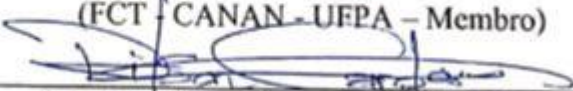
Prof. Me. Alacid do Socorro Siqueira Neves
(FEMAT - UFPA - CANAN - Orientador)



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



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



Eng. Dr. Dilson Nazareno Pereira Cardoso
(FEQ - ITEC - UFPA - Membro Externo)

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por iluminar meu caminho durante esta longa jornada, aos meus pais, ao meu irmão, a minha avó, aos meus professores e amigos que me ajudaram no desenvolvimento desta monografia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS pela minha existência, porque nada nos é possível se não for da Sua vontade.

Ao meu pai Leno Efferson Loureiro Silva e a minha mãe Jonelma Sousa dos Santos, ao meu irmão Felipe Efferson dos Santos Silva por sempre permanecerem ao meu lado, me incentivando, apoiando e acreditando no meu potencial.

A minha avó Nazaré Gilda pelo incentivo, investimento e vários conselhos em todas as vezes que passei em sua casa durante essa jornada.

Agradeço a Larissa Tavares Esquerdo por me apoiar, ser incondicional companheira, compreensiva, paciente, dedicada e suportar comigo inúmeras dificuldades todas as manhãs na faculdade. Sua presença significou segurança e a certeza de que nunca estive sozinho nessa caminhada, sempre estive ao meu lado durante o curso, etapa importante de nossas vidas.

Aos amigos que conquistei neste curso Maycon Ruan, Kevenn Holanda, Arthur Machado, Bianca Carvalheira, aos colegas do *Campus* Universitário de Ananindeua e as Turmas de C&T 2014, 2015 e 2016.

Ao meu Orientador Professor Me. Alacid Neves e Coorientadora Bel. Brenda Daniel, pela confiança, dedicação, correções, ensinamentos e todo conhecimento repassado no desenvolvimento deste trabalho.

A administradora Gina Calzavara que permitiu a coleta dos resíduos de bambu do Bosque Camilo Viana e a querida Raimunda Maia pelas análises de MEV e MEV/EDS.

Ao amigo Erik Pires, Bibliotecário do *Campus* Universitário de Ananindeua, pela ajuda nas compreensões técnicas, normalização e amizade.

Aos amigos Kelvin Pinheiro e Jéssica Caroline do LABEM, pelo apoio desde o estágio supervisionado.

Agradeço a todos que de alguma forma ajudaram na minha experiência acadêmica e construção deste trabalho.

“Amarás, pois, ao Senhor teu Deus de todo o teu coração, e de toda a tua alma, e de todo o teu entendimento, e de todas as tuas forças; este é o primeiro mandamento. E o segundo, semelhante a este, é: Amarás o teu próximo como a ti mesmo. Não há outro mandamento maior do que este. ”

Marcos 12:30-31

RESUMO

O carvão ativado (CA) é um produto essencial para remoção de contaminantes ambientais, contudo os altos custos de produção limitam seu uso eficaz no tratamento de efluentes que prejudicam comunidades, porém vários estudos objetivam encontrar materiais orgânicos de fontes renováveis, de baixo custo e com menor impacto ambiental. Logo, este trabalho tem como objetivo produzir carvão vegetal a partir do caule do bambu (*Bambusa Vulgaris*), resíduo do processo de paisagismo do Bosque Camilo Viana - UFPA, e ativá-lo termicamente em diferentes temperaturas para verificar a eficiência do processo de adsorção. O Bambu foi coletado, lavado e secado em estufa a 105 °C por 24 horas. Os carvões foram carbonizados a 550 °C por 3 horas e ativados termicamente a 800 °C em tempos de 1, 2 e 3 horas e posteriormente, por meio dos ensaios de adsorção, identificou-se o melhor tempo de ativação do CA. Para a caracterização dos carvões vegetal e ativados foram realizadas análises em MEV, DRX, MEV-EDS e FRX, onde foi possível determinar que o carvão ativado a 800 °C pelo tempo de 2 horas (CAB 2H) se apresentou como melhor adsorvente para a adsorção de íons de cobre (II), com índices acima de 95%, determinado pelo método de absorção atômica, onde o pH da solução demonstrou caráter alcalino de 8,37. A morfologia do material (MEV) ilustrou estrutura porosa que, quando analisada pelo espectro (MEV/EDS) confirmou sua característica carbonácea pelo alto teor de carbono (C); ademais, o DRX e o FRX confirmaram a elevada presença de potássio (K) e cloro (Cl) na amostra, o que justifica a formação de fases mineralógicas em submissão a altas temperaturas.

PALAVRAS-CHAVE: Carvão Ativado, Adsorção, Bambu, Cobre (II).

ABSTRACT

Activated charcoal (AC) is an essential product for removal of environmental contaminants, however the high costs of production limit your effective use in the treatment of effluents that harm communities, however several studies aim to find organic materials renewable sources, low cost and with less environmental impact. Soon, this work aims to produce charcoal from the stalk of bamboo (*Bambusa Vulgaris*), the landscaping process residue Woods Camilo Viana-UFPA, and activate it thermally at different temperatures to check the efficiency of the adsorption process. The bamboo was collected, washed and dried in an oven at 105° C for 24 hours. The coals were charred to 550° C for 3 hours and thermally activated the 800° C in times of 1, 2 and 3 hours and subsequently, by means of adsorption tests identified the best the approx. uptime For the characterization of vegetable coals and activated were rea overall analysis on SEM, XRD, SEM-EDS and FRX, where it was possible to determine that the activated charcoal to 800° C for 2 hours (CAB 2:00) performed as best adsorbent for adsorption of copper ions (II), with indexes above 95%, determined by the absorption method Atomic, where the pH of the solution has shown alkaline character 8.37. The morphology of the material (MEV) illustrated porous structure that, when analyzed by spectrum (EDS) confirmed your carbonácea feature for high carbon (C); Furthermore, the DRX and FRX confirmed the high presence of potassium (K) and chlorine (Cl) in the sample, which justifies the formation of mineralogical phases in submission to high temperatures.

KEY WORDS: Activated Carbon, Adsorption, Bamboo, Copper (II).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bambuzal da Espécie Vulgaris.....	18
Figura 2 - Cadeia de Transformação do Bambu.....	21
Figura 3 - Percentual de Carbono no Carvão Mineral.....	23
Figura 4 - Estrutura porosa do carvão ativado.....	26
Figura 5 - Formas de uma isoterma de adsorção.....	28
Figura 6 - a) Bosque Camilo Viana; b) Resíduos de Bambu (Bambusa Vulgaris).	34
Figura 7 - a) Touceiras coletadas; b) Amostras de bambu.....	34
Figura 8 - Carbonização do Bambu.....	35
Figura 9 - a) Peneiramento; b) Fração de 80 mesh.....	36
Figura 10 - a) Cadinho com tampa; b) Carvão ativado de 3 horas.....	37
Figura 11 - Equipamento para Análises em MEV e EDS.....	41
Figura 12 - a) Prensa compactadora PCA 40; b) Equipamento para análises em FRX.....	42
Figura 13 - a) CAB 2h em agitação; b) Amostras após o ensaio de adsorção	43
Figura 14 - MEV da amostra CVB.....	50
Figura 15 - MEV da amostra CAB 1H.....	51
Figura 16 - MEV da amostra CAB 2H.....	52
Figura 17 - MEV da amostra CAB 3H.....	53
Figura 18 - EDS da amostra CVB.....	54
Figura 19 - EDS da amostra CAB 1H.....	55
Figura 20 - EDS da amostra CAB 2H.....	55
Figura 21 - EDS da Amostra CAB 3.....	56
Figura 22 - DRX do CVB	57
Figura 23 - DRX do CAB 1H.....	57
Figura 24 - DRX do CAB 2H.....	58
Figura 25 - DRX do CAB 3H.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtividade de algumas espécies de bambu.	19
Tabela 2 - Setores industriais com elevada presença de metais pesados em seus efluentes. ...	31
Tabela 3 - Identificação dos carvões produzidos.....	37
Tabela 4 - Rendimento e Material Volátil dos Carvões.....	45
Tabela 5 - Valores percentuais do conteúdo de cinzas	46
Tabela 6 - Carbono Fixo do Material.....	47
Tabela 7 - Resultado Médio da Massa Específica Aparente	48
Tabela 8 - Valores Médio da Massa Específica Real	48
Tabela 9 - Porosidade Média dos Carvões.	49
Tabela 10 - Percentuais da composição química pela análise de FRX.....	60
Tabela 11 - Eficiência de remoção de Cu (II)	61
Tabela 12 - Determinação do pH.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM.....	American Society for Testing and Materials
ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CVB.....	Carvão Vegetal de Bambu
CAB.....	Carvão Ativado de Bambu
pH.....	Potencial Hidrogeniônico
CM.....	Carvão Mineral
CV.....	Carvão Vegetal
CA.....	Carvão Ativado
Cu.....	Cobre
µm.....	micrômetro
g.....	grama

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Justificativa.....	15
1.2	Objetivos.....	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Aspectos gerais do bambu	17
2.1.1	Propriedades do bambu	17
2.2	Produção do bambu	18
2.3	Aplicações	20
2.4	Tipos de Carvão.....	22
2.4.1	Carvão Mineral (CM)	22
2.4.2	Carvão Vegetal (CV)	23
2.5	Carbonização	24
2.6	Carvão Ativado (CA)	25
2.7	Adsorção	26
2.8	Isotermas de Adsorção	27
2.9	Cobre	30
3	METODOLOGIA	32
3.1	Localização das práticas experimentais.....	33
3.2	Produção do Carvão Ativado.....	33
3.2.1	Obtenção dos resíduos de bambu	33
3.2.2	Preparação do material.....	34
3.2.3	Processo de carbonização.....	35
3.2.4	Pulverização e classificação por peneiramento	35
3.2.5	Processo de ativação	36
3.3	Caracterização dos carvões vegetal e ativado.....	37
3.3.1	Rendimento do Carvão (RC).....	37
3.3.2	Rendimento do Carvão Ativado (RCA).....	38
3.3.3	Teor de Cinzas (TC)	38
3.3.4	Carbono Fixo (CF).....	39
3.3.5	Massa Específica Aparente (MEA)	39

3.3.6	Massa Específica Real (MER)	40
3.3.7	Porosidade	40
3.3.8	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	41
3.3.9	Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)	41
3.3.10	Difração de Raios – X (DRX)	42
3.3.11	Fluorescência de Raios – X (FRX)	42
3.4	Ensaio de adsorção	43
3.5	Determinação do pH.....	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
4.1	Caracterização dos carvões vegetal e ativado.....	45
4.1.1	Determinação do Rendimento Gravimétrico.....	45
4.1.2	Teor de Cinzas (TC)	46
4.1.3	Carbono Fixo (CF).....	47
4.1.4	Massa Específica Aparente (MEA)	47
4.1.5	Massa Específica Real (MER)	48
4.1.6	Porosidade	49
4.1.7	Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV.....	49
4.1.8	Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV-EDS)	54
4.1.9	Difração de Raios – X (DRX)	56
4.1.10	Fluorescência de Raios – X (FRX).....	59
4.1.11	Espectrometria de Absorção Atômica	60
4.1.12	Determinação do Ph.....	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
6	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	64
	REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

No Brasil há uma grande disponibilidade de biomassa, na forma de florestas nativas, muito embora seus usos indiscriminados tenham causado prejuízos ambientais, com isso faz-se necessário a utilização de biomassa proveniente de fontes renováveis, tais como cana-de-açúcar, bambu, eucalipto entre outros. Alguns setores industriais têm aplicado grandes esforços para a produção de seus próprios insumos e assim se tem utilizado resíduos de materiais orgânicos e inorgânicos na produção de carvão ativado (NASCIMENTO, 2014).

A demanda mundial por carvão ativado (CA) tem crescido consideravelmente, com projeções de taxas de crescimento acima de 8% ao ano até 2018; esse fato deve-se a maior rigidez sobre as normas que regulamentam a contaminação do meio ambiente em todo o mundo (MORAIS, 2017). Uma alternativa a essa problemática são estudos feitos com a utilização do bambu e outras matérias-primas de baixo custo de resíduos agrícolas ou rejeitos industriais, para a produção de carvão ativado, onde a adsorção é uma operação que apresenta resultados positivos na remoção de íons metálicos (MELO, 2012).

Metais como Cu (Cobre), Hg (Mercúrio), Cr (Cromo) e Ag (Prata), entre outros, estão presentes em resíduos produzidos e despejados por indústrias de diversos ramos de atividades tecnológicos, os quais podem causar efeitos nocivos através dos seus efluentes industriais à saúde do homem, dos animais e das plantações, quando ingeridos ou usados de forma desordenada, e por isso são de total interesse das autoridades públicas (MELO, 2012).

Dos vários metais presentes nos resíduos industriais, o cobre é um exemplo de metal que, dependendo do seu estado de valência e alta concentração na água, pode causar potenciais efeitos patológicos quando ingeridos como doenças gastrointestinais, além de danos aos rins e ao fígado (MELO, 2012).

No Brasil a principal aplicação do bambu ainda se limita a utilização do material em sua forma *in natura*, com características artesanais, de baixo apelo estético/funcional e de pouca transformação como matéria prima (ORTHEY, 2015), porém estudos utilizando os resíduos de bambu oriundos de paisagismos, de manutenção de parques ou de áreas verdes na produção de carvão se intensificaram.

Segundo Pereira e Beraldo (2008, apud HSING, 2011), o bambu é uma planta de rápido crescimento e que apresenta propriedades físicas e mecânicas comparáveis à de muitas madeiras. Essas características fazem com que o bambu possa ser utilizado como substituto da madeira, em diversas aplicações. Como na produção de carvão ativado, cujo, o processo de

ativação ocorre após a carbonização e consiste em submeter o material carbonizado a reações secundárias, visando o aumento da área superficial.

“O aumento do conhecimento e da pesquisa sobre alguns aspectos das espécies de bambu tem tido um impacto econômico significativo, originando novos usos industriais para a espécie” (SILVA, 2016).

A utilização de resíduos de bambu, considerados como a sobra após uma ação ou processo produtivo passam a ser descartados e acumulados no meio ambiente, assim o aproveitamento e destinação desse material possibilitam vários usos (SANTANA, 2014).

Dessa forma, este trabalho visa estudar a utilização dos resíduos de bambu (*Bambusa Vulgaris*), colhidos após manutenção (poda, cortes) do Bosque Camilo Viana – UFPA, para a produção de carvão vegetal, posterior ativação térmica e avaliação da eficiência da sua capacidade de adsorção do carvão em relação na remoção de cobre (II).

1.1 Justificativa

A utilização dos resíduos de bambu como matéria prima na produção de carvão ativado, viabiliza possíveis aplicações no tratamento de efluentes líquidos procedentes de atividades mineradoras e industriais, ademais na remoção de metais pelo processo de adsorção se utiliza carvão ativado de bambu. Com isso, surge como alternativa aos processos tradicionais, pois esse tipo de material pode ser um acumulador de metais de efluentes contendo cobre (II) como principal contaminante (MELO, 2012), tornando viável a produção e utilização do carvão ativado a partir dos resíduos de Bambu (*Bambusa Vulgaris*) devido suas vantagens como rápido crescimento, matéria-prima em abundância e o baixo custo deste material.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho está na produção do carvão vegetal a partir de resíduos de bambu e ativação térmica para a avaliação da eficiência de remoção de cobre (II) pela adsorção.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o carvão vegetal e ativado termicamente através do MEV, EDS, DRX, FRX, teor de carbono fixo e cinzas;
- Verificar o melhor carvão ativado por meio da adsorção do cobre (II);
- Fazer a comparação do carvão ativado em diferentes tempos de ativação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais do bambu

A espécie vegetal conhecida vulgarmente por bambu (*Bambusoideae*) é uma gramínea pertencente a uma das 12 subfamílias de *Poaceae* (DRUMOND, 2017). A maioria das espécies ocorrem com maior incidência nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul, sendo que esta possui uma das maiores florestas nativas de bambu do planeta, localizada na Amazônia Sul-Occidental e que engloba parte do estado do Amazonas e a maior parte do estado do Acre.

A Ásia é o maior centro de biodiversidade do bambu, podendo ser considerada seu berço, principalmente pela grande aceitação da população pela espécie vegetal (SILVA, 2018).

No Brasil, a maioria das espécies de bambus foram trazidas pelos portugueses na época da colonização, os quais introduziram as espécies tropicais exóticas, sendo as mais comuns, a *Bambusa vulgaris* (bambu-verde), *Bambusa vulgaris* variedade vittata (bambu imperial), *Bambusa tuldoides* (bambu comum), *Dendrocalamus gigantes* (bambu gigante ou bambu balde) e *Dendrocalamus latiflonnus* (COSTA, 2004), sendo a espécie vegetal *Bambusa vulgaris* a de maior ocorrência no país (NASCIMENTO, 2014).

2.1.1 Propriedades do bambu

Segundo dados da Associação Brasileira dos Produtores de Bambu (Aprobambu), o Brasil possui, atualmente, 36 gêneros e 254 espécies nativas de bambu distribuídas entre a Mata Atlântica (62%), Amazônia (28%) e Cerrado (10%). O que diferencia o bambu de outros vegetais é a sua alta produtividade, pois em dois anos e meio após ter brotado do solo, o colmo de bambu possui resistência estrutural, não havendo nesse aspecto nenhum concorrente no reino vegetal (OSTAPIV, 2007).

São plantas perenes que apresentam colmos eretos com nós e entrenós (internós) distintos, geralmente são ocos e com casca lenhosa; projetam-se em agrupamentos a partir de uma haste subterrânea chamada rizoma e algumas espécies crescem por volta de 30 centímetros por dia (ESCOLA, 2019).

O caule do bambu é chamado de colmo, pois os nós e os entrenós são bem visíveis e podem ser ocos, e variam bastante de tamanho, os tipos menores possuem de 10 a 15 cm de altura, e as espécies maiores, os colmos medem até mais de 40 m (Figura 1), ou seja, a particularidade de todas as espécies de bambu está na sua velocidade de crescimento, pois há registro de um único broto, da espécie Bambu-moso, que cresceu 4 cm por hora, 1 m em um dia, assim como há espécie, *Bambusa Arundinacea*, que cresceu 91,3 cm em apenas 24 h (APROBAMBU, 2019).

Figura 1 - Bambuzal da Espécie *Vulgaris*



Fonte: APUAMA (2018).

As espécies de bambu são tão firmes quanto elásticos, são flexíveis e a presença abundante de sílica, principalmente na parte interna dos nós do bambu, agrega um valor maior na resistência mecânica. (DRUMOND, 2017).

Dessa forma, a composição estrutural confere aos colmos de bambu uma elevada resistência físico-mecânica como resistência a tração, à compressão, à flexão e ao cisalhamento; leveza e grande flexibilidade, que variam conforme as quantidades de nós, internós e vazios existentes nos internós, de acordo com a espécie, idade e dimensões dos colmos (COSTA, 2014).

2.2 Produção do bambu

Segundo Freire e Beraldo (2017) o bambu ainda não sofreu uma exploração intensa e pode substituir a madeira como principal matéria-prima em um grande número de aplicações.

A baixa industrialização do bambu advém em grande parte do preconceito, por vezes atribuí de forma pejorativa o título de “madeira dos pobres”, pelo motivo que muitas pessoas consideram o bambu, como um material de baixa qualidade (APUAMA, 2018), o que evidentemente não é verdade. Devido às suas múltiplas utilizações e pela facilidade em efetuar o seu plantio, entre os povos asiáticos o bambu é considerado como uma dádiva de Deus, ouro verde da floresta e amigo do homem.

“Por sua histórica influência nas áreas econômica, social, ambiental, cultural e religiosa de vários países, o bambu é visto no oriente como uma planta sagrada” (VENTANIA, 2006).

Em 2011, foi sancionada a Lei N° 12.484, que instituiu a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao cultivo do Bambu, onde o Bambu passa a ser tratado como um produto agrícola, regulamentada a produção da gramínea e transformando-a em ativo ambiental para desenvolvimento socioeconômico regional, sendo assim, disponibilizadas linhas de crédito com taxas de juros e prazos de pagamentos diferenciados para o seu cultivo (BRASIL, 2011). A partir disso, o estabelecimento de políticas públicas de incentivo a pesquisa do Bambu, vem contribuindo significativamente ao desenvolvimento tecnológico proveniente destas ações e políticas (ALMEIDA, 2011). Ademais, para o “*International Network for Bamboo & Rattan*” - INBAR, além dos diferentes produtos gerados a partir do bambu, existem outros que podem ser classificados como produtos tecnológicos e destaca-se a utilização do bambu para produção de carvão ativado (INBAR, 2015). A relação dos dados sobre a produtividade média do vegetal bambu varia bastante, uma vez que dependem da espécie e da região geográfica, como mostra na Tabela 1.

Tabela 1- Produtividade de algumas espécies de bambu.

Espécie	Produtividade / ano	País
<i>Bambusa vulgaris</i>	20 t/ha	Brasil
<i>Bambusa vulgaris</i>	15 t/ha	Índia
<i>Bambusa arundinacea</i>	15 t/ha	Índia
<i>Phyllostachys pubescens</i>	30 t/ha	China
<i>Chusquea culeou</i>	10 a 11 t/ha	Chile
<i>Guadua angustifolia</i>	56 t/ha	Colômbia
<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	70 a 80 t/ha	China

Fonte: Adaptado de OSTAPIV (2007).

Diferente dos países asiáticos e de certos países latino-americanos, no Brasil não se aproveita todo o potencial dessa gramínea, o bambu é mais utilizado em propriedades rurais

de modo artesanal e com poucas aplicações em escala industrial (OSTAPIV, 2007). Contudo, no Nordeste brasileiro são cultivados quarenta mil hectares de *Bambusa vulgaris* para a produção de pasta celulósica, cuja capacidade instalada é de 72.000 toneladas/ano (INBAR, 2015). Entretanto, das matérias-primas lignocelulósicas, esse vegetal possui grandes possibilidades agrônômicas e de aplicações tecnológicas, devido a sua perenidade das touceiras, rápido desenvolvimento vegetativo, ciclos de colheita curtos e elevados níveis de produção. (FREIRE et al., 2017).

2.3 Aplicações

Com incentivo pela Lei nº 12.484/2011, que dispõe sobre a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu, juntamente com a Associação Brasileira de Produtores de Bambu (Aprobambu) (LEMES, 2017), o bambu começou a ser valorizado motivando produtores rurais a destinar suas terras ao cultivo do bambu para a produção de colmos, a extração de brotos, paisagismo, funções ambientais, afim de promover o desenvolvimento socioeconômico regional.

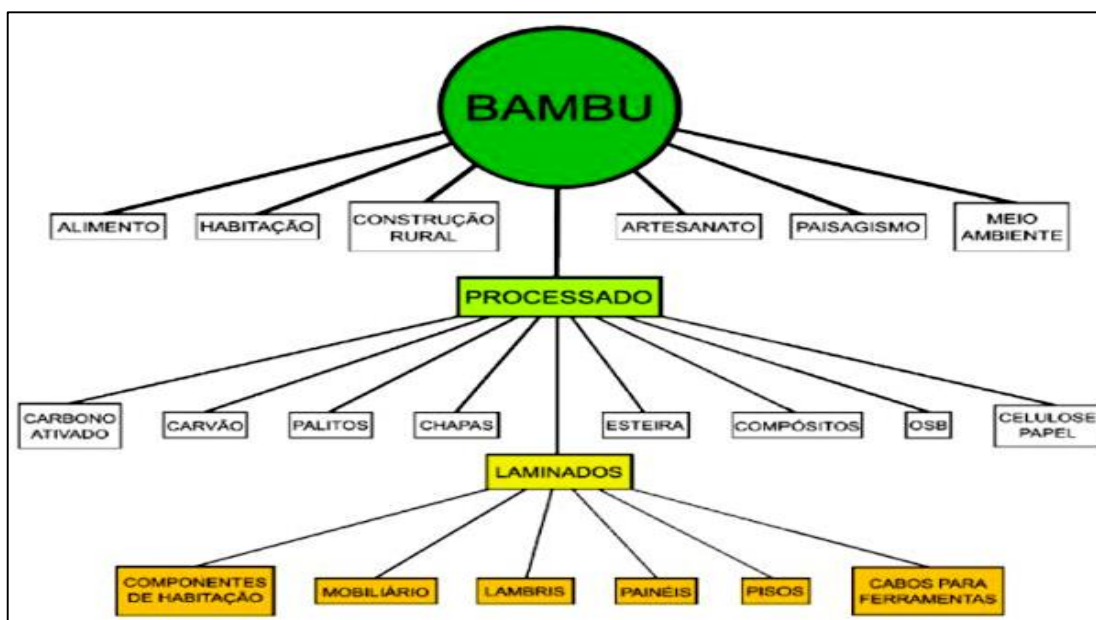
Esse vegetal pode ser utilizado como biomassa energética para energia renovável e energia limpa, aproveitando o crescimento rápido e possuindo inúmeras características para aplicação em obras e arquitetura, pois suas fibras possuem uma considerável resistência mecânica, suportando principalmente aos esforços de tração quando solicitadas (SILVA, 2018).

Diversas pesquisas e estudos, a exemplo do Instituto do Bambu (INBAMBU), apontam a viabilidade técnica, ambiental, social e econômica para o seu uso como material de construção na engenharia civil e matéria-prima industrial. Em Alagoas, foram projetadas casas populares feitas de micro concreto de bambu e raspas de pneu, chamado de pré-moldados, reduzindo em 40% o custo de uma casa convencional (MANHÃES, 2008); ademais no bambu há elemento de conservação e recuperação ambiental, principalmente no controle da erosão, o que permite sua utilização em diversas finalidades, principalmente na Ásia.

Em alguns países as sementes são comidas como grãos ou os brotos são cozidos e comidos como legumes. O gado alimenta-se das folhas, ademais alguns tipos de bambu são esmagados para a fabricação de papel, as hastes de outros tipos são trançadas e usadas como balsas, aplicadas em andaimes ou vigamentos em construções, tubos, mobília, bengalas, varas

de pescar, *hashis* (muito utilizado pelos orientais), estacas para jardim e outros utensílios (ESCOLA, 2019). A Figura 2 demonstra a transformação do bambu em vários produtos.

Figura 2 - Cadeia de Transformação do Bambu.



Fonte: Adaptado de Pereira (2006) apud RODRIGUES (2017).

Há utilização dos resíduos de bambu em indústrias de painéis de madeira reconstituída, compostagem, geração de energia, na compactação e transformação em briquetes, carvão vegetal, produção de carvão ativado, entre outras aplicações.

Como consequência se obteria o retorno econômico, aliado principalmente, a geração de renda e de novos empregos, melhorando a circunstância até em aspectos políticos, sociais e ambientais.

No nordeste brasileiro, especificamente os estados do Maranhão, Pernambuco e Paraíba, com plantios da Empresa CEPASA, somados aos estados de Alagoas e Sergipe (bambu garimpo), possuem grandes reservas de bambu da espécie *Bambusa vulgaris*. As florestas de *Bambusa vulgaris* nestes estados adquirem vantagens econômicas em função da facilidade de adaptação da espécie ao clima, boa produtividade e velocidade de crescimento (SANTANA, 2014).

Diante dos crescentes usos e estudos do bambu, suas diversas aplicações geram resíduos que necessitam de um destino adequado, pois, do contrário, além de ocasionar impactos ambientais, representam grandes perdas de matéria-prima e energia em todo o processo, exigindo soluções mais viáveis, investimentos significativos no tratamento de controle da poluição gerada por eles (PAULA, 2010). Estes resíduos acumulam-se no meio

ambiente e uma alternativa de aproveitar esse material é aumentar o investimento em pesquisas aplicadas para incorporar a produção por meio da pirólise para obtenção do carvão vegetal e sua ativação térmica para fabricação de carvão ativado de bambu (MANHÃES, 2008).

2.4 Tipos de Carvão

2.4.1 Carvão Mineral (CM)

Durante a Revolução Industrial o carvão mineral foi o primeiro combustível fóssil utilizado em larga escala, sendo a principal fonte de energia no final do século XVIII e permaneceu assim até a primeira metade do século XX, momento em que foi superado pelo petróleo (CARDOSO, 2013). Nesse período sua aplicação era voltada para o aquecimento dos altos fornos das siderúrgicas de onde o aço era fabricado, além da alta aplicação em usinas termoeletricas para a produção de eletricidade e na indústria química para produção de corantes, explosivos, inseticidas, plásticos, medicamentos e fertilizantes (MOURA, 2010).

Este combustível fóssil foi muito utilizado para movimentar as máquinas a vapor que deram grande impulso no desenvolvimento da indústria; entretanto, a queima do carvão mineral emite gases que contribuem para a formação da chuva ácida, do efeito estufa e do aquecimento global.

O carvão mineral pode ser encontrado no subsolo, e por isso, é classificado de acordo com seu teor de carbono (Figura 3): quanto mais carbono, maior seu nível de pureza e material energético. Tudo depende da profundidade e das condições de temperatura e pressão em que o carvão está sendo submetido (MACHADO, 2016.). Ou seja, quanto mais o carvão for submetido ao intemperismo, maior será a formação de diferentes tipos de carvão aumentando o seu percentual de carbono.

Figura 3 - Percentual de Carbono no Carvão Mineral.



Fonte: MACHADO, 2016.

As reservas conhecidas de carvão mineral concentram-se principalmente nos estados do Sul do Brasil, que somam 99,97% dos recursos identificados de carvão no Brasil, sendo 89,27% no Rio Grande do Sul, 10,38% em Santa Catarina e 0,32% no Paraná (GAVRONSKI, 2007).

2.4.2 Carvão Vegetal (CV)

O Brasil tem a maior produção e consumo mundial de carvão vegetal de madeira, destinando grande parte de sua produção a industrial siderúrgica (SANTOS et al., 2011). O carvão vegetal é obtido pela combustão incompleta de certos tipos de madeira, que são utilizados em fogões, lareiras, churrasqueiras, aquecedores e fogões à lenha. A combustão incompleta do carvão vegetal forma um material adsorvente (carvão ativado), muito usado pela medicina, por exemplo (BRANCO, 2014).

Devido aos grandes impactos que se tem pela queima do carvão mineral, principalmente por conta da emissão dos gases provocados, existe uma ampla e consistente demanda mundial pela utilização da madeira como combustível sólido, pois traz uma série de implicações de ordem ambiental, social, tecnológica e econômica.

Durante o processo de carbonização da madeira, o carvão é apenas uma fração dos produtos que podem ser obtidos, ademais, uma vez sendo utilizados sistemas apropriados para a coleta, também podem ser aproveitados os condensados pirolenhosos (líquido pirolenhoso) e os gases não condensáveis (COUTO et al., 2004). Optar pela utilização do carvão vegetal, reduz emissão de gases poluentes para a atmosfera e diminui significativamente os impactos ambientais, principalmente se o vegetal for abundante e possuir ciclos curtos de recuperação vegetal (COSTA et al., 2015).

Segundo Lobovikov et al., (2007), existem razões fundamentais que contribuem para o sucesso da utilização do carvão de bambu no comércio internacional, entre elas a velocidade de crescimento das espécies de bambu, esse vegetal possui ciclos mais curto em comparação ao de outras espécies arbóreas. Suas propriedades de valor calorífico e de absorção de carvão de bambu são semelhantes ou melhores do que as de carvão vegetal de madeira, além de mais barato e mais fácil de ser produzido.

2.5 Carbonização

O carvão vegetal é obtido pelo processo de carbonização, também conhecido como pirólise, no qual é definida como o processo de decomposição térmica da biomassa, na presença controlada de oxigênio que possui como produtos, compostos na fase gasosa, onde são removidos vários gases, a exemplo dos compostos químicos voláteis (H, N, O), líquida e sólida. O gás é composto por CO, CO₂, hidrogênio e hidrocarbonetos de baixa massa molar. O líquido obtido é proveniente da condensação dos gases, chamado líquido pirolenhoso, e o sólido é denominado de carvão vegetal (FÉLIX et al., 2018; ALMEIDA, 2008).

Em razão do aquecimento e decomposição das moléculas forma-se uma massa de carbono fixa apresentando microporos (BANSAL; GOYAL, 2005), porém, a porosidade pode mostrar-se preenchida ou parcialmente bloqueada pelos produtos da decomposição (HEYLMANN, 2015). Por esse motivo, torna-se necessário realizar a ativação do material para o desbloqueio e aumento dos poros formados (CLARK, 2010).

Segundo Trugilho et al., (2001), as etapas que ocorrem durante a carbonização conforme faixa de temperatura e fenômenos de reação. Na primeira etapa, com faixa de temperatura entre 100° e 200°C ocorre a secagem da madeira e a reação é, nesse momento, endotérmica. Na etapa com faixa de temperatura entre 200° e 280°C ocorre a liberação de ácido acético, metanol, H₂O e CO₂, entre outros e a reação continua caracterizada como endotérmica. Entre 280 e 500°C, a reação passa a ser exotérmica e ocorre liberação de gases, como CO, CH₄ e alcatrões e, sob temperaturas acima de 500°C, ocorre a liberação de pequenas quantidades de voláteis, especialmente o H₂.

A carbonização pode ser feita em fornos convencionais, por condução ou convecção, ou em fornos de micro-ondas que aproveitam ondas eletromagnéticas para realizar a transferência de calor. A utilização de forno adequado para carbonização deve proporcionar

menores perdas possíveis de energia para o ambiente, e consequentemente, obter maior economia de energia, gerando um material de qualidade. (YAGMUR et al., 2008).

2.6 Carvão Ativado (CA)

O carvão ativado trata-se de um material carbonáceo, de elevada área superficial, que possui grupos funcionais de superfície com afinidade para diversos adsorbatos. Utilizado em vários processos de reparação ambiental como recuperação química e bioquímica ambiental, além de aplicações de purificação, pois o carvão ativado possui uma alta capacidade de adsorção (GÜRSES et al., 2006).

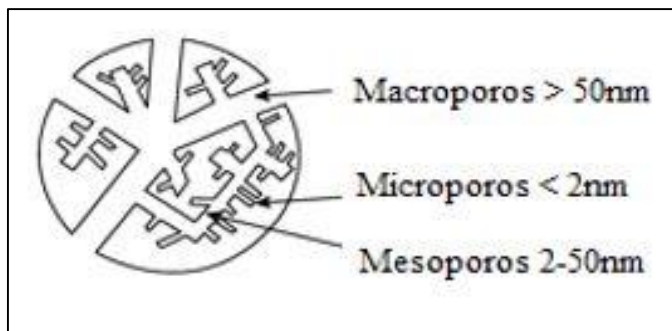
O carvão ativado tem uma alta porosidade, devido sua estrutura microcristalina, não grafítica, cujo, desenvolve-se pelo processo de ativação empregado de forma eficiente e da natureza do material precursor (RECOBERT, 2015).

O carvão ativado é alcançado pelo método de ativação, por exemplo, o tratamento térmico da matéria orgânica, algumas madeiras ou cascas, em condições extremas e temperaturas elevadas em torno de 800°C a 1.000°C em baixa concentração de oxigênio, tomando-se o cuidado para que não ocorra a degradação do material de forma a manter sua porosidade (FREITAS, 2014). A ativação pode ocorrer por processo físico, químico ou físico-químico, transformando-se em um material com elevada porosidade (CASCO, 2015).

Segundo, Brum et al., (2008) o carvão ativado pode ser empregado na adsorção de poluentes em fases gasosas e ou líquidas, do mesmo modo como suporte para catalisadores, na purificação de vários compostos e no tratamento de efluentes. O uso de carvão ativado é avaliado como limitado por causa do seu custo, principalmente em decorrência das elevadas temperaturas superiores a 700°C empregadas na sua obtenção (PEREIRA et al., 2008).

Os poros do carvão ativado podem ser classificados em relação ao seu tamanho, classifica-se em microporos os com diâmetros menores que 2 nm; mesoporos são com poros entre 2 e 50 nm de diâmetro; e macroporos com poros de diâmetros maiores que 50 nm (MORAIS, 2017), ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Estrutura porosa do carvão ativado.



Fonte: SIMON e GOGOTSI (2010, apud MORAIS, 2017).

Usualmente, aproveitam-se resíduos para produzir carvão ativado, materiais como resíduos de madeiras descartadas, madeiras, bambu, endocarpo de coco, caroço de frutas, casca de nozes, de arroz, sementes de uva, pêsego, azeitona, amêndoa, dentre outros materiais com elevado teor de carbono (MORAIS, 2017).

É possível também produzir carvão ativado a partir da queima de ossos bovinos em altas temperaturas, sendo este chamado carvão de osso ou negro animal (SANTOS et al., 2014). Inúmeras aplicações são atribuídas ao carvão ativado viabilizando sua produção em larga escala, para ser aplicado em diversos ramos das indústrias química, alimentícia, farmacêutica, na medicina, em sistema de filtragem para adsorção de gases e para o tratamento de águas, onde o carvão se destaca por reter nos seus poros impurezas e elementos contaminantes, bem como no tratamento de efluentes e gases tóxicos resultantes de atividades industriais (FREITAS, 2014).

2.7 Adsorção

O processo de adsorção trata-se de um fenômeno físico-químico em que componentes de uma fase fluida, chamado de adsorvato, são transferidos para a superfície de uma fase sólida (adsorvente) (HEYLMANN, 2015). No momento que um adsorvente encontra-se em contato com o soluto, há um decréscimo de concentração do adsorbato na fase líquida e um aumento sobre a superfície do adsorvente (MUCCIACITO, 2006).

O adsorvente geralmente é composto de micropartículas porosas que são empacotadas em um leito fixo por onde passa a fase fluida continuamente até que não haja mais transferência de massa (BORBA, 2006). Visto que o adsorvato concentra-se na superfície do

adsorvente, quanto maior for esta superfície, maior será a eficiência da adsorção. Por isso geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas (MELO, 2012).

Os fenômenos adsorptivos podem ser classificados quanto a sua intensidade em dois tipos: adsorção física e adsorção química. No caso de adsorção física o adsorbato e o adsorvente interagem por forças atrativas de Van der Waals, onde essa interação provoca um fenômeno reversível, observa-se que mais de uma camada do adsorbato é ligada a superfície do adsorvente e dessa forma o equilíbrio é alcançado, liberando uma baixa energia, pois a interação é de longo alcance (BORBA, 2006).

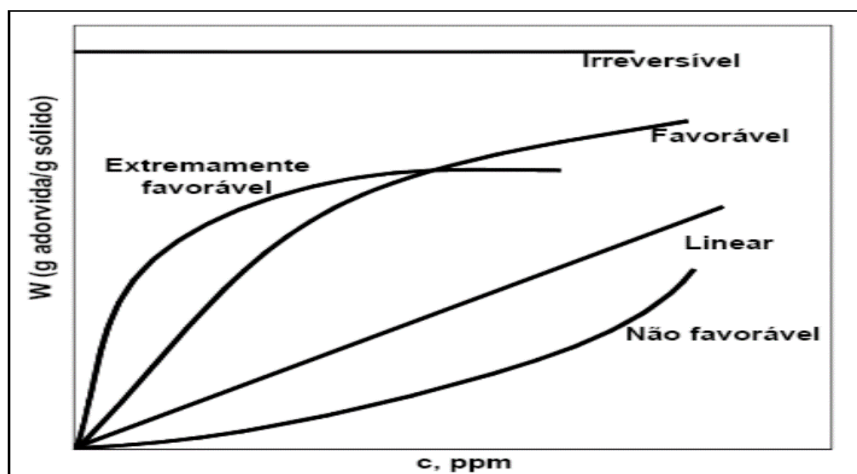
Diferentemente a adsorção química ou quimiossorção, cujo o adsorbato é ligado à superfície do adsorvente em forma de uma única camada, através de um compartilhamento ou a troca de elétrons. O tipo de interação é na forma de ligação química, habitualmente do tipo covalente, existe irreversibilidade na ligação e liberação de energia muito maior que a energia envolvida na adsorção química. (NASCIMENTO, 2014).

As velocidades de adsorção não são bons critérios para apontarem os tipos de adsorção (químicas ou físicas). De modo que a adsorção química pode ser rápida se a energia de ativação for nula ou pequena, entretanto pode ser lenta se a energia de ativação for elevada. A adsorção física é geralmente mais rápida, porém esta velocidade depende da porosidade do material precursor (BORBA, 2006).

2.8 Isotermas de Adsorção

As isotermas de adsorção são geralmente apresentadas por curvas, como na Figura 5, representada quando em um processo a capacidade de adsorção varia com a pressão e com temperatura constante (MELO, 2012), isto é, a isoterma de adsorção é considerada a relação entre a razão da quantidade de adsorbato por unidade de adsorvente, e a concentração de equilíbrio do adsorbato na solução, sob temperatura constante, pode-se dizer que a quantidade de adsorbato que o adsorvente pode acumular é uma das suas características mais importantes.

Figura 5 - Formas de uma isoterma de adsorção.



Fonte: BARROS et al, 2000.

As isotermas de adsorção proporcionam informações de grande valor sobre o mecanismo de adsorção e sua forma (SILVA, 2017). Existem vários tipos de isotermas, com vários mecanismos e equações. Porém dentre os modelos mais comuns usados para representar o equilíbrio nos processos de sorção são as isotermas de Langmuir e Freundlich, a maior vantagem destes modelos é quanto a sua simplicidade (BORBA, 2006).

A isoterma de Langmuir é um modelo teórico simples, uma das equações mais utilizadas para representação de processos de adsorção, cuja expressão matemática é fundamentada em hipóteses como que todos os sítios do sólido têm a mesma atividade para a adsorção; não há interação entre as moléculas vizinhas adsorvidas; toda adsorção segue o mesmo mecanismo, e cada adsorvente complexo possui a mesma estrutura; a extensão da adsorção consiste na formação de uma camada monomolecular sobre a superfície do adsorvente (NASCIMENTO, 2014).

A expressão matemática para a isoterma de Langmuir, pode ser representada conforme a Equação (1):

$$Q_e = \frac{Q_{max} \cdot B \cdot C_e}{1 + B \cdot C_e} \quad (1)$$

- Q_e = Quantidade do soluto adsorvido no equilíbrio (mg.g⁻¹);
- $Q_{máx}$ = Capacidade máxima de adsorção (mg.g⁻¹);
- B = Constante de interação adsorvato/adsorvente (L.g⁻¹);
- C_e = Concentração do adsorvato no equilíbrio (mg.L⁻¹).

K_L e $Q_{m\acute{a}x}$ são frequentemente rearranjadas para outras formas lineares, através da Equação (2).

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_{m.B}} + \frac{1}{B} \times C_e \quad (2)$$

A constante de equilíbrio de Langmuir K_L pode ser demonstrada pela Equação (3).

$$K_L = Q_{max} \times B \quad (3)$$

Através do modelo de Langmuir, correspondente ao grau de desenvolvimento do processo de adsorção, pode-se definir o parâmetro de equilíbrio RL , conhecido também como fator de separação, cujo é calculado pelos resultados obtidos de Q_{max} e K_L , permitindo avaliar a forma da isoterma de adsorção definindo se é: irreversível ($RL=0$), favorável ($0 < RL < 1$), linear ($RL=1$) e desfavorável ($RL > 1$) (SOUZA, 2008), a fórmula é demonstrada pela Equação (4).

$$R_L = \left(\frac{1}{1 + K_L \cdot C_0} \right) \quad (4)$$

Por meio do K_L pode-se definir a entalpia de adsorção pela Equação (5).

$$K_L = A_{exp} \times \left(\frac{-\Delta H}{R \cdot T} \right) \quad (5)$$

Define-se que, os valores negativos de entalpia de adsorção, apontam que o calor é liberado em decorrer do processo de adsorção, entretanto, valores positivos do calor de adsorção permitem concluir que o calor é abstraído das vizinhanças (NASCIMENTO, 2014).

Em 1907, o padrão de adsorção proposto por Freundlich foi um dos primeiros a equacionar a relação entre a quantidade de material adsorvido e a concentração do material na solução (SILVA, 2017). Este modelo com características empíricas pode ser inserido a sistemas não ideais, em superfícies heterogêneas e sorção em multicamada. O modelo considera o sólido heterogêneo, ao passo que aplica uma distribuição exponencial para descrever os diversos sítios de adsorção, os quais apresentam diferentes energias adsorptivas

(NASCIMENTO, 2014). Além disso, o modelo de Freundlich não se torna linear em baixas concentrações, mas permanece côncava ao eixo da concentração (VÁSQUEZ, 2005). A isoterma de Freundlich é um modelo, cuja representação matemática é dada pela Equação (6).

$$Q_e = K_f.C_e^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

Pode-se representar a Equação 6 na forma linearizada, tomando o logaritmo de cada lado, dispondo na Equação (7):

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (7)$$

Onde:

- Q_e = Quantidade de soluto adsorvido (mg.g^{-1});
- C_e = Concentração de equilíbrio em solução (mg.L^{-1});
- K_f = Constante de capacidade de adsorção de Freundlich;
- $\frac{1}{n}$ = Constante relacionada à heterogeneidade da superfície.

A isoterma de Freundlich não prevê a saturação do adsorvente. Assim, o modelo permite a existência de uma cobertura superficial infinita, os valores de n entre 2 e 10 indicam adsorção favorável do sistema adsorvente/adsorbato (BRANDÃO, 2006).

2.9 Cobre

O cobre é de vital importância na vida do ser humano, uma pessoa adulta possui no organismo cerca de 100 mg deste metal (BORBA, 2006), estimasse que diariamente na alimentação humana seja consumida cerca de 4 a 5 mg de cobre, O cobre é rapidamente absorvido no estômago e no intestino, apresentando sua concentração controlada no organismo por um mecanismo de homeostase que envolve a indução e síntese de metalotioneínas (ATSDR, 2004).

Porém, a exposição excessiva desse metal no organismo pode resultar em vários outros efeitos à saúde, incluindo danos ao fígado, aos rins, anemia, imunotoxicidade e desenvolvimento de toxicidade, além disso, em animais a deficiência deste metal resulta na

incapacidade de aproveitar o ferro armazenado no fígado, provocando anemia. A absorção do cobre em excesso pelo homem pode resultar no mal de Wilson, no qual o excesso desse metal é depositado no cérebro, ossos, pâncreas, miocárdio e fígado (VAZ, 2009). O cobre possui propriedades que lhe conferem diversas aplicações industriais em razão de suas propriedades como a maleabilidade, ductibilidade e a resistência à corrosão (MELO, 2012).

Entre as indústrias que utilizam o íon cobre em seus processos, têm-se as indústrias de mineração e de metalurgia que são as que geram a maior quantidade de efluentes contendo cobre. As indústrias elétricas, utilizam-no por causa da sua alta condutividade, indústrias de tubulações de água, graças a sua inércia química, além de diversos compostos de cobre utilizados na agricultura (SILVA, 2001). Além destes, outros setores industriais também possuem grande descarga de íons cobre e outros metais pesados em seus efluentes, conforme indica a Tabela 2.

Tabela 2 - Setores industriais com elevada presença de metais pesados em seus efluentes.

INDÚSTRIA	METAL
Operação de Mineração	Cu, Zn, Pb, Mn, U, Cr, As, Se, V
Operação de Eletrodeposição	Cr, Ni, Cd, Zn
Processamento do Metal	Cu, Zn, Mn
Geração de Energia	Cu, Cd, Mn, Zn
Indústria Nuclear	U, Th, Ra, Sr, Eu, Am
Operações Especiais	Hg, Au, e Metais Preciosos

Fonte: VOLESKY, 2001.

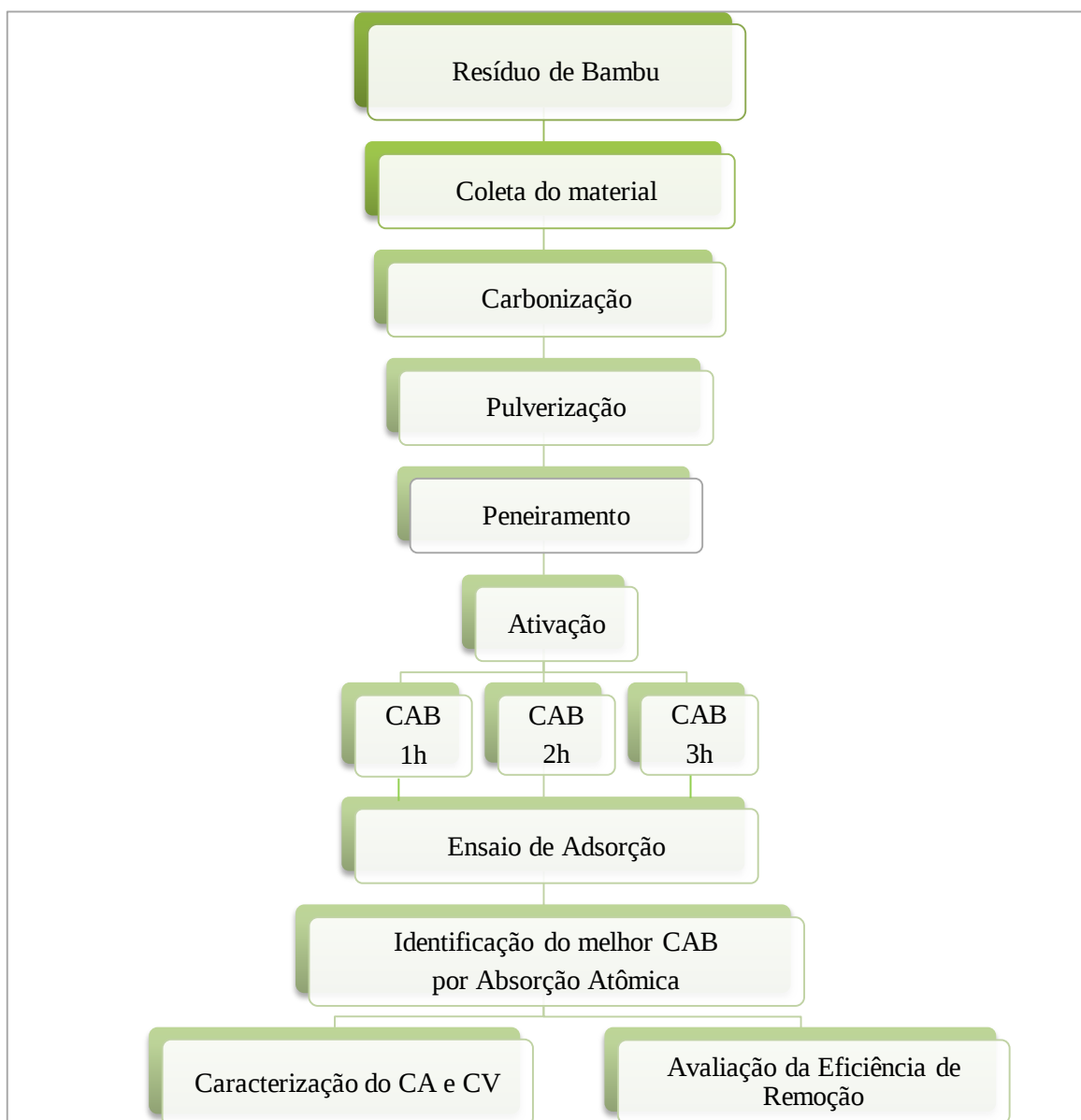
Áreas de rejeito remanescente da mineração de cobre, são áreas de grande risco à saúde dos seres vivos, uma vez que são extensões com elevadas concentrações de cobre e com potencial para a contaminação de áreas adjacentes, por isso, vários são os métodos disponíveis para o tratamento de rejeitos contendo metais pesados, entre eles, cita-se a precipitação química, troca iônica (resinas), osmose inversa e adsorção utilizando carvão ativado, além disso, adsorventes a base de carbono, pois, são amplamente utilizados por proporcionarem versatilidade na remoção de íons metálicos. (FERREIRA et al., 2015).

3 METODOLOGIA

Neste trabalho, para a produção do Carvão Ativado (CA) foram necessárias etapas de carbonização, dispondo anterior a isto, de preparação do material para obtenção de um carvão ativado de qualidade que melhor recebesse o teste de adsorção para remoção do cobre (II).

A metodologia deste trabalho foi adaptada pelas etapas aplicada por Melo (2012) que trabalhou na produção de carvão ativado a partir da casca da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa L.*). O Fluxograma 1, mostra de forma sequencial a produção do carvão ativado por meio de resíduos de bambu (*Bambusa Vulgaris*), para adsorção de cobre (II).

Fluxograma 1 - Metodologia da produção do carvão ativado de resíduos de Bambu.



Fonte: Autor (2019).

3.1 Localização das práticas experimentais

As etapas de carbonização foram realizadas nos seguintes locais: no Laboratório de Metalografia da Faculdade de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal do Pará (UFPA) – *Campus* de Belém em parceria com a Usina de Materiais (Bloco Z) do Instituto Federal do Pará (IFPA) – *Campus* de Belém, as análises em FRX foram feitas no Laboratório de Caracterização de Materiais do Instituto Federal do Pará (IFPA) – Sala de Raio-X e de DRX no Laboratório de Difração de Raios-X do Instituto de Geociência (IG-UFPA), no Laboratório de Engenharia Química (LEQ), da UFPA – *Campus* Belém foi executado a secagem do material trabalhado, no Laboratório de Caracterização de Materiais na Mineração, Metalurgia e Siderurgia (MATCAM) – UFPA foram realizadas algumas caracterizações dos carvões, no Laboratório de Química UFPA – *Campus* Ananindeua foram realizadas as etapas de pulverização, classificação por meio do peneiramento e testes de adsorção; a análise por espectrofotometria de absorção atômica foi analisada pelo Campus de Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi.

Os procedimentos foram executados com supervisão técnica dos responsáveis dos locais, os laboratórios citados são estruturados com fornos, estufa, balança analítica, vidrarias como béquer, provetas, jogo de peneiras granulométricas, entre outros equipamentos que auxiliaram no desenvolvimento das práticas laboratoriais e consequentemente, nos resultados com maior precisão.

3.2 Produção do Carvão Ativado

3.2.1 Obtenção dos resíduos de bambu

A coleta do material percussor (Bambu – *Bambusa Vulgaris*) foi cedida pelo Bosque Camilo Viana residente dentro da Universidade. Os resíduos foram coletados no período das obras de reforma para melhoria da acessibilidade do local, Figura 6 (a e b).

Figura 6 - a) Bosque Camilo Viana; b) Resíduos de Bambu (*Bambusa Vulgaris*).



Fonte: Autor (2019).

3.2.2 Preparação do material

O Bambu (*Bambusa vulgaris*), resíduos da manutenção do Bosque Camilo Viana, foi utilizado como material precursor, pois, devido a reforma de revitalização e acessibilidade do local, várias touceiras desse vegetal foram descartadas e acumuladas no local. Com isso, inicialmente fez-se a coleta do material no bosque, e os colmos de bambu foram cortados até o tamanho 5 por 5 cm (centímetros) em média como mostrado na Figura 7, para facilitar o transporte e o manuseio do material em procedimentos laboratoriais. Em seguida, o material coletado, foi submetido a lavagem em água corrente para eliminar possíveis contaminantes alojados em sua superfície do material. Posteriormente o material foi exposto ao calor do sol para não ocorrer a proliferação de fungos no vegetal e para iniciar o processo de secagem.

Figura 7 - a) Touceiras coletadas; b) Amostras de bambu.



Fonte: Autor (2019).

Foi realizada a secagem controlada de 628 g de amostra, este procedimento foi realizado em estufa marca De Leo e modelo A3AFDI 300, com recirculação de ar, em temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas de modo que a umidade total fosse retirada, a massa obtida após a secagem foi de 571 g de bambu.

3.2.3 Processo de carbonização

Utilizou-se um recipiente cerâmico de 7x10x30 cm de respectivamente largura, altura e profundidade, de formação côncava (formato de telha cerâmica), onde foram colocadas as amostras previamente limpas e secas, conforme a Figura 8.

A carbonização de 571 g do material precursor foi executada em duplicata, as amostras secas foram submetidas ao processo de pirólise para serem carbonizadas em forno elétrico modelo GFT - 300 FM, onde a temperatura de carbonização foi de $550^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, por um período de 3 horas, após isto, o forno foi desligado, o recipiente retirado e sua massa foi medida no dia seguinte, obteve-se uma massa de 185g de material carbonizado, o carvão vegetal de bambu ficou armazenado em recipiente vedado, para não adquirir umidade.

Figura 8 - Carbonização do Bambu.



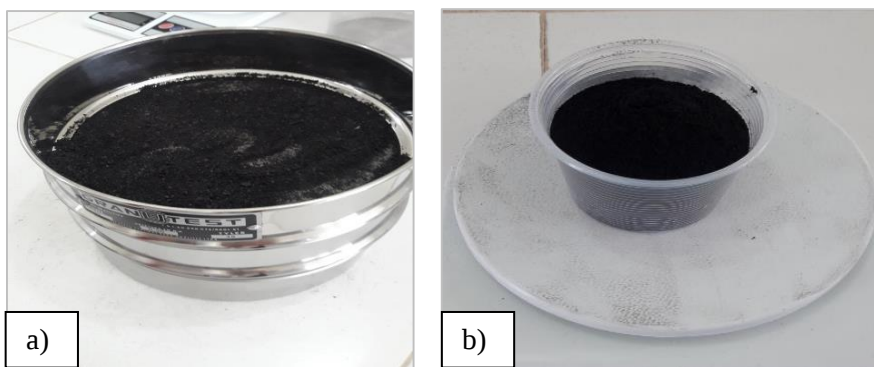
Fonte: Autor (2019).

3.2.4 Pulverização e classificação por peneiramento

O material carbonizado foi pulverizado utilizando almofariz e pistilo, e foram classificados quanto a sua granulometria por meio de peneiras da marca GRANUTEST de 50 e 80 mesh, o peneiramento foi realizado manualmente respeitando a normal NBR 12075,

optou-se pela técnica manual pois, levou-se em consideração a massa específica do material ser baixa e também a reduzida granulometria das partículas, inviabilizando o agitador de peneiras eletromagnético por perda de material volátil, a fração que passou na peneira de 50 mesh foi descartada, pois as partículas não apresentavam tamanhos uniformes e a fração que ficou retida na peneira de 80 mesh foi considerada a ideal para a produção do carvão ativado de bambu, pela homogeneidade do material, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - a) Peneiramento; b) Fração de 80 mesh.



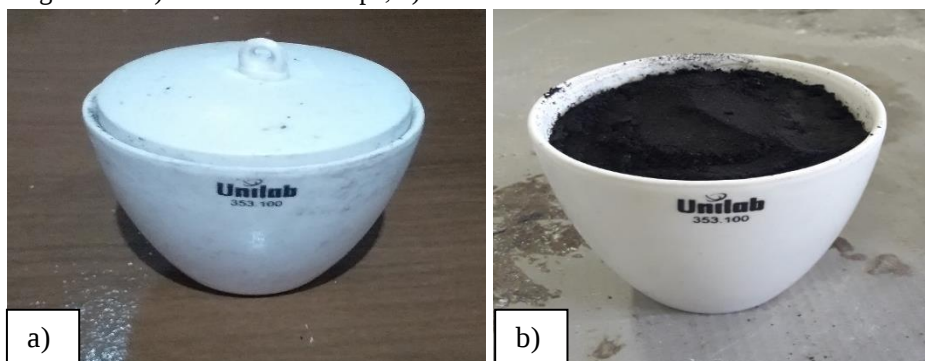
Fonte: Autor (2019).

3.2.5 Processo de ativação

Nesta etapa da produção do carvão ativado termicamente, utilizou-se um cadinho de porcelana de 60 ml com tampa, para evitar a perda de material volátil durante o processo, colocou-se 30 g de material carbonizado no cadinho, e em seguida foi inserido no forno elétrico tipo Mufla marca BRASIMET para ativação, durante 1 h a $800^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Repetiu-se o mesmo processo para os carvões ativados nos tempos de 2 e 3 horas (Figura 10), os procedimentos experimentais foram realizados em duplicata. Ao encerrar o tempo de ativação do material, a Mufla foi desligada e o material então foi retirado e pesado no dia seguinte, contendo 14,50 g na amostra de 1 hora, 13,87 g na de 2 horas e 14,62 g na amostra de 3 horas respectivamente.

Figura 10 - a) Cadinho com tampa; b) Carvão ativado de 3 horas.



Fonte: Autor (2019).

O carvão vegetal carbonizado a $550^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 3 horas e os carvões ativados termicamente a $800^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ em tempos de 1, 2 e 3 horas, receberam as respectivas codificações representadas pela Tabela 3.

Tabela 3 - Identificação dos carvões produzidos.

CARVÃO	IDENTIFICAÇÃO
Carvão Vegetal de Bambu	CVB
Carvão Ativado em 1 hora	CAB 1H
Carvão Ativado em 2 horas	CAB 2H
Carvão Ativado em 3 horas	CAB 3H

Fonte: Autor (2019).

3.3 Caracterização dos carvões vegetal e ativado

3.3.1 Rendimento do Carvão (RC)

Os cálculos do rendimento em carvão (RC) produzido após a etapa de carbonização dos resíduos de bambu, foram obtidos pela Equação (8) e expresso em porcentagem.

$$RC (\%) = \left(\frac{\text{Carvão Vegetal (g)}}{\text{Materia Prima (g)}} \right) \times 100 \quad (8)$$

Determinou-se o cálculo do conteúdo de Material Volátil do Carvão (MVC), liberado durante o processo de queima dos resíduos de bambu quando submetidos a $550^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 3 horas, por meio da Equação (9) o valor é expresso em porcentagem.

$$MVC (\%) = 100 - RC \quad (9)$$

3.3.2 Rendimento do Carvão Ativado (RCA)

O cálculo para o rendimento em carvão ativado produzido a 800 ± 1 °C foi calculado de acordo com a Equação (10).

$$RCA (\%) = \left(\frac{\text{Carvão Ativado (g)}}{\text{Carvão Vegetal (g)}} \right) \times 100 \quad (10)$$

Pela Equação (11) determinou-se o cálculo do Conteúdo de Material Volátil do Carvão Ativado (MVCA), quantificando o material que volatiliza durante o aquecimento da amostra granulada em elevada temperatura e atmosfera inerte no período de 1, 2 e 3 horas.

$$MVCA (\%) = 100 - RCA \quad (11)$$

3.3.3 Teor de Cinzas (TC)

Para obter o teor de cinzas total, foi necessário acompanhar a norma ASTM D2866-94/2004, que se refere a combustão da amostra em um forno mufla, em uma faixa de temperatura de 550°C (± 25 °C) a 775°C (± 25 °C).

O procedimento iniciou-se pela pesagem de amostra contendo 0,1 g de carvão previamente seco, e inserido no cadinho de 50 mL com tampa, em seguida o cadinho foi colocado no forno elétrico tipo MUFLA DE LEO de modelo A3AFDI 300 para a calcinação a 550 °C por um período de 3 horas. Efetuou-se o procedimento experimental para o carvão vegetal e para os ativados em duplicata e o teor de cinzas, foi exibido em porcentagem pela Equação (12).

$$TC (\%) = \left(\frac{D - B}{C - B} \right) \times 100 \quad (12)$$

Onde:

D = Peso do cadinho + massa carbonizada

C = Peso do cadinho + massa da amostra

B = Peso do cadinho

3.3.4 Carbono Fixo (CF)

Segundo a ABNT NBR 8299, 1983, o carbono fixo pode ser calculado adicionando os valores referente ao Teor de Cinza Total (TC) e Materiais Voláteis do Carvão (MVC), conforme é demonstrado pela Equação (13).

$$CF (\%) = 100 - (MVC + TC) \quad (13)$$

3.3.5 Massa Específica Aparente (MEA)

A massa específica aparente foi baseada na ABNT NBR 6508, 2017, as análises foram feitas em triplicata, no qual foi realizado o cálculo da diferença das massas da proveta vazia e com amostra demonstrada pela Equação (14) e em seguida o cálculo da massa específica aparente disposta na Equação (15), respectivamente.

$$M_3 = M_2 - M_1 \quad (14)$$

Onde:

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

Inicialmente, colocou-se as amostras de carvão em estufa para secagem a $150^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ por 2 horas, em seguida pesou-se a massa da proveta (M_1), após o tempo de secagem da amostra foi inserido o material em uma proveta de 100 ml (M_2). A diferença entre as massas (1) e (2) é o valor calculado na Equação (14). A razão da massa (M_3) pelo volume ocupado em cm^3 determinou a massa específica aparente (μ) em (g/cm^3) demonstrado na Equação (15).

$$\mu = \left(\frac{M_3 (g)}{V_{\text{deslocado}}(\text{cm}^3)} \right) \quad (15)$$

3.3.6 Massa Específica Real (MER)

Para definir a massa específica real, foi utilizada a metodologia de análise por picnometria, seguindo a norma da ABNT NBR 8916, 2015. O experimento foi realizado em triplicata. Primeiramente foi introduzido água destilada no picnômetro e fez-se o registro da massa, onde definiu-se por (m_1); após, colocou-se 2 g de carvão no picnômetro, onde foi retirado o excesso de água até que ficasse no limite da marca de referência e foi pesado novamente, registrou-se a nova massa (m_2); A Equação (16) demonstra a relação das massas citadas.

$$d = \frac{m_{amostra}}{m_{amostra} - (m_2 - m_1)} \quad (16)$$

Onde:

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

Como a massa específica real é calculada levando em consideração a temperatura da água durante o ensaio, é necessário que faça uma correção quando os resultados forem obtidos. Na análise feita, foi adotada a massa específica da água em temperatura de 4°C, cujo valor da massa é igual a 1 (g/cm^3).

3.3.7 Porosidade

A distribuição do tamanho dos poros influencia diretamente no fluxo de ar e água no interior do carvão ativado (MELO, 2012). Desse modo a porosidade foi determinada, com os valores obtidos da massa específica aparente (MEA) e a massa específica real (MER), esses resultados foram fundamentais para o cálculo da porosidade, baseada na ABNT NBR9165, 1985 e demonstrada pela Equação (17).

$$P(\%) = \left(1 - \frac{MEA}{MER}\right) \times 100 \quad (17)$$

3.3.8 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A morfologia superficial dos CAs foi analisada através de ensaios de MEV, para verificar a morfologia tanto do material carbonizado quanto do carvão ativado, foram geradas imagens em preto e branco, dispondo de alta resolução da superfície das amostras por meio de um aparelho modelo HITASHI - TM 3000 (Figura 11).

As amostras de carvão vegetal e ativado de 1, 2 e 3 horas foram depositadas em uma porta amostra de alumínio, contendo uma fina camada de fita dupla face de cobre, necessária para que exista condução de corrente elétrica, logo pois os carvões não são um material condutor. As condições analíticas empregadas na análise foram de resolução nominal de 50, 250 e 600 vezes para cada amostra e voltagem de aceleração do feixe de 5 kV.

Figura 11 - Equipamento para Análises em MEV e EDS



Fonte: Autor (2019)

3.3.9 Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)

A análise por EDS acoplado ao MEV possibilitou identificar de maneira qualitativa e semiquantitativa os elementos químicos presentes na superfície do material. Desse modo, por meio do mesmo equipamento MEV, modelo HITASHI - TM 3000 (Figura 13), foi possível a identificação e quantificação da composição química dos carvões vegetal e ativado.

3.3.10 Difração de Raios – X (DRX)

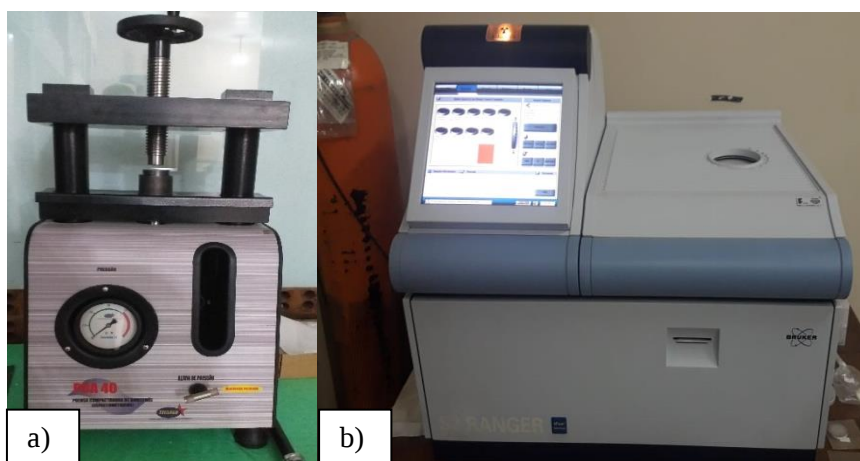
A análise de DRX foi realizada no Laboratório de Difração de Raios-X do Instituto de Geociência (IG-UFPa). As amostras de carvão vegetal e ativados de bambu foram preparadas para serem feitas pelo método *backload*.

As análises para identificação de fases mineralógicas nas amostras foram caracterizadas, utilizando 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.

3.3.11 Fluorescência de Raios – X (FRX)

A análise de FRX foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais do Instituto Federal do Pará (IFPA) – Sala de Raio-X. Para esta análise, inicialmente preparou-se uma pastilha em uma prensa compactadora de amostra espectométricas modelo PCA 40 (Figura 12a), contendo 3 g de carvão vegetal ou ativado com 2 g de parafina como aglomerante. Após o preparo das pastilhas fez-se as análises em FRX, utilizando o Espectrômetro de Fluorescência de Raio-X, modelo S2 RANGER BRUKER, o equipamento é demonstrado pela Figura 12b.

Figura 12 - a) Prensa compactadora PCA 40; b) Equipamento para análises em FRX.



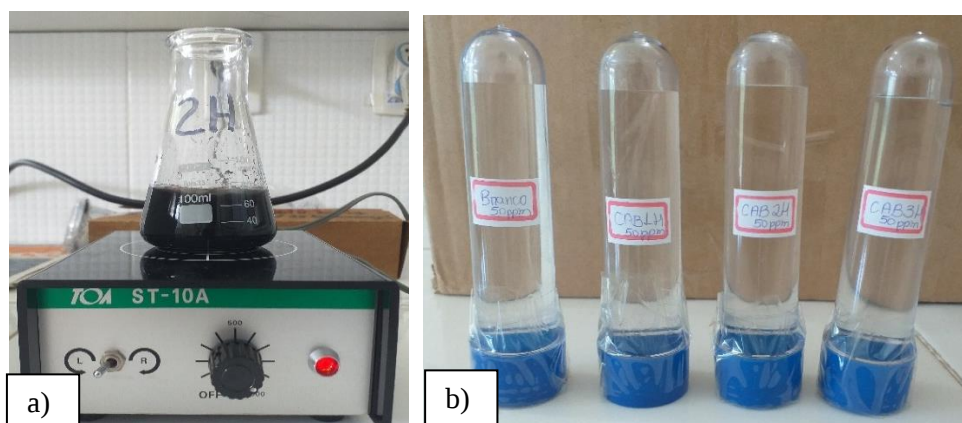
Fonte: Autor (2019).

3.4 Ensaio de adsorção

Segundo Nascimento et al., (2014) a contaminação química da água por meio de diversos contaminantes orgânicos e inorgânicos provocou a necessidade de estudos sobre processos que promovam a remoção de contaminantes, sendo a adsorção um processo bastante utilizado para este propósito. Devido a isto, optou-se por realizar ensaios de adsorção, conforme a metodologia da norma ABNT NBR 11834/1991, em solução de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) com os carvões ativados de 1, 2 e 3 horas produzidos, tendo por finalidade a remoção de cobre (II) da solução e consequentemente escolher a análise do melhor tempo de ativação, compreendendo um carvão ativado de boa qualidade e assim, caracterizá-lo.

O ensaio de adsorção iniciou-se com o preparo de 500 ml de solução estoque, onde continha 1.000 ppm (mg/L), posteriormente fez-se a diluição para uma solução de 500 ml contendo 50 ppm (mg/L) de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Foi produzido alíquotas a partir da solução estoque de 50 ppm, do seguinte modo: inserindo 1 g de carvão ativado de cada tempo de ativação em becker de 100 mL, e adicionou-se 25 mL da solução padrão de 50 mg/L; o ensaio foi feito por agitação utilizando bastão magnético em conjunto com a solução, o experimento foi realizado em triplicata, o recipiente foi inserido sob uma base de agitação magnética modelo TOA ST-10, como a exemplo do CAB 2H (Figura 13a), no período de 60 minutos. Em seguida, as alíquotas foram filtradas e as soluções armazenada em tubetes com tampa tipo rosca (Figura 13b), as amostras foram analisadas por meio do equipamento de espectroscopia de absorção atômica modelo: ICE 3000 AA05131503 v1, 30.

Figura 13 - a) CAB 2h em agitação; b) Amostras após o ensaio de adsorção



Fonte: Autor (2019).

Após o ensaio de adsorção notou-se que as amostras ficaram com uma tonalidade incolores, demonstrando a capacidade das amostras CA de bambu na remoção de cobre (II), em solução de $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sulfato.

3.5 Determinação do pH

A avaliação do pH depende da matéria prima e do processo em que se pode produzir o carvão ativado. Para analisar o pH das amostras em solução de cobre (II), utilizou-se um medidor pHep®+ de bancada modelo HANNA - HI98108, seguindo a ABNT NBR 7353/2014, cujo as medições de pH são realizadas em soluções aquosas contendo grandes concentrações de eletrólitos ou compostos orgânicos solúveis em água.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização dos carvões vegetal e ativado

4.1.1 Determinação do Rendimento Gravimétrico

O resultado do rendimento do carvão vegetal (RC) e material volátil (MVC) pela carbonização a 550°C dos resíduos de bambu, foi determinado pela substituição dos valores nas Equações (8) e (9). Os valores dos rendimentos do carvão ativado de 1, 2 e 3 horas a 800°C e dos materiais voláteis dos carvões ativados, foram obtidos por meio das Equações (10) e (11), e os resultados demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Rendimento e Material Volátil dos Carvões

Amostras	$m_{entrada}(g)$	$m_{saída}(g)$	RC (%)	MVC (%)
CVB	571	185	32,39	67,61
CAB 1H	30	14,50	48,33	51,67
CAB 2H	30	13,87	46,23	53,77
CAB 3H	30	14,62	48,73	51,27

Fonte: Autor (2019).

Hsing (2011) obteve resultados para o rendimento do carvão vegetal de quatro espécies de bambu, incluindo a *Bambusa Vulgaris*, valores entre 20% a 30%, onde o material ficou submetido a 550 °C por um período total de 3 horas.

O valor médio para o rendimento gravimétrico obtido por Silva (2016), foi de 34,7% para o mesmo material, na temperatura de 450°C. Segundo Costa (2004), de modo geral, a temperatura acima de 550°C resulta proporcionalmente em um baixo rendimento de carvão, pois há elevada perda de materiais voláteis que migram para as fases líquida e gasosa. Em seu trabalho a temperatura de 400°C proporcionou rendimento de 32,54 % para o carvão vegetal de bambu (*Bambusa Vulgaris*). Diante disso, os valores de rendimento percentual do carvão vegetal encontrados na literatura, são próximos do valor obtido neste trabalho.

Após o processo de carbonização, na produção do carvão ativado procura-se maximizar o rendimento em carvão, e isto é possível pelo comportamento térmico do material precursor utilizado (RECOBERT, 2015).

Santana (2014) realizou ativação física por vapor (H_2O) a $800^{\circ}C$ por 1h e obteve rendimento de 11,73%; por gás (CO_2) a $850^{\circ}C$ por 3h e obteve rendimento de 21,60%. No processo de ativação física deste trabalho não foi necessário utilizar vapor ou gás, apenas a submissão do carvão carbonizado a temperatura de $800^{\circ}C$ para a ativação térmica, onde o rendimento dos carvões ativados foi superior a 45%. Ressalta-se que os resultados de rendimento dos carvões ativados foram próximos, demonstrando que o tempo de ativação de cada carvão, não teve grande influência nos resultados.

4.1.2 Teor de Cinzas (TC)

O teor de cinzas resultante do processo de carbonização é usualmente pequeno, representando o material que não foi queimado, permanecendo no local do processo, pois as cinzas não são combustíveis; podendo ser incluso cálcio, potássio, magnésio e outros (COSTA, 2004). O cálculo para o conteúdo de cinzas foi determinado pela substituição dos valores na Equação (12) e os resultados demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores percentuais do teor de cinzas

Amostras	B (g)	C (g)	D (g)	TC (%)
CVB	86	86,1246	86,0079	6,34
CAB 1H	86	86,1477	86,0114	7,71
CAB 2H	86	86,1348	86,0112	8,30
CAB 3H	86	86,1389	86,0121	8,71

Fonte: Autor (2019)

Segundo Costa (2004), O teor de cinzas no carvão vegetal representa um valor baixo em relação ao carbono fixo, pois a sua maior influência esta como catalizador na reação de $C - CO_2$, o valor de cinzas encontrado em seu trabalho foi de 7,43% a $400^{\circ}C$ e 11,24% a $600^{\circ}C$. O valor de 6,34% de cinzas obtido neste trabalho é relativamente menor que o encontrado na literatura, demonstrando um carvão vegetal de boa qualidade, pois o alto teor de cinzas, leva a diminuição da eficiência do carvão e valores acima de 7% para o carvão vegetal, comprometem o processo de combustão (HOFFMANN, 2010; VALE et al., 2011).

4.1.3 Carbono Fixo (CF)

Com o aumento da temperatura, compreende-se que a madeira sofre transformações através da alta eliminação de produtos voláteis, com isso ocorre uma crescente concentração de material mais resistente ao calor em que é submetido, chamado de carbono segundo Brito (1992, apud SILVA, 2016). Para o cálculo do carbono fixo os valores foram substituídos na Equação (13) e os resultados demonstrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Carbono Fixo do Material.

Amostras	Carbono Fixo (%)
CVB	26,05
CAB 1H	40,62
CAB 2H	37,93
CAB 3H	40,02

Fonte: Autor (2019).

O carvão é originado pelo processo de decomposição térmica, objetivando um produto final rico em carbono fixo (BASSO, 2017). Pela Tabela 6, é possível verificar que houve diferença significativa entre os valores de carbono fixo do material precursor e os diferentes tratamentos térmicos, isto ocorre por causa dos aumentos na temperatura final de carbonização proporcionando um aumento no rendimento de carbono fixo e redução do rendimento em carvão (SATER et al., 2011).

Trugilho e Silva (2001) apresentaram os valores no teor de materiais voláteis no carvão vegetal da madeira de *Hymenaea courbaril* (jatobá), variando de 40,13 a 23,24% para as temperaturas finais de carbonização de 400°C e 600°C, respectivamente. No mesmo trabalho, o carbono fixo variou cerca de 50% a 70%, para a mesma faixa de temperatura. Dessa forma, pode-se dizer que os valores apresentados neste estudo, estão de acordo com os valores apresentados na literatura.

4.1.4 Massa Específica Aparente (MEA)

Os resultados encontrados para o cálculo da massa específica aparente, calculados a partir das Equações (14) e (15), são ilustrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultado Médio da Massa Específica Aparente

Amostras	$m_1(g)$	$m_2(g)$	$m_3(g)$	MEA (g/cm^3)
CVB	45,7344	95,4262	49,6918	0,4969
CAB 1H	45,5472	95,1648	49,6176	0,4961
CAB 2H	45,4871	95,0465	49,5842	0,4958
CAB 3H	45,4623	95,0361	49,5490	0,4954

Fonte: Autor (2019).

A massa específica aparente do bambu (*Bambusa Vulgaris*) para o carvão vegetal encontrado, foi de 0,49 (g/cm^3), próxima de valores encontrados de outras espécies de bambu, como Costa (2004) e Brito (1987), cujo resultado foi de 0,454(g/cm^3) e 0,494 (g/cm^3), respectivamente. Para o carvão ativado, apesar do decréscimo da massa específica do carvão com o aumento do tempo final da ativação, os resultados foram próximos, não afetando de maneira significativa, a massa específica aparente do carvão. Uma explicação para isso poderia ser o fato do tempo de ativação serem próximas. (OLIVEIRA, 2010).

4.1.5 Massa Específica Real (MER)

A média dos resultados obtidos para os carvões vegetal e ativados, calculados pela Equação (16) a estão demonstrados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores Médio da Massa Específica Real

Amostras	$m_a(g)$	$m_1(g)$	$m_2(g)$	MER (g/cm^3)
CVB	2,0465	72,9873	72,0338	0,9488
CAB 1H	2,0932	73,4673	73,5605	1,0460
CAB 2H	2,0743	73,1586	73,2329	1,0368
CAB 3H	2,0326	73,3743	73,4069	1,0163

Fonte: Autor (2019).

Para o carvão vegetal, o resultado ficou próximo ao trabalho do Costa (2004), onde encontrou o resultado de 1,01 g/cm^3 de massa específica para a mesma espécie. A partir dos resultados da Tabela 8, pode-se observar uma diminuição dos valores do carvão ativado em função do tempo de exposição da amostra sob a temperatura de 800°C. Segundo Oliveira et al., (2010), afirma que, as maiores taxas de aquecimento ($^{\circ}C/min$) acarretam em diminuição

da massa específica do material; a razão deste comportamento está relacionada com a eliminação dos gases durante a ativação.

4.1.6 Porosidade

Com os dados das massas específicas aparente e real, foi possível calcular a porosidade do material pela Equação (17), em porcentagem, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Porosidade Média dos Carvões.

Amostras	MEA (g/cm^3)	MER (g/cm^3)	P(%)
CVB	0,4969	0,9488	47,62
CACB1H	0,4961	1,0460	52,57
CACB2H	0,4958	1,0368	52,17
CACB3H	0,4954	1,0163	51,25

Fonte: Autor (2019).

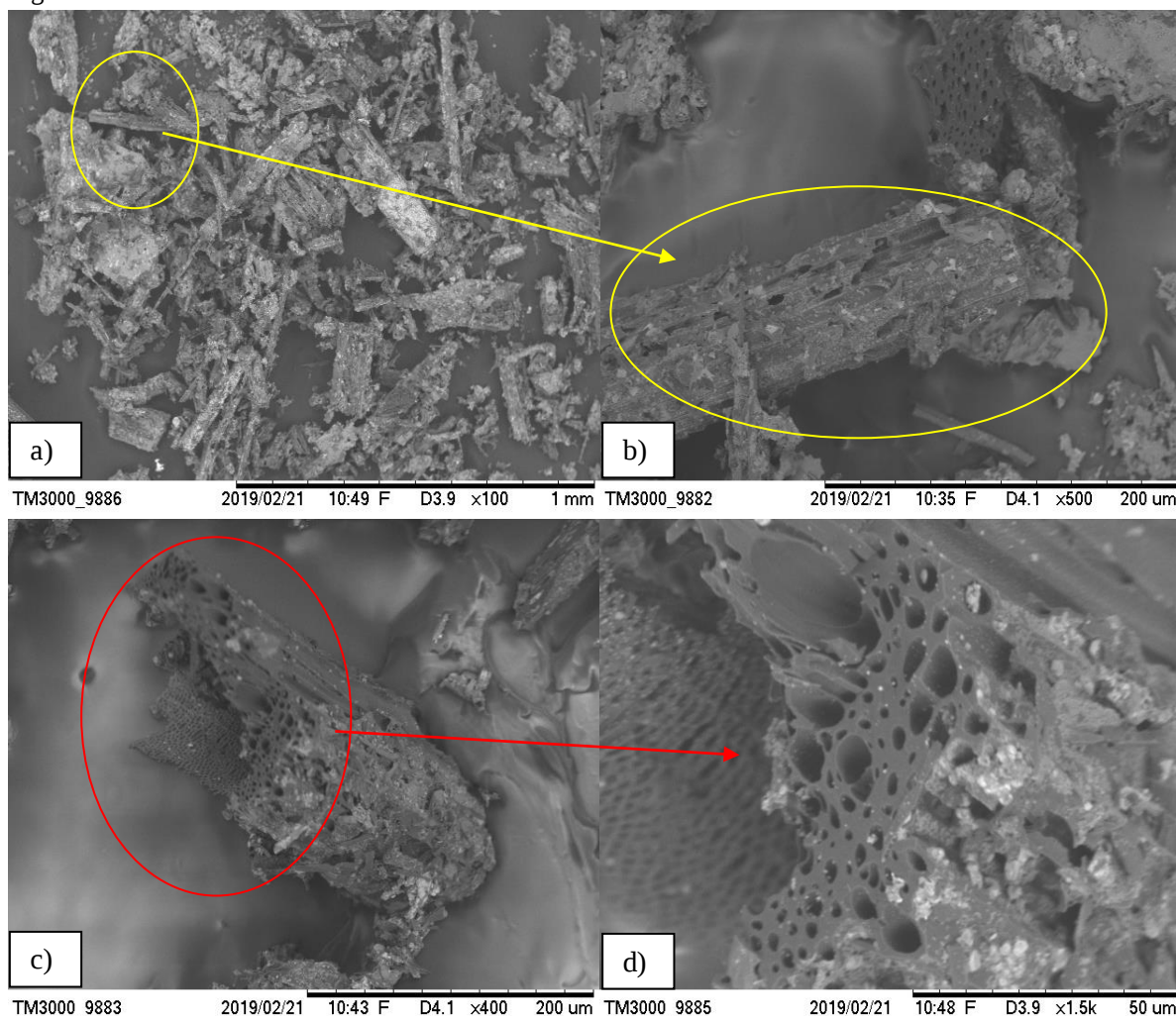
Devido o carvão ativado tratar-se de um material carbonáceo sua estrutura contém uma grande quantidade de poros bem desenvolvidos e de diversos tamanhos, consequentemente uma elevadíssima área superficial interna. Com isso, mostra-se um carvão com potencial para alta capacidade de retenção de impurezas e elementos considerados contaminantes em seus poros, características obtidas pelo tratamento térmico e temperatura de ativação em que foram submetidos, de maneira a evitar que ocorresse a queima total do material, para manter a porosidade (FREITAS, 2014; LEGNER, 2017).

4.1.7 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais na Mineração, Metalurgia e Siderurgia (MATCAM) – UFPA, com a finalidade de visualizar a morfologia dos carvões vegetal e ativados provenientes do material residual de bambu, ademais identificar de que maneira ocorre a fragmentação do material e a disposição dos poros pela influência da temperatura de ativação térmica. As

Figuras 14, 15, 16 e 17 mostram as imagens em ampliação entre 100 vezes até 1,5 k vezes para uma melhor compreensão visual dos CVB, CAB 1H, CAB 2H e CAB 3H respectivamente.

Figura 14 - MEV da amostra CVB.



Fonte: Autor (2019).

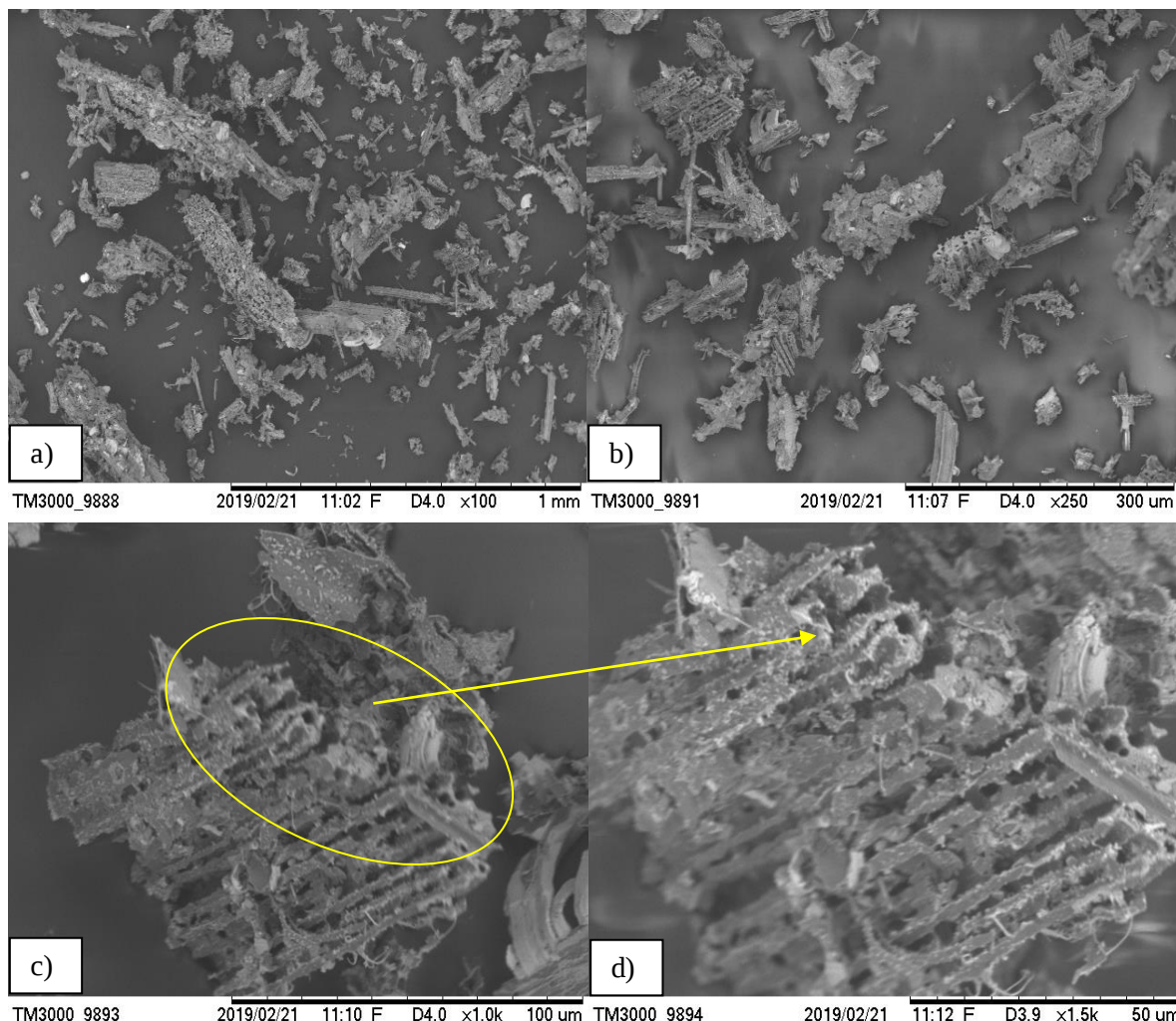
***Nota:** micrografia do CVB.

A análise por MEV do precursor mostrou um material com estrutura fibrosa; na amostra CVB conforme Figura 14a que mostra a representação do universo de fragmentação morfológica do carvão vegetal; na Figura 14b é possível identificar de forma detalhada uma porosidade menor na lateral da fibra alongada; na Figura 14c nota-se a formação de pequenas crateras nos topos e na 14d tem-se uma visão mais detalhada de como são distribuídos os poros no topo da estrutura do carvão vegetal.

É possível observar que a morfologia do resíduo de bambu sofre modificações após o processo de pirólise e a análise é capaz de mostrar a superfície, com pequenas cavidades

formada pela intensa eliminação de compostos voláteis, que preenchem a estrutura do material (SANTANA, 2014).

Figura 15 - MEV da amostra CAB 1H.



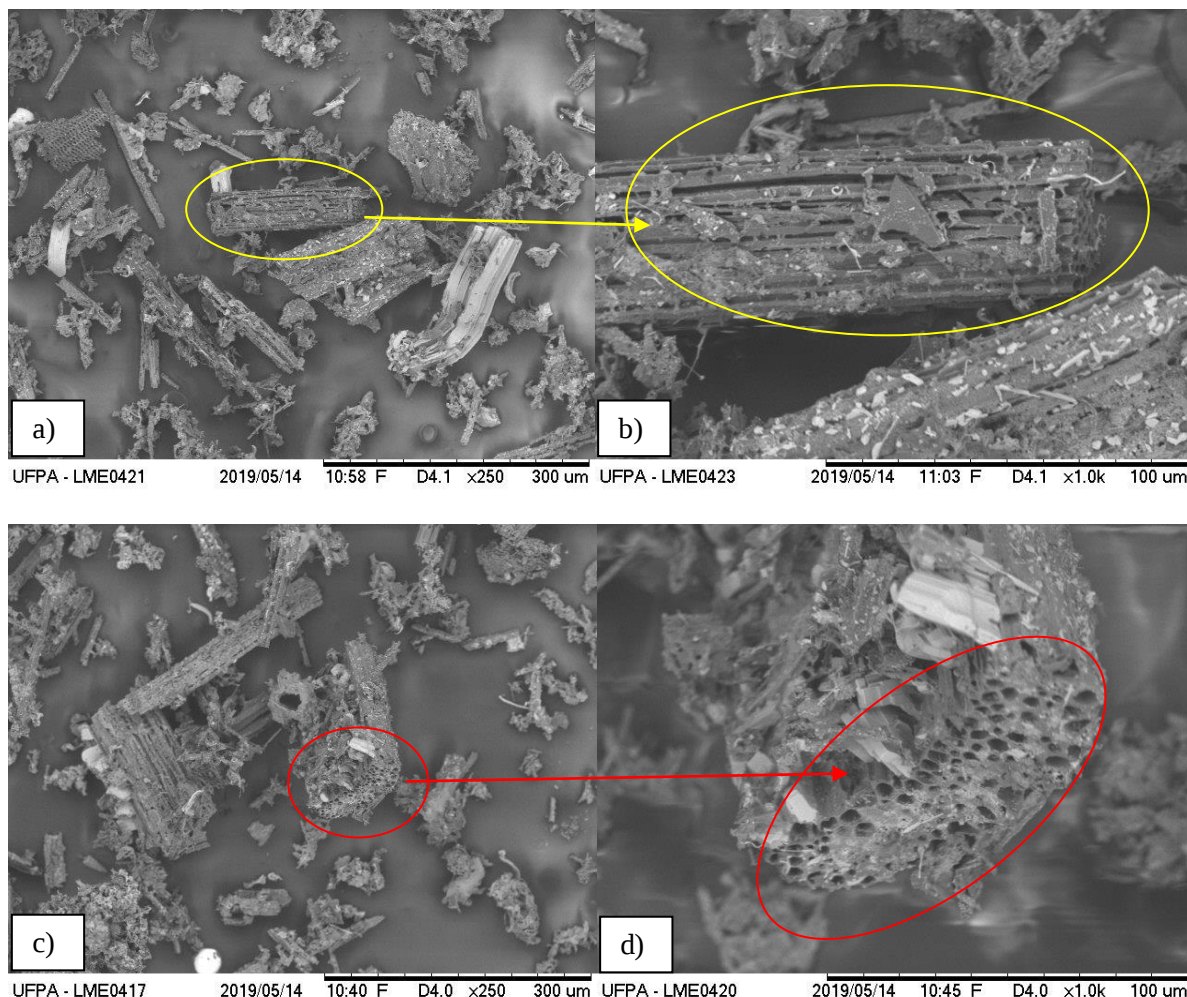
Fonte: Autor (2019).

***Nota:** micrografia do CAB 1H.

Na Figura 15 nota-se uma grande modificação na estrutura do CAB 1H por conta da ativação. Em a) percebe-se a presença de pequenos fragmentos e a representação morfológica característica do bambu que é a presença de fibras alongadas; b) dispõe de fragmentos mais definidos quanto aos topos e as laterais, que dos encontrados na análise da amostra CVB, deve-se isto, ao tratamento térmico; em c) nota-se que a fibra possui veios alargados e a formação de poros nos topos; d) observa-se que a ativação a 800°C por 1h gera mais espaços entre as camadas de carbono resultando em mais porosidade e maior área superficial. Logo, o bambu é um precursor que na sua condição natural apresenta boa quantidade de poros, e o

processo de ativação potencializa esse efeito, devido a sua estrutura anatômica ser formada por feixes fibrovasculares (MORAIS, 2017).

Figura 16 - MEV da amostra CAB 2H.



Fonte: Autor (2019).

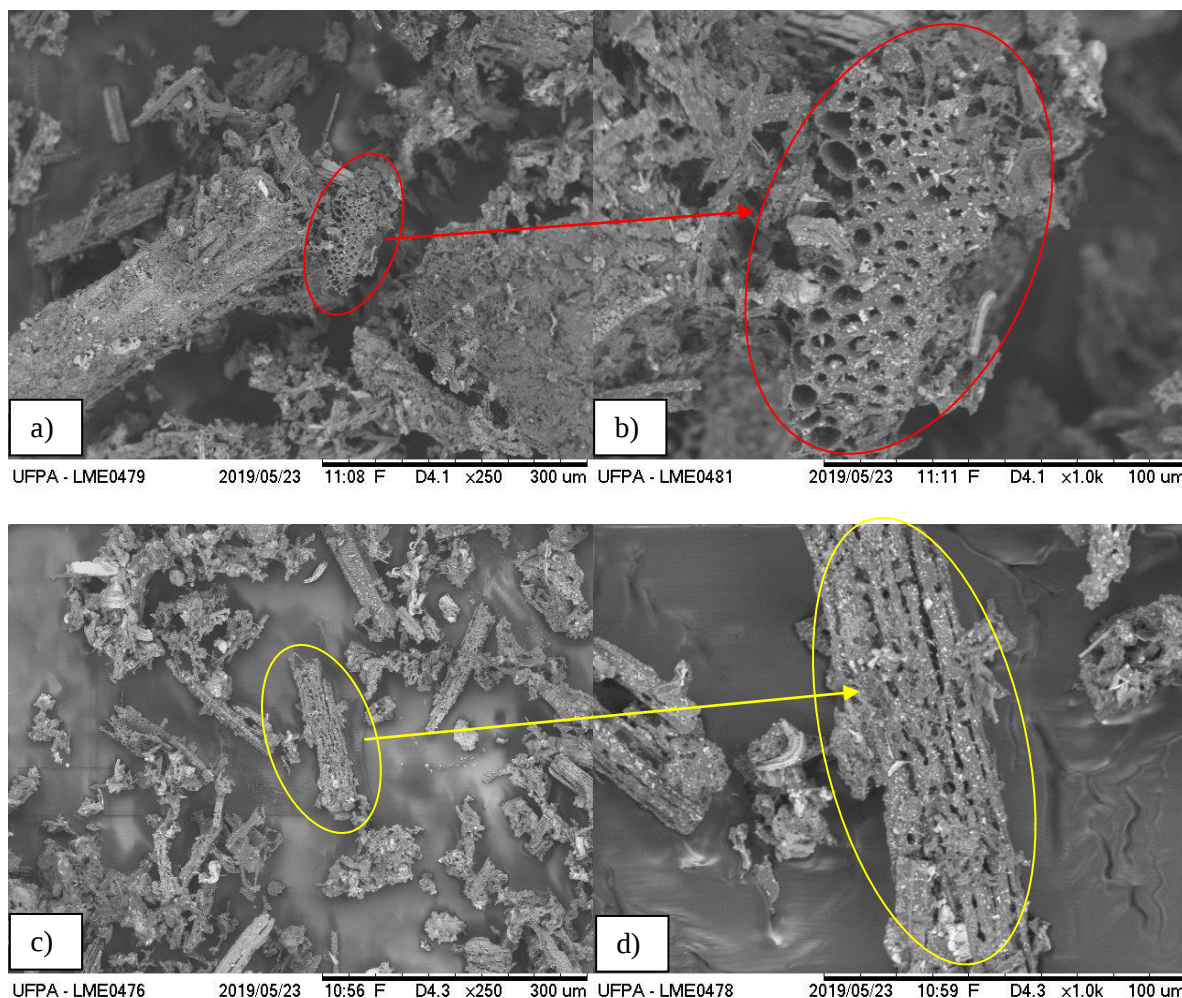
***Nota:** micrografia do CAB 2H.

Na amostra CAB 2H ilustrada pela Figura 16, a influência da temperatura proporcionou uma estrutura carbonácea com elevada porosidade tanto na superfície lateral dos fragmentos, como um elevado número de poros no topo, dispondo de aberturas porosas por todo corpo estrutural. Em a) demonstra o universo de fragmentação do material; b) mostra a disposição dos feixes (veios) na fibra alongada; c) nota-se uma estrutura altamente porosa com poros, no topo distribuídos uniformemente; em d) tem-se uma visão mais detalhada da fibra.

Percebe-se que o tempo de 2h de ativação proporcionou ao carvão morfologia um pouco distante do CAB1H, onde na sua estrutura há formação de poros tipo colmeia, as quais

consistem em um sistema de cavidades similares a uma rede bem organizada de poros, como encontrado por Santana (2014), que utilizou na ativação física, vapor e gás, porém neste trabalho a ativação termicamente por 2h foi o suficiente para proporcionar micrografias semelhantes aos encontrados na literatura.

Figura 17 - MEV da amostra CAB 3H.



Fonte: Autor (2019).

***Nota:** micrografia do CAB 3H.

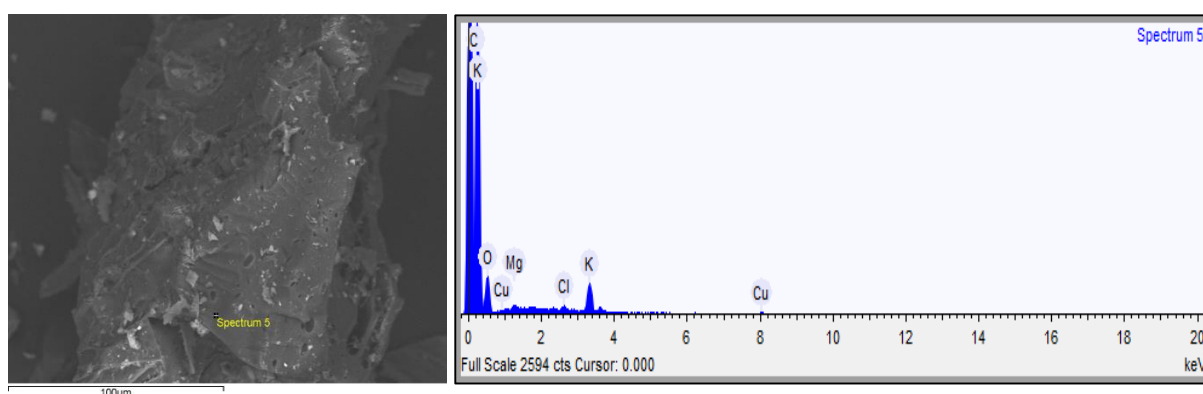
Pelas imagens em MEV da Figura 17, notou-se que a ativação física por tratamento térmico em tempos de 1, 2 e 3 horas, proporcionou diferentes modificações nas estruturas, onde nas amostras CAB 2H e CAB 3H a disposição dos poros foram mais definidas, principalmente no topo com a formação de crateras (tipo colmeia), que na amostra CAB1H que ocorreu em menores proporções. Na amostra CAB 3H tem-se a) que demonstra o universo da amostra e como são dispostos a fragmentação do carvão sob o tratamento térmico de ativação por 3 horas; b) visualiza-se a dilatação dos poros e formação tipo colmeia de

modo detalhado, semelhante ao encontrado na amostra CAB 2H; c) mostra a disposição das fibras carbonáceas e pequenos fragmentos e em d) uma visão mais detalhada da fibra, com veios na superfície do material e pequenas aberturas.

4.1.8 Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV-EDS)

Os elementos químicos presentes nas amostras foram analisados em MEV-EDS no qual é representado pelas Figuras 18, 19, 20 e 21. Essa determinação foi realizada em diferentes pontos da amostra de forma aleatória. Ressalta-se que essa análise não representa um ensaio quantitativo, mas qualitativo principalmente quanto a presença de átomos de carbono na estrutura.

Figura 18 - EDS da amostra CVB.

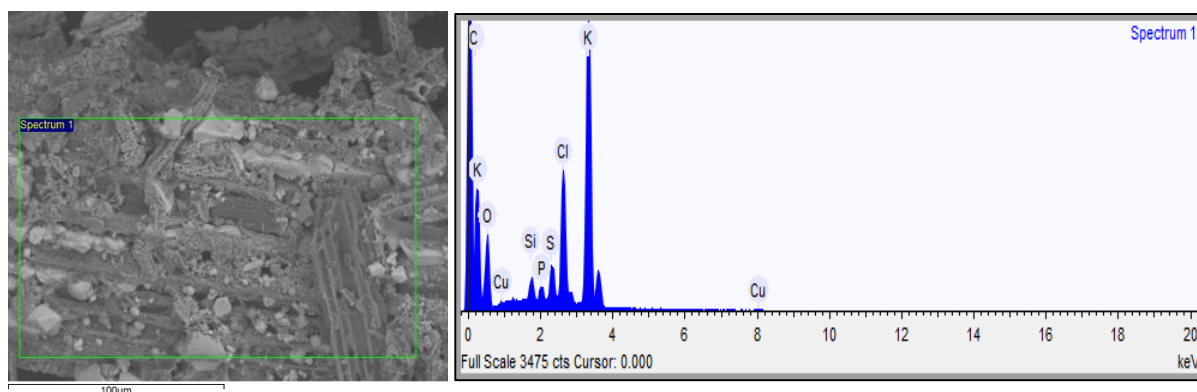


Fonte: Autor (2019).

Na Figura 18, mostra os elementos químicos presentes na amostra CVB, o espectro da análise em EDS, demonstra altos picos de carbono (C) e potássio (K) como predominantes na composição elemental da amostra do carvão vegetal.

Segundo o Instituto do Bambu, o vegetal possui em sua composição estrutural cerca de 48% de carbono, sendo uma das justificativas para o elevado nível do elemento na amostra (FLUMIGNAN, 2015).

Figura 19 - EDS da amostra CAB 1H.

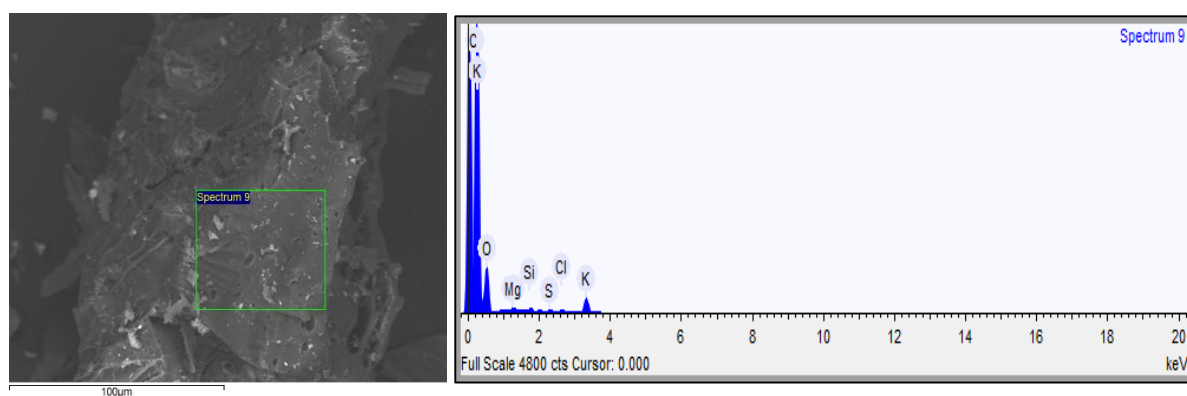


Fonte: Autor (2019).

Na Figura 19 o elemento carbono e potássio continuaram predominantes no carvão ativado por 1 hora (CAB 1H), nota-se que a composição em relação ao carvão vegetal, demonstrou uma elevação nos níveis de cloro (Cl), a presença de sílica (Si) e fósforo (P).

O valor de potássio encontrado no carvão de bambu, foi elevado em relação ao oxigênio (O) e fósforo (P), por exemplo, os altos níveis acontecem devido ao acúmulo de potássio nesse vegetal, que pode ser de 5 a 10% maior em relação aos os outros elementos (SHANMUGHAVEL; FRANCIS, 2001).

Figura 20 - EDS da amostra CAB 2H.

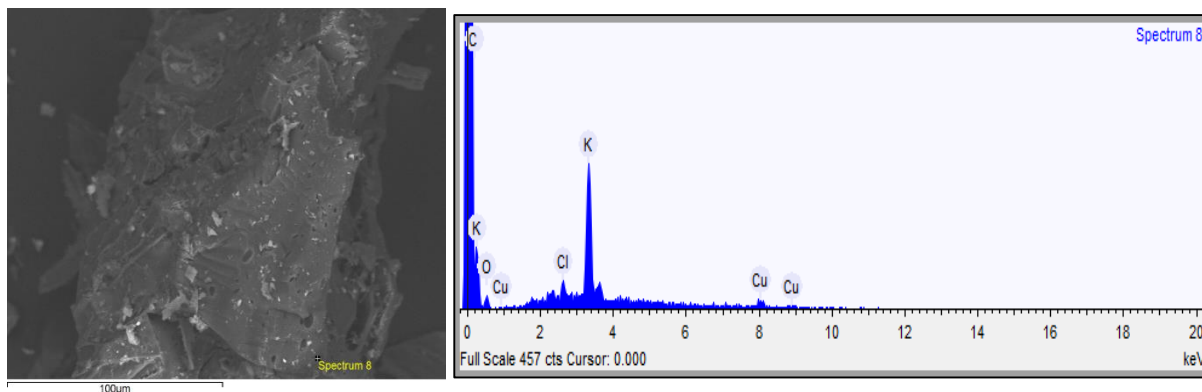


Fonte: Autor (2019).

O espectro do CAB 2H (Figura 20), evidenciou que os picos de carbono e potássio continuaram elevados e os outros elementos sofreram redução, pode-se dizer que por conta da

influência do tempo de ativação, esses elementos foram afetados pela liberação de materiais voláteis (SCREMIN, 2012).

Figura 21 - EDS da Amostra CAB 3.



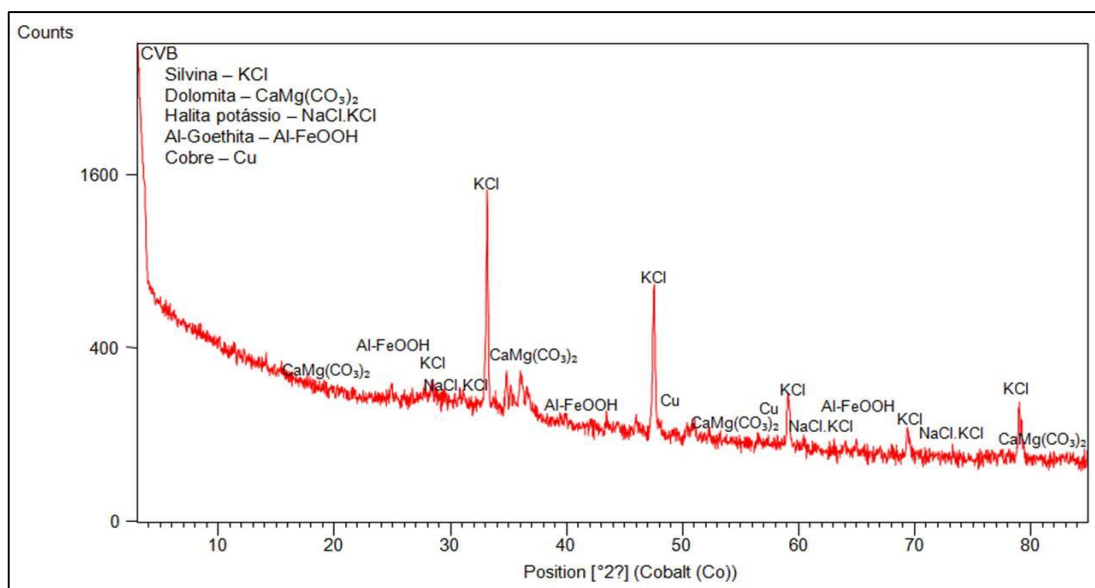
Fonte: Autor (2019).

Pela análise em EDS demonstrada pela Figura 21 e pelos espectros analisados do CVB, CAB 1H e CAB 2H, compreende-se que como o material analisado trata-se de um carbonáceo, o percentual do elemento carbono é predominante (ROCHA, 2006). Os elementos carbono (C), oxigênio (O), magnésio (Mg), e potássio (K), podem ser considerados como elementos naturais do precursor vegetal em estudo, visto que se encontraram presentes em todas as amostras analisadas, os elementos encontrados nos carvões deste trabalho, semelhantemente foram encontrados por Melo (2012).

4.1.9 Difração de Raios – X (DRX)

Através da análise de Difração de Raios – X nas amostras de carvão vegetal e ativado, pode-se demonstrar as fases mineralógicas cristalinas e transformações que ocorrem pelo tratamento térmico do carvão preparado, os resultados foram ilustrados nas Figuras 22, 23, 24 e 25.

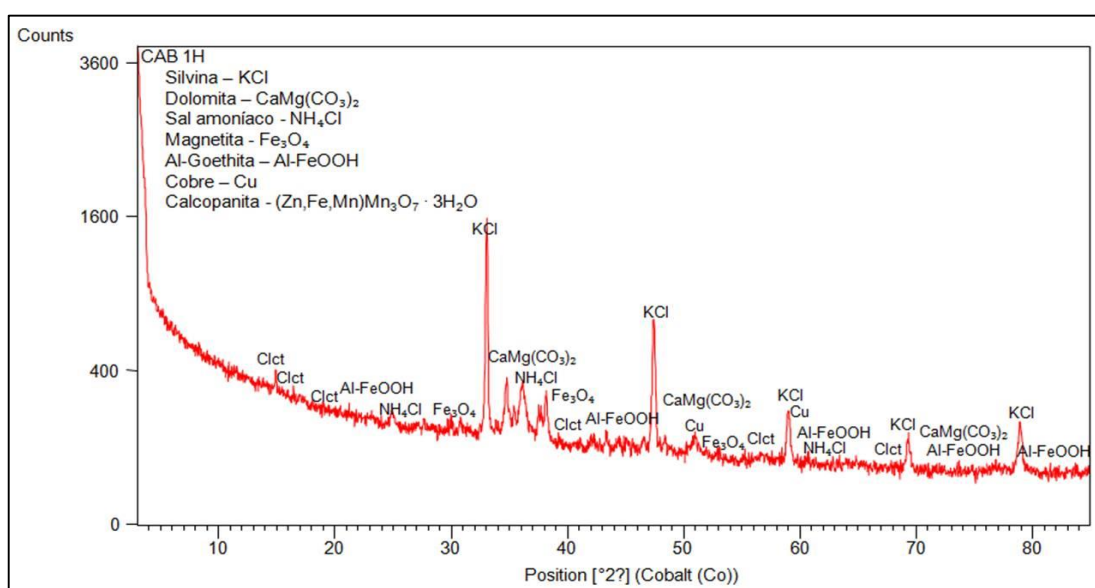
Figura 22 - DRX do CVB



Fonte: Autor (2019).

Na Figura 22, amostra que em CVB é predominante a presença de silvinha (KCl), fase cristalina característica da decomposição da matéria orgânica por meio da pirólise e da formação de cinzas do material, pelo EDS nota-se um alto teor de potássio e cloro podendo justificar a fase silvinha, que quando submetida a temperatura de carbonização pode-se comprovar sua fase cristalina, as outras fases são resultantes da composição do carvão vegetal, pois elementos como alto teor de cálcio, magnésio e sódio foram encontrados em outras análises químicas.

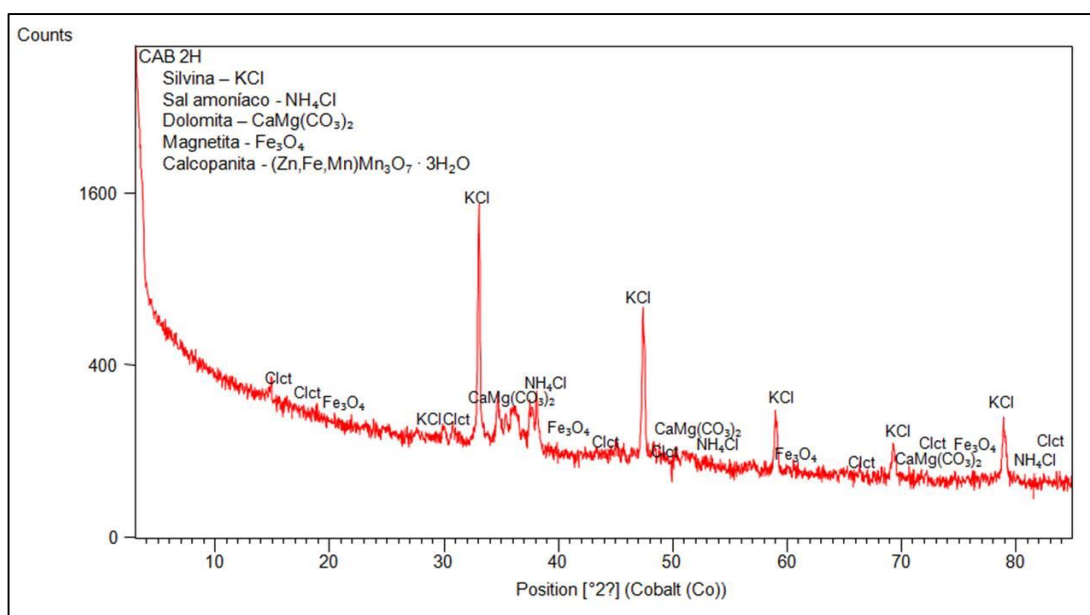
Figura 23 - DRX do CAB 1H.



Fonte: Autor (2019).

Fazendo uma análise dos difratogramas de CVB e CAB 1H (Figura 23), verifica-se a semelhança da estrutura para ambos os carvões, porém maior quantidade de estruturas cristalinas presentes no CAB 1H, nota-se que a influência da temperatura de ativação e o tempo de 1 hora, mantiveram a fase silvina (KCl) como majoritária, e a presença de outras em escalas bem menores.

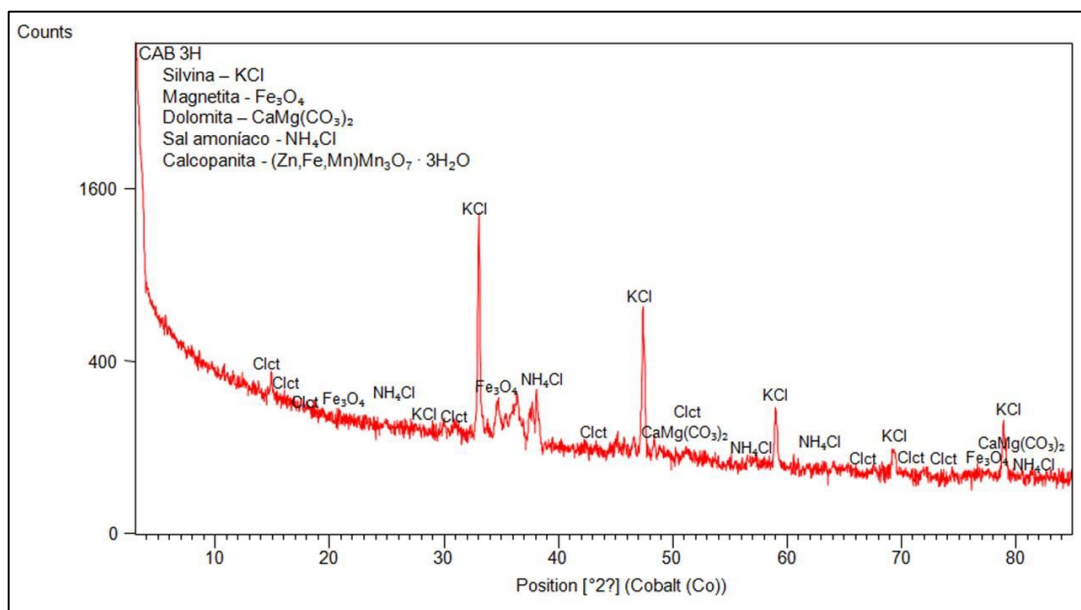
Figura 24 - DRX do CAB 2H



Fonte: Autor (2019).

Na Figura 24, as fases compostas pelos elementos potássio (K) e cloro (Cl) são predominantes, evidenciado pelos altos picos de silvina (KCl), em CAB 2H em menor escala foram identificados sal amoníaco, dolomita, magnetita e calcopanita, demonstrando que estes foram sendo convertidos durante o processo de pirolise, em materiais voláteis e carvão, material de interesse (SOARES, 2014).

Figura 25 - DRX do CAB 3H



Fonte: Autor (2019).

Nas amostras de carvão CAB 1H, 2H e 3H (Figura 25) nota-se que os picos de silvina encontrados no carvão vegetal, continuam presentes em grande quantidade nas fases cristalinas do carvão ativado. A influência da elevada temperatura de ativação proporcionou a presença em fase de magnetita, esse tipo de formação ligadas ao ferro são encontradas em cinzas tratadas a temperaturas acima de 700°C, assim como ocorrem interações entre os minerais e a formação de novas espécies minerais por intermédio da elevada temperatura de ativação, em conjunto com o teor de cálcio, potássio, magnésio entre outros na forma de óxido (FALLAVENA et al., 2019; NAHUYS, et al., 1984).

4.1.10 Fluorescência de Raios – X (FRX)

O resultado da composição química do carvão vegetal e ativados, em sua maioria óxidos, foram ilustrados pela Tabela 10.

Tabela 10 - Percentuais da composição química pela análise de FRX

Amostras	K₂O (%)	Cl (%)	SiO₂ (%)	Na₂O (%)	P₂O₅ (%)	MgO (%)	CaO (%)
CVB	53,39	10,96	7,40	5,61	5,59	5,35	2,44
CAB 1H	57,63	9,74	5,67	3,54	6,87	3,65	1,01
CAB 2H	60,17	9,27	6,25	3,67	7,22	3,63	1,29
CAB 3H	59,23	10,62	6,16	3,22	7,47	3,66	1,22

Fonte: Autor (2019).

As análises dos resultados indicam que não houve grandes variações nas percentagens dos minerais. Observa-se que no carvão vegetal e ativado há grande presença de óxido de potássio (K₂O), como material majoritário, a presença de sílica é um dos minerais mais comum em carvões de origem vegetal (SPEIGHT, 2005). Os demais compostos presentes na amostra são provenientes da característica do material precursor, pois esses elementos aparecem no carvão vegetal e mesmo após o processo de pirólise, continuam a aparecer nos CAs. Submetidos a temperaturas de ativação em torno de 800°C, as famílias minerais sofrem processo de oxidação, com exceção do quartzo (SPEIGHT, 2005).

4.1.11 Espectrometria de Absorção Atômica

Esta técnica de análise foi utilizada para a determinação quantitativa de cobre (II) nas amostras em solução de sulfato de cobre pentahidratado (CuSO₄.5H₂O), os tubetes foram levados para a análise no espectrofotômetro de absorção atômica no Campus de Pesquisa - Museu Paraense Emílio Goeldi e a análises realizada pelo técnico responsável em equipamento modelo Espectrômetro: ICE 3000 AA05131503 v1, 30, os resultados foram demonstrados na Tabela 11.

Tabela 11 - Eficiência de remoção de Cu (II)

Amostras	Tempo de agitação (min)	Concentração Média Inicial de Cu (mg/L)	Concentração Média Final de Cu (mg/L)	ΔC (mg/L)	Eficiência de Remoção (%)
BRANCO	60	48,4407	48,4407	00,0	0,00
CAB 1H	60	48,4407	0,6247	47,8160	98,71
CAB 2H	60	48,4407	0,2415	48,199	99,50
CAB 3H	60	48,4407	0,4004	48,0403	99,17

Fonte: Autor (2019).

Os resultados demonstram o potencial de remoção do carvão ativado produzido a partir dos resíduos de bambu, quantificado pela absorção atômica. Nota-se que a eficiência de remoção de Cu (II) foi em média de 99% para os parâmetros citados na Tabela 8 e que os tempos de ativação possuíram pouca influência para os resultados de adsorção, porém ressalta-se que a amostra CAB 2H obteve o melhor percentual, sendo de 99,50%. A metodologia deste trabalho é similar a empregada por Melo (2012), que obteve uma eficiência de remoção de Cu (II) de 99,32%, porém o material precursor foi a casca da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa L.*). Com isto, observa-se que o tempo de ativação térmica por 2 horas foi eficiente, para remoção de cobre (II) por meio da adsorção.

4.1.12 Determinação do Ph

A influência da alta temperatura de ativação no carvão e o tempo em que este é submetido pode-se considerar a alíquota como ácida, quando o carvão é ativado a temperatura de 200 a 400°C ou básico, quando ativado a temperatura de 800 a 1000 °C (MOHAN e PITTMAN, 2006). Os valores obtidos para os diferentes tempos de ativação termicamente foram demonstrados na Tabela 12.

Tabela 12 - Determinação do pH.

Amostra	Ph	Caracterização
BRANCO	4,65	Ácido
CAB 1H	8,32	Base
CAB 2H	8, 37	Base
CAB 3H	8, 35	Base

Fonte: Autor (2019).

Como esperado, os carvões ativados termicamente em diferentes tempos apresentaram caráter básico, devido a temperatura de ativação de 800 °C em que foram submetidos. Segundo Mohan e Pittman (2006), os carvões ativados que apresentam características básica, desenvolvem óxidos básicos na superfície e nas cinzas responsáveis pela elevação do pH quando em solução, assim, tornam-se propícios a adsorver compostos ácidos como exemplo, o sulfato de cobre pentahidratado, que foi medido na solução branco e dispondo de pH 4,65.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do estudo experimental do carvão ativado utilizando resíduos de bambu (*Bambusa Vulgaris*), foi possível determinar que o carvão ativado a 800°C pelo tempo de 2 horas (CAB 2H) se apresentou como melhor adsorvente para a adsorção de íons de cobre (II), com índices acima de 95%, determinado pelo método de absorção atômica, onde o pH da solução demonstrou caráter alcalino de 8,37.

Resultados como Teor de cinzas (8,30%), Carbono Fixo (37,93%), Rendimento (46,23%) e os Materiais Voláteis (53,77%), demonstraram-se positivos para a produção do carvão ativado, pois foram próximas às características de outros estudos.

A morfologia do material (MEV) ilustrou estrutura porosa que, quando analisada pelo espectro (EDS) confirmou sua característica carbonácea pelo alto teor de carbono (C); assim como as análises do FRX e DRX, confirmaram a presença predominante dos elementos de potássio (K) e cloro (Cl), que sob a elevada temperatura, há formação de fases mineralógicas compostas por esses elementos.

Os resíduos de bambu, demonstraram ser uma interessante alternativa para produção de CA, ajudando na redução de impactos que os acúmulos desses resíduos podem gerar no meio ambiente. As caracterizações realizadas no carvão vegetal e nos ativados, proporcionaram a melhor compreensão do material e a identificação dos elementos que compõe o carvão; algumas análises com o material precursor utilizado neste trabalho, não foram encontradas na literatura nos mesmos parâmetros, entretanto as análises feitas por este podem auxiliar a outros trabalhos.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Produzir carvão ativado de bambu (*Bambusa Vulgaris*) adotando o método ativação química;
- Produzir as isotermas de adsorção pelos modelos de Brunauer-Emmett-Teller (BET) e Freundlich;
- Efetuar o estudo de remoção, por meio da adsorção de outros íons metálicos e corantes;
- Realizar ensaios com efluentes industriais;
- Realizar estudos comparativos com carvão comercial.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. G. **Estruturação da rede de pesquisa e desenvolvimento**. I Seminário Nacional do Bambu. Anais... p.5, 2. ed. Brasília, 2011.
- APROBAMBU. **Associação Brasileira dos Produtores de Bambu**. 2018. Disponível em: <<http://aprobambu.com.br/>>. Acesso em: 12 abr. 2019.
- APUAMA, **História do bambu no Brasil**. 2018. Site de informações sobre bioconstruções, como bambu, madeira e biomateriais. Disponível em: <<http://apuama.org/historiabambu/>>. Acesso em: 13 mar. 2018.
- 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. **NBR 7353: Soluções aquosas - Determinação do pH com eletrodos de vidro**. São Paulo, 2014.
- ATSDR. **Toxicological profile for copper**. New York, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 314 p. 2004.
- BANSAL, R.C.; GOYAL, M. Activated Carbon Adsorption. **Meenakshi**, 2005.
- BARROS, A.R.B. Remoção de metais em água utilizando diversos adsorventes, **Revista Tecnológica**. Ed especial, p. 65- 72, 2000.
- BASSO, Sabrine. **Análise do Carvão Vegetal para Uso Doméstico**. 2017. 42p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.
- BRANCO, Pércio de Moraes. **Carvão Mineral**. 2014. CPRM- Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas--Rede-Ametista/Canal-Escola/Carvao-Mineral-2558.html>>. Acesso em: 7 abr. 2019.
- BRANDÃO, P. C. **Avaliação do bagaço de cana como adsorvente para a remoção de contaminantes, derivados do petróleo, de efluentes**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, 2006.
- BRASIL. **Lei nº 12.484 de 2011**. Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu. 2011. 3 p.
- BRITO, JO; TOMAZELLO F M; SALGADO A L B. **Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu**, Piracicaba, IPEF, p. 13- 17. 1987.

BRUM, S. S. et al. **Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café.** Química Nova, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 1048-1052, 2008.

CARDOSO, Marco Tsuyama. **Da iluminação das cidades no século XIX às biorrefinarias modernas: história técnica e econômica da gaseificação.** 2013. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia, Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CASCO, M. E. **Carbones nanoporosos para la captura / almacenamiento de CO₂ y CH₄.** 2015. 183p. Tese de Doutorado - (Doutorado em Ciências de Materiais). Universidade de Alicante, Alicante, 2015.

CLARK, H. L. M. **Remoção de fenilalanina por adsorvente produzido a partir da torta prensada de grãos defeituosos de café.** Dissertação em Ciência dos Alimentos. Faculdade de Farmácia, UFMG, Belo Horizonte. 115 p. 2010.

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

COSTA, T. M. S. **Estudo da viabilidade técnica do emprego do bambu da espécie Bambusa vulgaris Schard., como carvão vegetal.** 2004. 62 p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D.; SILVA JÚNIOR, A. G.; CONDE, L. J. N. Produção de pellets de madeira - o caso da bio-energy no Espírito Santo. **Biomassa & Energia** v. 1, n. 1, p.45-52, 2004.

DRUMOND, Patrícia Maria; WIEDMAN, Guilherme. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia.** Rio de Janeiro: ICH - Instituto Ciência Hoje, 2017. 659 p.
ESCOLA, In Britannica. **Bambu.** 2019. CAPES – Ministério da Educação. Disponível em: <<https://escola.britannica.com.br/artigo/bambu/480731>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

FALLAVENA, Vera L. V. et al. **Avaliação de métodos de determinação do teor de matéria mineral em carvões brasileiros.** Disponível em: <http://www.ufrgs.br/rede-carvao/Sess%C3%B5es_C1_C2_C3/C3_ARTIGO_01.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2019.

FERREIRA, P. P. L. et al. **Adsorção de Cu²⁺ e Cr³⁺ em efluentes líquidos utilizando a cinza do bagaço da cana-de-açúcar.** 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v61n360/0366-6913-ce-61-360-00435.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2019.

FLUMIGNAN, Izidoro. **A cultura do bambu como um produto que pode ajudar a curar o planeta.** 2015. Disponível em: <http://www.bambu-urgente.flumignano.com/O_BAMBU.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2019.

FREIRE, Wesley Jorge; BERALDO, Antonio Ludovico. **Tecnologias e materiais alternativos de construção.** São Paulo: Editora Unicamp, 2003. 336 p. 4ª Reimpressão - 2017.

FREITAS, Leizer Cordeiro da Silva. **Carvão ativo: breve histórico e estudo de sua eficiência na retenção de fármacos**. 2014. UNILAGO. Disponível em: <<http://www.unilago.edu.br/revista/edicaoatual/Sumario/2014/downloads/6.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2019.

GAVRONSKI, Jorge Dariano. **Carvão mineral e as energias renováveis no Brasil**. 2007. 291 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Tecnologia Mineral e Metalurgia Extrativa, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

GÜRSES, A. et al. Production of granular activated carbon from waste Rosa canina sp seeds and its adsorption characteristics for dye. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 131, p. 254–259, 2006.

HEYLMANN, Kelly Kathleen Almeida. **Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de caroço de pêssego no tratamento de efluente têxtil**. 2015. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

HOFFMAN, B. S. **O ciclo Combinado com Gaseificação Integrada e a Captura de CO₂: Uma Solução para mitigar as emissões de CO₂ em Termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo?**. 2010. Dissertação (mestrado em Planejamento Energético) PPGPE, UFRJ, Rio de Janeiro: 2010.

HSING, Tseng Yao; PAULA, Nádia Figueiredo de. **Produção e caracterização de carvão ativado de quatro espécies de bambu**. 2011. 4f. IV Semana de Tecnologia do Curso de Biocombustíveis da Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal. Jaboticabal – SP, 2011.

INBAR - INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN. **Bamboo: A strategic resource for countries to reduce the effects of climate change**. China: INBAR Policy Synthesis Report, 2015. 19p.

LEGNER, Carla. Adsorção por carvão ativado. 2017. **Edição Nº 88 - Setembro/Outubro de 2017** - **Ano XVI**. Disponível em: <<http://meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?link=ultima&fase=C&id=1178>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

LEMES, E. M.; COELHO, L.; MACHADO, T. V. **Bambu – Um dos mais promissores recursos renováveis do século 21**: Solos. 2017. REVISTA CAMPOS E NEGÓCIOS. Disponível em: <<https://agroruralnews.blogspot.com/2017/04/bambu-um-dos-mais-promissores-recursos.html>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

LOBOVIKOV, M. World Bamboo Resources - A thematic study prepared in the frame work of the Global Forest Resources. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Rome. 2007.

MACHADO, Palhocos. **Produção de Carvão - Fornos de Carvão**. 2016. GEOCACHE. Disponível em: <https://www.geocaching.com/geocache/GC6GCR9_ec48pm-producao-de-carvao-fornos-de-carvao?guid=4e6b1799-b941-4c27-bcb7-c329b8ab2263>. Acesso em: 08 maio 2019.

MELO, Selma dos Santos. **Produção de carvão ativado a partir da biomassa residual da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* L.) para adsorção de cobre (II)**. 2012. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, 2012. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

MOHAN, D.; PITTMAN Jr, C. U. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water. **Journal of Hazardous Materials**. v. 137, p. 762–811, 2006.

MORAIS, Rayssa de Medeiros. **Produção de Carvões Ativados Preparados a Partir de Diferentes Materiais Precursores**. 2017. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais e Florestais, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

MOURA, Charles Vieira de. **Sustentabilidade - consumo consciente no cenário elétrico carioca**. 2010. 71 f. Monografia (Especialização) - Curso de Direito nas Relações de Consumo, Instituto A Vez do Mestre, Universidade Candido Mendes, Rio de Janeiro, 2010.

MUCCIACITO, J. C. Conceitos e aplicações do carvão ativado. **Revista e portal meio filtrante**. São Paulo. Edição 22. Ano V, 2006.

NAHUYS J., ALPERN B. e MARTINEZ L. **Mineral matter in ashy and non-washable coals – Its influence on chemical properties**. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal.. - Portugal, 1984.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do et al. **ADSORÇÃO: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará - UFC, 2014. 258 p.

OLIVEIRA, Aylson Costa et al. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell.** 2010. Scientia Forestalis. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr87/cap10.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

ORTHEY, Andre Luis. **Uso do bambu industrializado no Brasil e sua aplicação no design de móveis: Estudo de caso da empresa Oré Brasil**. 2015. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2015.

OSTAPIV, Fabiano, **Análise e melhoria do processo produtivo de tábuas de bambu (*Phyllostachys pubescens*) com foco em pisos**, 2007, 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PAULA, L. E. R. **Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos**. 2010. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

PEREIRA, E. et al. Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de FeCl₃ como agente ativante. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 6, p. 1296-1300, 2008.

RECOBERT, M. P. **Carbón activado evaluación de nuevos precursores y del proceso de activación con dióxido de carbono.** 2015. 233p. Tese - (Doctorado em Química) - Universidade de Alicante, Alicante, 2015.

ROCHA W. **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, Alex Rilie Moreira. **O DESENVOLVIMENTO DA CADEIA PRODUTIVA DO BAMBU EM RONDÔNIA: A formação de uma cadeia produtiva alternativa para o desenvolvimento regional sustentável.** 2017.

ENGEMA - **Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente.** Disponível em: <<http://engemausp.submissao.com.br/17/anais/arquivos/5.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2019.

SANTANA, Gregório Mateus. **Resíduos de bambu (*bambusa vulgaris schard.*) Para a produção de carvão ativado.** 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2014.

SANTOS, G. H. F.; MÓDENES, A. N.; OLIVEIRA, A. P.; TASCHIN, A. R.; BRAGIÃO, M. E.; BEZERRA, I. G. O. **Aplicação da fibra de bambu in natura e carvão ativado ósseo como adsorvente na remoção de corante azul de metileno.** XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ, Florianópolis - SC, 2014.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; BIANCHE, J. J.; SOUZA, M. M.; CARDOSO, M. T. **Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto.** Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.

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.

SATER, Osmir et al. Estudo comparativo da carbonização de resíduos agrícolas e florestais visando à substituição da lenha no processo de secagem de grãos de café. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 6, p.717-722, dez. 2011.

SCREMIN, André Luis Trentin. **Estudo Energético e Fisicoquímico do Carvão Vegetal de *Eucalyptus dunnii* Maiden.** 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Bioenergia, Universidade Estadual do Centro-oeste, Guarapuava, 2012.

SILVA, J. F. **Modelagem para remoção de metais pesados através de algas: análise para um componente em processo batelada e contínuo.** 2001. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas – SP, 2001.

SILVA, Juarez Ramos da, **Bambu, um material alternativo para trilhar caminhos conscientes e sustentáveis**. São Paulo: Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística, v. 8, n. 1, Edição Temática em Sustentabilidade. 2018.

SILVA, Macksuel Fernandes da. **Propriedades energéticas da biomassa e do carvão vegetal de espécies de bambu e clones de eucalipto**. 2016. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

SILVA, Maria Clara Mendes da. **Avaliação da adsorção de cobre a partir de carvão ativado obtido quimicamente do bagaço de cana de açúcar**. 2017. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2017.

SIMON, P.; GOGOTSI, Y. Charge storage mechanism in nanoporous carbons and its consequence for electrical double layer capacitors. **Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences**, v. 368, n. 1923, p. 3457–3467, 2010.

SOARES, Larissa Azevedo. **Síntese, ativação e caracterização de carvão obtido a partir de bagaço de cana de açúcar e avaliação da capacidade de adsorção**. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/22736/1/LarissaAzevedoSoares_DISSERT.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2019.

SOARES, V. C. **Comportamento térmico, químico e físico da madeira e do carvão de Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis em diferentes idades**. Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras. Programa de PósGraduação em Ciência e Tecnologia da Madeira. Lavras, 2011.

SOUZA, Eraldo Bonini de. **Estudo da viabilidade técnica para o cultivo de bambu gigante (Dendrocalamus giganteus) em Planaltina-DF**. 2010. UPIS. Disponível em: <<http://www.almanaquedocampo.com.br/imagens/files/Estudo%20da%20viabilidade%20t%C3%A9cnica%20para%20o%20cultivo%20de%20bambu%20gigante.pdf>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

SOUZA, R. S. **Adsorção de cromo (VI) de soluções diluídas, utilizando CAG por Sistema em Batelada e em Leito Fixo**. Belém, 2008. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pará, 2008.

Speight J.G. **Mineral Matter**. Handbook of Coal Analysis John Wiley & Sons, New. - 2005.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 114-201, jul./dez. 2001.

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.

VALE, A.T; MENDES, R.M.; AMORIM, M.R.S.; DANTAS, V.F.S. Potencial Energético da Biomassa e Carvão Vegetal do Epicarpo e da Torta de Pinhão Manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273, abr./jun. 2011.

VÁSQUEZ, T. G. P. **Avaliação da remoção de Cd e Zn de solução aquosa por bio sorção e bioflotação com *Rhodococcus opacus***, Dissertação (Mestrado) -Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

VAZ, Luiz Gustavo de Lima. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, PR, 2009.

VENTANIA, L., **Bambu versátil e popular**. Paraná: Revista Bem Público, nº 8 – Ano 2, Curitiba, jun. 2006.

VOLESKY, B.; Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century, **Hydrometallurgy**, v. 59, p. 203 -216, 2001.

YAGMUR, E.; OZMAK, M.; AKTAS, Z. A Novel Method for Production of Activated Carbon from Waste Tea by Chemical Activation with Microwave Energy. **Fuel**, v. 87, n. 15-16, p. 3278-3285, 2008.