



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira



ANA PAULA ALVES DE LIMA RIBEIRO

**CARVÃO ATIVADO DE ENDOCARPO DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*) PARA
ADSORÇÃO DE CO₂ EMITIDO PELA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-DE-
AÇÚCAR**

João Pessoa/PB

2019

Ana Paula Alves De Lima Ribeiro

**CARVÃO ATIVADO DE ENDOCARPO DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*) PARA
ADSORÇÃO DE CO₂ EMITIDO PELA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-DE-
AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do grau de Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira.

Orientador(a): Prof Dr. Kelson Carvalho Lopes

João Pessoa/PB

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

R484c Ribeiro, Ana Paula Alves Lima.

Carvão ativado de endocarpo de Macauba para absorção de CO2 emitido pela queima do bagaço de cana-de-açúcar / Ana Paula Alves Lima Ribeiro. - João Pessoa, 2019.
39 f.

Orientação: Kelson Carvalho Lopes.
TCC (Especialização) - UFPB/CTDR.

1. Carvão ativado. Absorção. Macauba. I. Lopes, Kelson Carvalho. II. Título.

UFPB/BC

**CARVÃO ATIVADO DE ENDOCARPO DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)
PARA ADSORÇÃO DE CO₂ EMITIDO PELA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-
DE-AÇÚCAR**

Ana Paula Alves De Lima Ribeiro

TCC aprovado em 3/5/19 como requisito para a conclusão do curso de
Tecnologia em Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

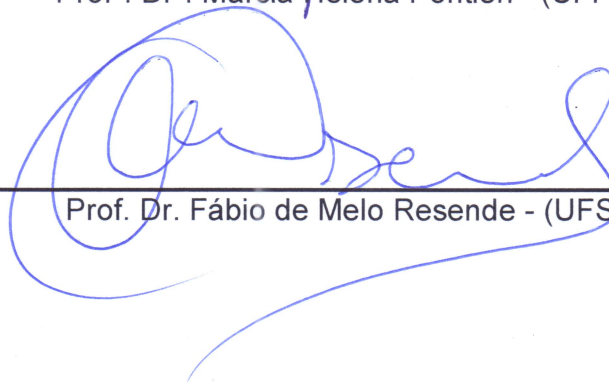
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Kelson Carvalho Lopes - (UFPB – Orientador)



Prof.^a. Dr.^a. Marcia Helena Pontieri - (UFPB – Membro interno)



Prof. Dr. Fábio de Melo Resende - (UFS – Membro externo)

João Pessoa, 03 de maio de 2019.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao professor Kelson Carvalho Lopes Que é uma referência como pessoa, educador e orientador. !

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora de Fátima, pela força e benção de me permitir concluir o curso de graduação em Tecnologia em Produção Sucroalcooleira na UFPB.

Agradeço imensamente ao meu orientador Kelson Carvalho Lopes por tudo que fez por mim, e faz para cada aluno que precisar de ajuda no CTDR.

Agradeço a minha prima que se tornou uma mãe para mim Selma Ataíde por toda ajuda e apoio durante todo esse tempo de curso, diante de tantas dificuldades que passamos sempre acreditou em mim, serei eternamente grata pela oportunidade que me deu de concluir uma graduação.

Ao meu tio José Lindolfo por toda palavra de força e encorajamento para que eu nunca desistisse de concretizar meu objetivo.

Ao meu gato Dom, companhia nas madrugadas de estudos.

Agradeço a minha amiga e companheira de trabalho Ana Lúcia por todo apoio e força.

Aos meus grandes amigos Mariana, Demison, Iara, Paloma, Karol, que mesmo eu precisando me afastar deles por um tempo para concluir o curso, nunca se afastaram de mim e sempre me apoiaram me deram força e acreditaram na minha capacidade. A minha amiga e companhia de dividir a cadeira no ônibus comigo Leonarda por todo apoio nessa caminhada.

Agradeço ao querido e amigo Marlon que se tornou um irmão para mim, companheiro de ônibus, de sala, sempre me ajudou em tudo o que pode, a minha eterna gratidão.

Agradeço também a Wendell por toda ajuda, paciência e disponibilidade de tempo no laboratório de carvão ativado.

Agradeço também aos técnicos de laboratório do CTDR, Zé Carlos, Diego, Silvano, Cláudia por toda ajuda que me deram. Aos amigos que também me ajudaram no laboratório Clodenor, Alex, Anderson, Elton, Wellison que também me disponibilizou o bagaço para as análises Paula Eleonora que também foi companheira de ônibus e sempre esteve presente em tudo.

Aos amigos que se tornaram família Laura, Géssica, Raquel, Samara, Andréa, Tayná, Hugo, Felipe, Tomás, Jhon, Marcondes, Hayssa, Isabelle. Amizades que conquistei durante esse tempo e quero para o resto da vida.

E a todos os professores do DTS que me ensinaram e passaram seus conhecimentos contribuindo para a minha graduação.

Ao laboratório de carvão ativado (LCA), localizado no bairro de castelo branco, Campus I- UFPB.

A persistência é o caminho do êxito.

Charles Chaplin

RESUMO

O CO₂ (dióxido de carbono) é responsável pela contribuição e aumento do efeito estufa gerando o aumento do aquecimento da terra. Ao longo dos anos esse alto nível de concentração vem aumentando, causando efeitos drásticos como poluição do ar, chuvas ácidas, afetando diretamente o meio ambiente e a saúde da população. Sendo o setor industrial e automotivo que mais emite CO₂, pela queima de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural, carvão mineral). E o setor sucroalcooleiro também é responsável por lançar milhões de toneladas de dióxido de carbono no meio ambiente através da queima do bagaço. Visando diminuir o impacto causado pelo efeito estufa, e com avanço tecnológico estudos vêm sendo desenvolvidos diferentes técnicas para capturar e armazenar CO₂, uma delas é através de adsorção com carvão ativado.

Carvão ativado é uma forma de carbono puro com grande nível de porosidade apresentando propriedades atribuídas a sua área superficial. A produção de carvão ativado é geralmente de origem vegetal, na qual o produto sólido é obtido através de carbonização de madeira, onde as técnicas utilizadas para obtenção e seu uso posterior determinaram as características do carvão produzido. Com base na madeira seca seu rendimento é de 25 a 35%.

A Macaúba (*acrocomia aculeata*) também conhecida como coco de espinho, macaíba ou coco baboso é uma palmeira pertencente à família das Arecaceae podendo atingir 20 m de alturas com diâmetro de 30 cm seus cachos podem pesar até 60 kg produzindo de 4 a 6 cachos por ano podendo viver até 100 anos.

A característica incomparável do carvão é a larga superfície interna localizada dentro da rede de poros estreitos, onde a maior parte do processo de adsorção tomará lugar e cujo tamanho e forma dos poros também influenciam na seletividade da adsorção através do efeito de peneira molecular.

A ativação pode ser de forma física e forma química:

- **Ativação física:** Na ativação física o carvão reage com gases combinado de oxigênio, vapores de água ou a mistura dos dois CO₂, H₂O.
- **Ativação química:** Passa por um processo de impregnação de agentes ativantes que são Cloreto de Zinco (ZnCl₂), Ácido fosfórico (H₃PO₄), Hidróxido de Sódio (NaOH) entre outros no material ainda não carbonizado, proporcionando a formação de ligações cruzadas, assim o material fica menos propenso a volatilização quando é submetido a altas temperaturas.

Ao observar os dados obtidos, o carvão com maior área superficial foi o carvão ativado quimicamente **1180,1326 m²/g** contra **212,7739 m²/g**, do carvão ativado fisicamente e quanto maior a área superficial maior seu poder de adsorção como diz a literatura.

Palavras-chave: Carvão ativado. Adsorção. Macaúba. Ativação física. Ativação química

ABSTRACT

CO₂ (carbon dioxide) is responsible for the contribution and increase of the greenhouse effect generating the increase of the earth heating. Over the years this high level of concentration has been increasing, causing drastic effects such as air pollution, acid rain, directly affecting the environment and the health of the population. Being the industrial and automotive sector that emits most CO₂, by burning fossil fuels: (oil, natural gas, coal). And the sugar and alcohol industry is also responsible for releasing millions of tons of carbon dioxide into the environment through the burning of the bagasse. Aiming to reduce the impact caused by the greenhouse effect, and with technological advances studies have been developed different techniques to capture and store CO₂, one of them is through adsorption with activated carbon.

Activated carbon is a form of pure carbon with high level of porosity presenting properties attributed to its surface area. The production of activated carbon is generally of vegetable origin, in which the solid product is obtained through carbonization of wood, where the techniques used to obtain and its subsequent use determined the characteristics of the coal produced. Based on dry wood its yield is around 25 to 35%

The Macaúba (*acromia aculeata*) also known as coconut of thorn, macaíba or coconut slimy is a palm belongs to the family of the Arecaceae and can reach 20 m of heights with diameter of 30 cm its bunches can weigh up to 60 kg producing from 4 to 6 curls per year and can live up to 100 years.

The unmatched charcoal characteristic is the large internal surface located within the narrow pore network, where most of the adsorption process will take place and whose size and outside the pores also influence the adsorption selectivity through the molecular sieve effect

The activation can be of physical form and chemical form:

- Physical Activation: In physical activation the coal reacts with combined oxygen, water vapor or the mixture of the two CO₂, H₂O.
- Chemical Activation: It goes through a process of impregnation of activating agents that are Zinc Chloride (ZnCl₂), Phosphoric Acid (H₃PO₄), Sodium Hydroxide (NaOH) among others in the material still not carbonized, providing the formation of cross-links, thus the material becomes less prone to volatilization when subjected to high temperatures.

When observed the data obtained, the coal with the largest surface area was chemically activated carbon 1180.1266 m² / g against 212.7739 m² / g, of the activated carbon physically and the larger the surface area the greater its adsorption power as the literature says .

Keywords: Activated carbon. Adsorption. Macaúba. Physical activation. Chemical Activation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Características do fruto da macaúba	16
Figura 2 – Produtos obtidos pelo fruto.....	16
Figura 3 – Partes do fruto.....	17
Figura 4 - Carvão ativado granulado	19
Figura 5 - Carvão ativado pulverizado.....	19
Figura 6 - Carvão ativado físico.....	19
Figura 7 - Carvão ativado químico	19
Figura 8 - Forno construído para medição do CO ₂ e queima do bagaço.	22
Figura 9 – Visão interna do forno para queima do bagaço.....	23
Figura 10 – Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço.....	23
Figura 11 - Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço.....	23
Figura 12 - Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço.....	23
Figura 13 - Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço.....	24
Figura 14 - Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço.....	24
Figura 15 - Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço.....	24
Figura 16 - Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço.....	24
Figura 17 - endocarpos de macaúba.....	25
Figura 18 - moinho de martelo	26
Figura 19 - peneiras mash.....	27
Figura 20 - forno rotativo utilizado para carbonização de carvão ativado	29
Figura 21 – Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 resultados e características do Carvão Ativado Fisicamente _____	30
Tabela 2 resultados e características do Carvão Ativado quimicamente _____	31
Tabela 3 Resultados da % adsorção dos carvões produzidos _____	35

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Características da macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>)	15
3.2 Poluição do ar decorrente emissões de CO ₂	17
3.3 Carvão Ativado	18
3.3.1 Características do carvão ativado	18
3.3.2 Produção de Carvão Ativado	20
3.3.3 Adsorção de carvão ativado	20
3.3.4 Porosidade	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 Parâmetros Utilizados para produção do Carvão	28
4.1.1 1ª etapa: Lavagem da matéria-prima com HCl	28
4.1.2 2ª etapa: Ativação química com H ₃ PO ₄	28
4.1.3 3ª etapa: Carbonização da matéria-prima no forno rotativo	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Análises do carvão	30
5.2 Adsorção de CO ₂	33
5.2.1 Metodologia:	33
5.2.2 Resultado	34
6 CONCLUSÕES	36
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	37
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

O CO₂ (dióxido de carbono) é responsável pela contribuição e aumento do efeito estufa gerando o aumento do aquecimento da terra. Ao longo dos anos esse alto nível de concentração vem aumentando, causando efeitos drásticos como poluição do ar, chuvas ácidas, afetando diretamente o meio ambiente e a saúde da população. Sendo o setor industrial e automotivo que mais emite CO₂, pela queima de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural, carvão mineral). E o setor sucroalcooleiro também é responsável por lançar milhões de toneladas de dióxido de carbono no meio ambiente através da queima do bagaço. Visando diminuir o impacto causado pelo efeito estufa, e com avanço tecnológico estudos vêm sendo desenvolvidos diferentes técnicas para capturar e armazenar CO₂, uma delas é através de adsorção com carvão ativado.

Carvão ativado é uma forma de carbono puro com grande nível de porosidade apresentando propriedades atribuídas a sua área superficial. (SOUZA, Líria Alves de). A produção de carvão ativado é geralmente de origem vegetal, na qual o produto sólido é obtido através de carbonização de madeira, onde as técnicas utilizadas para obtenção e seu uso posterior determinaram as características do carvão produzido. Com base na madeira seca seu rendimento é de 25 a 35% (COELHO et al., 2008).

Seu poder adsorvente é proveniente de alta área superficial e da presença de uma variedade de grupos funcionais em sua superfície. (GUILADUCCI et al., 2006)

Para cada adsorção específica e para cada carvão, a distribuição e volume de poros são também para controlar o acesso das moléculas do adsorvido para a superfície interna do carvão ativado (WILLIAMS REED, 2006)

A parte que cobre as sementes das angiospermas são chamadas de endocarpo, com finalidade de proteger o fruto na maioria das vezes é de material lenhoso rico em carbono.

Ao avaliar o endocarpo da macaúba estudos mostraram que elevados valores para a densidade aparentem o que representa uma boa característica para a produção de carvão vegetal (SILVA; BARRICHELO; BRITO 1986) .

Além disso, Tenório (1982) certifica que o endocarpo das palmáceas são formados de um tecido fibroso rico em feixe vasculares e por um conjunto de células

de enchimento, formando, portanto, um tecido lignificado e rígido que apresenta grande aptidão para ser convertido em carvão ativado de elevada qualidade

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um carvão ativado a partir do endocarpo de Macaúba (*Acrocomia aculeata*)

2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um carvão ativado físico de macaúba.
- Desenvolver um carvão ativado químico de macaúba.
- Desenvolver um carvão ativado físico de coco para comparação.
- Analisar a capacidade de adsorção desse carvão em relação a emissão de CO₂ da queima do bagaço da cana de açúcar.
- Avaliar as características físico-químicas do carvão obtido

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Características da macaúba (*Acrocomia aculeata*)

A macaúba distribui-se ao longo de grande parte da América Latina, expandindo-se desde o Paraguai até a Argentina passando pelo sul do Brasil e chegando até a zona subtropical e tropical da América, porém ausente em dois países Equador e Peru. (Hederson et al.,1995)

Quanto ao Brasil, a *Acrocomia aculeata* é uma espécie que possui uma ampla ocupação geográfica no território brasileiro, sua distribuição ocorre no Sudeste nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, existe ainda concentrações nas regiões Nordeste e Norte do Brasil além de ser encontrada na região sul e continua passando pelo estado de Minas Gerais e toda região Centro-Oeste sendo amplamente espalhadas pelas áreas de cerrado, onde as maiores concentrações de povoados naturais localizam-se nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. (CARVALHO; SOUZA; MACHADO,2011)

A Macaúba (*acrocomia aculeata*) também conhecida como coco de espinho, macaíba ou coco baboso é uma palmeira pertence à família das Arecaceae podendo atingir 20 m de alturas com diâmetro de 30 cm seus cachos podem pesar até 60 kg produzindo de 4 a 6 cachos por ano podendo viver até 100 anos. Seu período de floração de janeiro a fevereiro com frutificação entre março e abril. Figura 1

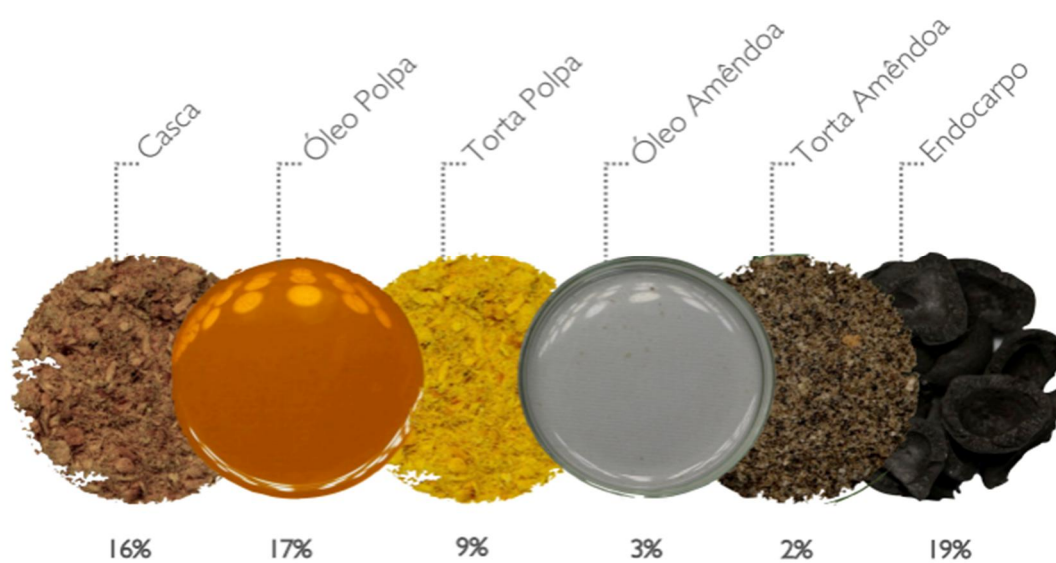
Figura 1- Características do fruto da macaúba



Fonte: Nilton Junqueira acesso em abril de 2019

O fruto pode ser aproveitado desde a casca até a amêndoa algumas aplicações e potenciais proveniente do fruto pode ser observado na Figura 2 podendo ser empregado em: alimentos, cosméticos, biocombustível, energia, lubrificantes, oleoquímica, ração animal, fertilizante orgânico, carvão ativado

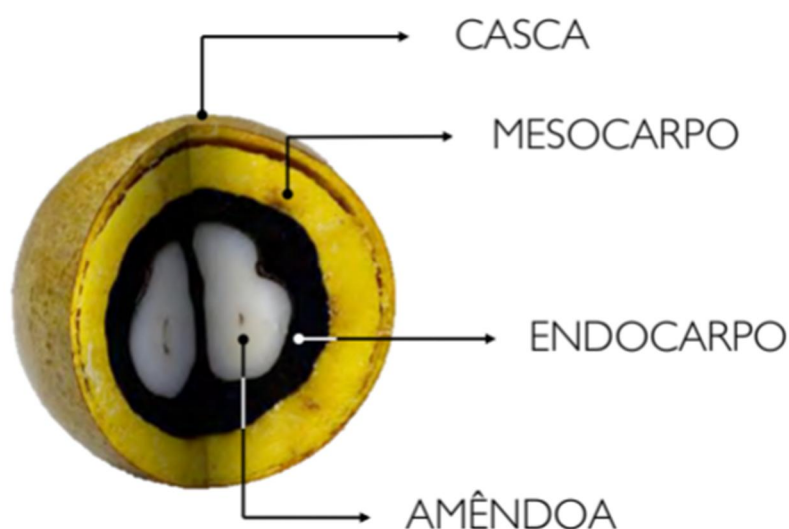
Figura 2 – Produtos obtidos pelo fruto.



FONTE: Análise Solea, 2009 .

Segundo Mota et. All (2011), no decorrer do processo de maturação o fruto apresenta diferentes cores que varia de verde para amarelo de acordo com seu estágio de maturação , muitas vezes está coloração pode variar de região para região ficando mais claro ou mais escuro. O Fruto é formado por casca , polpa, endocarpo e amêndoa retratado na Figura 3.

Figura 3 – Partes do fruto.



FONTE: Análise Soléa, 2009

3.2 Poluição do ar decorrente emissões de CO₂

As diversas fontes de poluição são difíceis de classificar, mas podemos afirmar que desde as eras mais remotas, o planeta passa por dificuldades por fontes geradoras de poluição tanto naturais ou artificiais, este problema se agravou ainda mais com a revolução industrial isto fez com que o homem preocupasse ainda mais buscando medidas para contornar está situação (BRAUN, 2003) . Ao longo dos anos as emissões de CO₂, variou pouco no decorrer das décadas, em 2001 a emissão de CO₂ era de 1,9 toneladas por pessoas passando para 2,2 toneladas em 2011, podemos observar que esse índice vem aumentando no decorrer dos anos necessitando de medidas eficazes para reduzir esses níveis de poluição (BBC,2012).

Segundo ETE (2016) , na busca para reduzir as emissões dos efeitos estufas, ocorreu uma busca por um combustível menos agressivo ao meio ambiente incentivado expansão do etanol no ano de 1970, decorrente da primeira crise do petróleo para reduzir as dependências do Brasil das importações , mas no entanto esse combustível ganhou destaque devido à redução de CO₂ entre seu surgimento até 2010 o etanol substituiu cerca de 250 bilhões de litros e com isso evitou a emissão de 550 milhões de toneladas de CO₂ no Brasil.

3.3 Carvão Ativado

Carvão ativado é produzido a partir da carbonização de madeiras e materiais lignocelulosico com alto teor de carbono como caroços de manga, cascas de arroz, bagaços de cana-de-açúcar. Um maior desenvolvimento de carvões ativados surgiu durante a Primeira Guerra Mundial, quando os carvões granulados eram utilizados em máscaras de gás. No entanto, foram nos últimos 50 anos que a tecnologia de produção de carvões ativados evoluiu significativamente (CUBAS¹, 2010 citado por PEREIRA,2013 p 10)

Materiais que possui elevado concentrações de carbono, podem ser ativados, a maioria desses materiais possuem um certo grau de porosidade, com área superficial que varia de 10 a 15 m²/g com a oxidação dos átomos de carbono no processo de ativação a área superficial aumenta, chegando a apresentar uma área superficial superior a 800 m²/g ao termino da ativação. (Claudino, 2003)

3.3.1 Características do carvão ativado

A característica incomparável do carvão é a larga superfície interna localizada dentro da rede de poros estreitos, onde a maior parte do processo de adsorção tomará lugar e cujo tamanho e fora dos poros também influenciam na seletividade da adsorção através do efeito de peneira molecular (RODRIGUEZ-REINOSO e SABIO-MOLINA, 1998² citado por MOLETA, 2011,p 15)

¹ CUBAS, Karina Guedes. **Avaliação do desempenho de carvões ativos usados na remoção de composto orgânicos de água naturais proveniente de cianobactérias e suas toxinas.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR. 2010.

² RODRIGUES-REINOSO, F.; MOLINA-SABIO, M. Textural and chemical characterization of carbons microporous. *Advances in colloid and interface science*, 76-77, 271-294, 1998

Segundo COUTINHO et al (2000) O carvão ativado é considerado um adsorvente de alta qualidade podendo ser usado na purificação, filtração e na remoção gases e materiais líquidos. A área superficial, estrutura dos poros, propriedades eletroforéticas e acidez superficial, são características de elevada importância, essas características dependem do material do carvão ativado e dos seus métodos de ativação (FERNANDES, 2010)

Nas figuras 4 e 5 podemos observar as características físicas do carvão que podem encontrar na forma granular (grão) e pulverizada em forma de pó.

Figura 4 - Carvão ativado granulado Figura 5 - Carvão ativado pulverizado



Fonte: Do Autor (2019)



Fonte: Do Autor (2019)

Nas figuras 6 e 7 vemos os carvões ativados física e quimicamente, respectivamente

Figura 6 - Carvão ativado físico



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 7 - Carvão ativado químico



Fonte: Do Autor (2019)

3.3.2 *Produção de Carvão Ativado*

Anualmente se produz cerca de 400.000 toneladas de carvão ativado no mundo sendo obtida de diferentes percussores, aqui no Brasil as matérias mais utilizadas como percussores são madeiras, casca de coco e ossos. (FERNANDES, 2010)

De acordo com (BRUM,2007) o objetivo da ativação é o aumento da área superficial e da sua porosidade, assim mantendo o controle da distribuição dos poros e área superficial desse do material.

A ativação pode ser de forma física e forma química:

- **Ativação física:** Na ativação física o carvão reage com gases combinado de oxigênio, vapores de água ou a mistura dos dois CO_2 , H_2O . (CLAUDINO 2003)
- **Ativação química:** Passa por um processo de impregnação de agentes ativantes que são Cloreto de Zinco (ZnCl_2), Ácido fosfórico (H_3PO_4), Hidróxido de Sódio (NaOH) entre outros no material ainda não carbonizado, proporcionando a formação de ligações cruzadas, assim o material fica menos propenso a volatilização quando é submetido a altas temperaturas. (FERNANDES, 2010)

3.3.3 *Adsorção de carvão ativado*

A adsorção é o processo de transferência de um ou mais constituintes (adsorvatos) de uma fase fluida para a superfície de uma fase sólida (adsorvente). Nesse processo as moléculas presentes na fase fluida são atraídas para a zona interfacial devido à existência de forças atrativas não compensadas na superfície do adsorvente (RUTHVEN, 1984³, citado por MOLETA 2011). A adsorção pode ocorrer tanto por mecanismos físicos como por mecanismos químicos (FOUST, 19808, citado por MOLETA 2011). A adsorção física ocorre quando forças intermoleculares de atração entre as moléculas do fluido e a superfície do sólido são maiores do que as forças de atração entre as próprias moléculas do fluido. As moléculas do fluido

³ RUTHVEN, D. M. Principles of Adsorption and Adsorption Process. John Wiley & Sons, U.S.A., 1984. 8 FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L.B.; Principles of Unit Operations. 2.ed. John Wiley & Sons, NY, 1980

aderem-se à superfície do sólido e o equilíbrio é estabelecido entre o fluido adsorvido e o restante que permaneceu na fase líquida.

3.3.4 Porosidade

A porosidade é a capacidade de material sólido armazenar fluídos. Sendo classificada em: micro e macro porosidade. A micro porosidade é uma classe de tamanho de poros que, após ser saturada em água, a retém contra a gravidade. Os macro poros, ao contrário, após serem saturados em água não a retém, ou são esvaziados pela ação da gravidade. (citado por DORTZBACH et al, 2008)

A funcionalidade desses poros fica evidente quando se considera que os micro poros são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água no solo e os macro poros responsáveis pela aeração e pela maior contribuição na infiltração de água. Dessa forma, a formação de macro poros visando à melhoria estrutural do solo, pode ser por meio biológico ou mecânico, salientando que a conservação da macroporosidade é em função de práticas conjuntas de manejo (REINERT et al. 2006)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento e as análises do carvão de macaúba, bem como a adsorção do CO₂, foram realizados no laboratório de carvão ativado (LCA), localizado no bairro de castelo branco, Campus I- UFPB.

Já o acompanhamento de adsorção do CO₂ emitido pelo bagaço da cana foi feito em um forno adaptado com medidor de CO₂, figuras 8 a 16, onde queimavam-se amostras de bagaço para obtenção da fumaça, no laboratório de operações unitárias sucroalcooleira do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR), localizado no bairro de Mangabeira, Campus V-UFPB

Figura 8 - Forno construído para medição do CO₂ e queima do bagaço.



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 9 – Visão interna do forno para queima do bagaço.



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 10 – Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço.



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 11 - Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço.



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 12 - Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço.



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 13 - Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço.



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 14 - Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 15 - Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 16 - Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço



Fonte: Do Autor (2019)

O fruto foi adquirido em feiras livres no município de Itambé-PE, e no distrito de Lerolândia município de Santa Rita- PB onde tive a ajuda do professor Kelson para pegar os frutos. Ficando armazenado no CTDR para a remoção dos caroços. A matéria prima utilizada foram os endocarpos de Macaúba (*Acrocomia Acaulatea*)
Figura 17

Figura 17 - endocarpos de macaúba



Fonte: Do Autor (2019)

Para a produção do carvão foi feita a lavagem dos frutos, retirada toda a polpa, após isso foi diretamente para estufa a uma temperatura de 80°C para secagem assim deixando os todos secos. Por ser um material muito duro, foi feita a trituração em moinho de martelo, localizado no laboratório de carvão ativado (LCA), demonstrado na Figura 18

Figura 18 - moinho de martelo



Fonte: Do autor (2019)

A granulometria é feita através de peneiras de diferentes aberturas são padronizadas internacionalmente. Cada peneira tem um número de abertura por polegada linear denominado mesh. Em carvão ativado as granulometrias mais comuns são: 3,5x6 mesh/ 3,5x8 mesh/ 6x10 mesh/ 6x12 mesh / 8x16 mesh/ 8x30 mesh/ 12x25 mesh/ 12x40 mesh/ 20x40 mesh/ 20x50mesh/ 30x60 mesh/ 40x80 mesh. (Carvão Ativo 2019).

A granulometria utilizada para a produção do carvão foi a 8x16 mesh com abertura de 2,38 mm.

Figura 19. Para se obter a granulometria desejada foram utilizadas peneiras mash Figura 10

Figura 19 - peneiras mash



Fonte: Do autor (2019)

4.1 Parâmetros Utilizados para produção do Carvão

4.1.1 1ª etapa: Lavagem da matéria-prima com HCl

Nessa etapa a matéria-prima é colocada em uma solução de HCl 5% durante 24h em uma incubadora com agitação de 160 rpm e 50 °C.

Esse processo é realizado para retirar as impurezas (inorgânicos) que possam estar presentes na amostra e realizar a desmineralização do material. Após passar as 24h na incubadora, a amostra deve ser lavada com água destilada para remover o excesso de HCl presente.

Para a lavagem, a matéria-prima é colocada em um recipiente com água destilada que será aquecida até atingir o ponto de ebulição. Nesse ponto, o ácido começa a se desprender da amostra. A solução gerada é descartada e coloca-se uma nova água para repetir o procedimento. Essa lavagem é repetida diversas vezes até que o pH da solução após o aquecimento esteja neutro.

Depois de lavada, a amostra é colocada na estufa para secar durante 12h.

4.1.2 2ª etapa: Ativação química com H_3PO_4

Para realizar a ativação da matéria-prima com o H_3PO_4 , primeiramente pesa-se a amostra que estava secando na estufa e esta é colocada em uma solução de H_3PO_4 85% na proporção 1:1, ou seja, a quantidade de H_3PO_4 (em massa) que será utilizada deve ser a mesma da matéria-prima utilizada.

Seguindo o mesmo procedimento da etapa 1, a amostra é deixada na solução de H_3PO_4 85% durante 24h em uma incubadora com agitação de 160 rpm e 50 °C.

4.1.3 3ª etapa: Carbonização da matéria-prima no forno rotativo

A matéria-prima ativada com H_3PO_4 é retirada da incubadora e colocada no forno rotativo para que seja carbonizada. Figura 20

Figura 20 - forno rotativo utilizado para carbonização de carvão ativado



Fonte: Do autor (2019)

A temperatura final do forno foi de 700 °C, com uma rampa de temperatura de 10°C/min. Após atingir 700 °C, foi feita a ativação física com um fluxo de 0,8 g/cm³ de vapor de água durante 30 min, mantendo-se a mesma temperatura.

Ao fim do processo de carbonização, o carvão produzido deve ser lavado para retirar o excesso de ácido presente no mesmo. Essa lavagem é feita da mesma forma da etapa 1, e deve ser repetida diversas vezes até que o pH da solução seja neutro.

Para a produção do carvão ativado de Coco (*Cocos nucifera*) foram utilizados os mesmos parâmetros que foi produzido o carvão de macaúba.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises do carvão

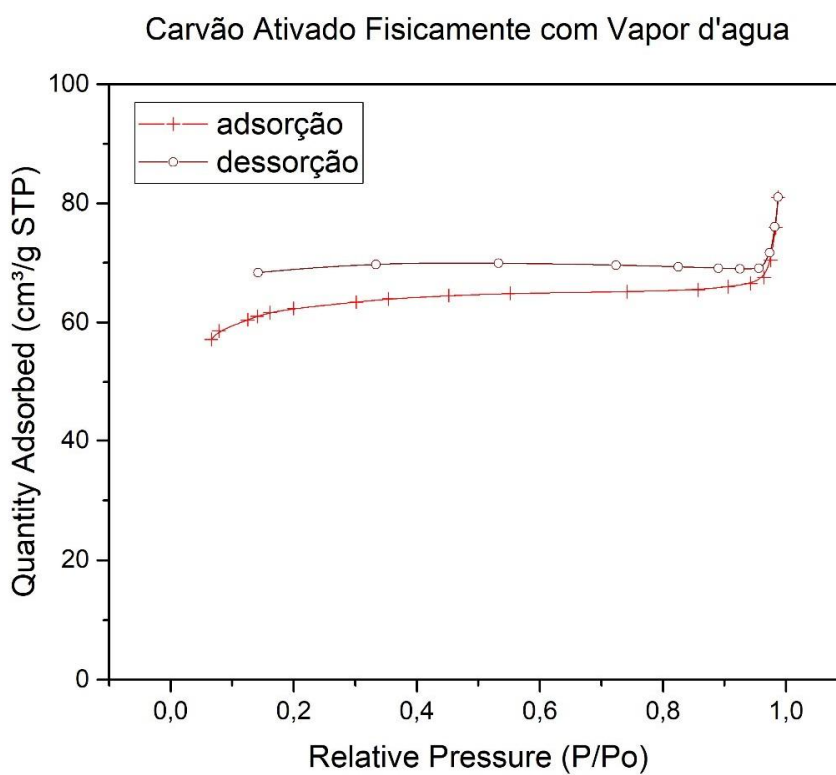
Os resultados e características do carvão ativado de macaúba são apresentados na tabela 1. Análise Superficial do Carvão Ativado Fisicamente com Vapor d'água, Figura 11

Tabela 1 resultados e características do Carvão Ativado Fisicamente

Parâmetros Analisados	Carvão Ativado Fisicamente
BET Surface Área:	212,7739 m ² /g
t-Plot Micropore Área:	145,2580 m ² /g
Volume do Poro	0,1176 cm ³ /g
Diâmetro do Poro	22,0649 Å

Fonte: Do autor (2019)

Figura 11 Análise superficial do carvão ativado físico de macaúba



Fonte: Do autor (2019)

Resultados e características do carvão ativado quimicamente apresentados na tabela 2

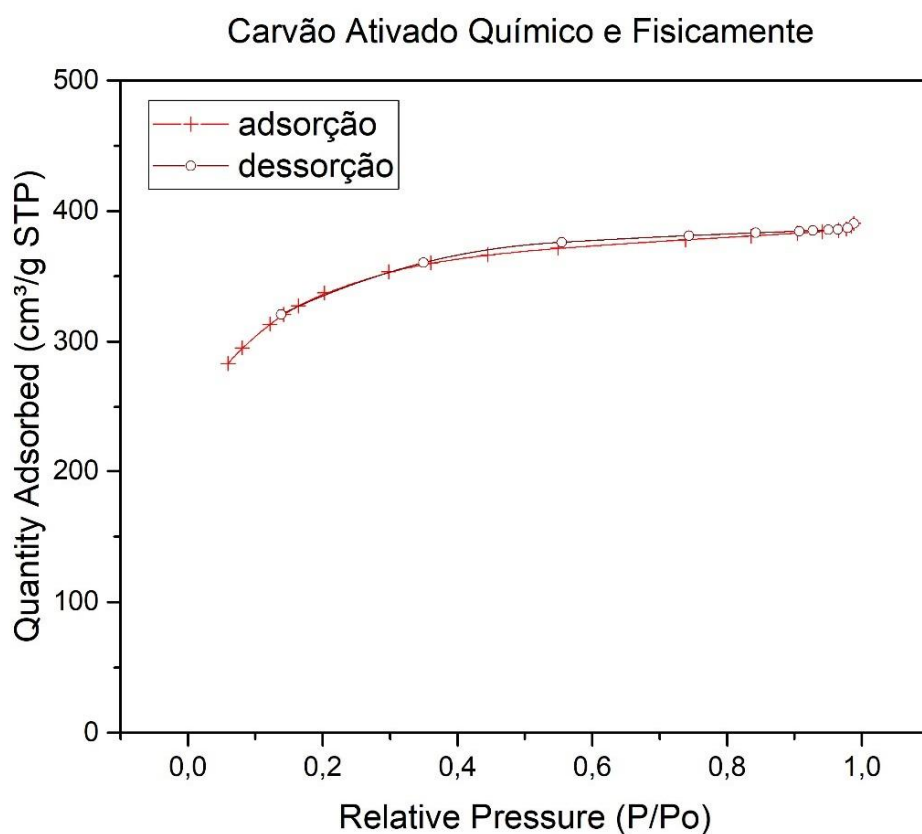
Análise Superficial do Carvão Ativado via tratamento químico e físico mostrado na figura 12

Tabela 2 resultados e características do Carvão Ativado quimicamente

Parâmetros Analisados	Carvão Ativado Químico e Fisicamente
BET Surface Área:	1180,1326 m ² /g
t-Plot Micropore Área:	575,0321 m ² /g
Volume do Poro	0,6010 cm ³ /g
Diâmetro do Poro	20,3721 Å

Fonte: Do autor (2019)

Figura 12 Análise superficial do carvão ativado físico químico



Fonte: Do autor (2019)

Observando os gráficos e os resultados obtido o carvão ativado quimicamente tem maior poder de adsorção e dessorção com área superficial de 1180,1326 m²/g.

De acordo com (BORBA, 2006 citado por MAXWEL 2007, p 34) quanto maior a área superficial maior será a eficiência de adsorção.

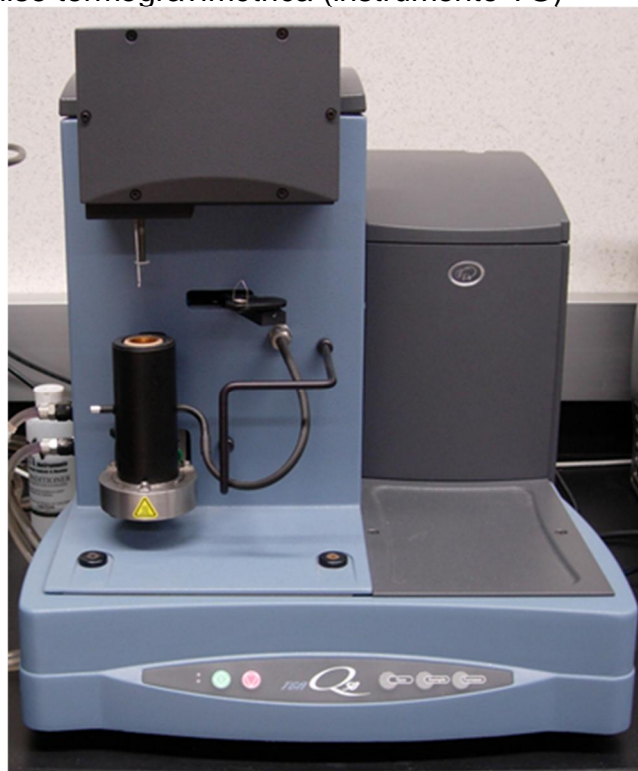
O carvão físico apresentou uma área superficial de 212,7739 m²/g, porém esse carvão só pode ser usado como adsorvente já que apresentou baixa capacidade de dessorção que seria retirada das substâncias que forem adsorvidas por um sólido como foi mostrado no gráfico.

5.2 Adsorção de CO₂

5.2.1 Metodologia:

A avaliação da capacidade de adsorção de CO₂ do carvão ativado, foi determinada utilizando um analisador termogravimétrico (TA Instruments TGA), ver na figura 13. Cerca de 30 mg de adsorvente foram colocados no recipiente de amostras do TGA. O gás nitrogênio que entra no forno da câmara de balanço flui direto através da amostra, que foi aquecida à 120 °C, por uma hora. Ao final do experimento a amostra foi resfriada à 25 °C, quando foi exposta a um fluxo de CO₂ de 50 mL/min durante 200 min. (ASTM,2011b)

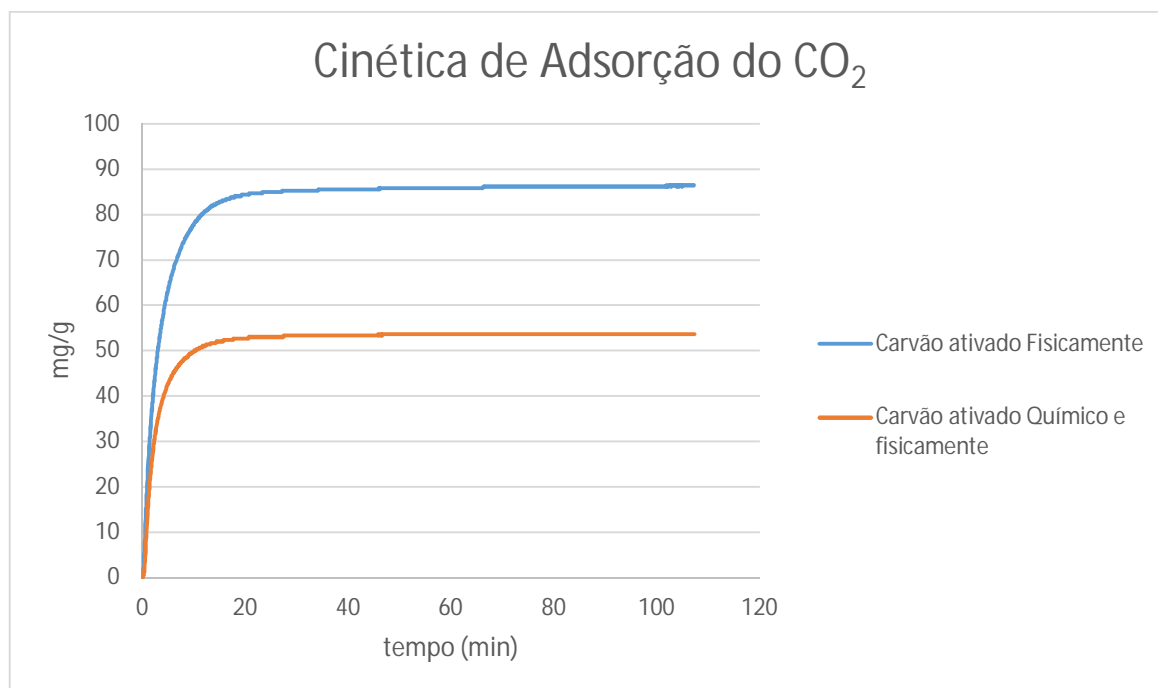
Figura 13 Análise termogravimétrica (instrumento TG)



Fonte: Do autor (2019)

5.2.2 Resultado

Figura 13 Análise termogravimétrica



Fonte: Do autor (2019)

As capacidades de adsorção de CO₂ do carvão ativados fisicamente e o ativado químico/fisicamente foram, respectivamente, 53,67 mg.g⁻¹ e 86,47 mg.g⁻¹. A diferença expressiva nesses valores pode ser explicada pelos resultados dissimilar de área superficial registrada pela análise BET.

Figura 21 – Recipiente construído para acomodar o carvão ativado dentro do forno para queima do bagaço.



Fonte: Do autor (2019)

Tabela 3 Resultados da % adsorção dos carvões produzidos

DATA	TIPO	MATÉRIA PRIMA	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESSORÇÃO
17/04/19	QUÍMICO	COCO	15,0001 g	14,3236 g	4,51
12/04/19	QUÍMICO	COCO	14,0000 g	13,4775 g	3,73
09/04/19	QUÍMICO	MACAÚBA	14,0000 g	13,4785 g	3,72
11/04/19	QUÍMICO	MACAÚBA	16,0000 g	15,6029 g	2,48
12/04/19	FÍSICO	MACAÚBA	15,0000 g	14,7123 g	1,92
11/04/19	FÍSICO	MACAÚBA	15,0000 g	14,8231 g	1,18

Fonte: Do autor (2019)

Os pesos que aparecem na tabela 3, representam o peso do carvão ativado + o peso do recipiente, como mostrado na figura 21

Para cada um deste resultados, foi utilizado 110 g (55 g + 55 g) de bagaço para a queima dentro do forno.

Ao observar os dados da tabela 3, o carvão com maior área superficial foi o carvão ativado quimicamente, e quanto maior a área superficial maior seu poder de adsorção, como diz a literatura

6 CONCLUSÕES

Ao observar os dados obtidos, o carvão com maior área superficial foi o carvão ativado quimicamente **1180,1326 m²/g** contra **212,7739 m²/g**, do carvão ativado fisicamente e quanto maior a área superficial maior seu poder de adsorção como diz a literatura.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Avaliar melhor o comportamento dos carvões ativos produzidos na adsorção do CO₂, não apenas proveniente da queima do bagaço da cana de açúcar, com também de outras matérias primas que gerem CO₂

Repetir as medições de CO₂, utilizadas no forno construído.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANALISE SOLEÁ, MACAÚBA Produção de mudas, plantio e Tratos culturais Disponível em: http://pages.cnpem.br/wectbe/wp-content/uploads/sites/83/2017/06/Felipe_Morbi_Acrotech_Sole%C3%A1.pdf.

Acesso em: 28 de abril de 2019

BBC. 2012. **CHINA, ÍNDIA E BRASIL EMITIRAM MAIS CO2 EM 2011**, diz pesquisa. Disponível em: Acesso em: 28 de maio de. 2019.

BORBA, C. E. **MODELAGEM DE REMOÇÃO DE METAIS PESADOS EM COLUNA DE ADSORÇÃO DE LEITO FIXO**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2006.

BRAUN, S. APPEL, L, G . SCHMAL, M **A POLUIÇÃO GERADA POR MÁQUINAS DE COMBUSTÃO INTERNA MOVIDAS À DIESEL - A QUESTÃO DOS PARTICULADOS. ESTRATÉGIAS ATUAIS PARA A REDUÇÃO E CONTROLE DAS EMISSÕES E TENDÊNCIAS FUTURAS**. Quim. Nova, Vol. 27, No. 3, 472-482, 2003

BRUM, Sarah. Silva **PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CAFÉ**. Universidade Federal de Lavas. Lavas Minas Gerais, Brasil 2007. Disponível em <http://www.ppggem.et.etfpr.edu.br>> acesso em: 28 de abril de 2019

CARVALHO, K. J.; SOUZA, A. L.; MACHADO, C. C. **ECOLOGIA, MANEJO, SILVICULTURA E TECNOLOGIA DA MACAÚBA. MACAÚBA ACROCOMIA ACULEATA** (Jacq.) Lood. ex. Mart., p. 35, 2011

CARVÃO ATIVO. Disponível em <http://www.c2orio.br>>acesso em 15 de maio de 2019

CLAUDINO, A **A PREPARAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE TURFA E SUA UTILIZAÇÃO NA REMOÇÃO DE POLUENTES**, 2003

COUTINHO, A. R. et al. **Preparação DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE FIBRAS DE CELULOSE In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ADSORÇÃO**, 2, 2000, Florianópolis. Anais. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000. p. 139-161

COELHO, S., T.; GREGOTUR, C.; TACCINI, M., M.; SALES, B., B. de; DALMOLIN, K., P., P.; FIGUEIREDO, N., J., V.; BARBOSA, R., M.; GRISOLI, R., P., S.; **CARVÃO VEGETAL ASPECTOS TÉCNICOS, SOCIAIS, AMBIENTAIS e ECONÔMICOS**. CEMBIO. Programa de Pós-Graduação em Energia (PPGE) da Universidade de São Paulo (USP), 2008.

DORTZBACH, D.; LÉIS, C. M. DE BEBER, C. L.; **COMIM DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE E DA POROSIDADE DE UM ARGILOSO SUBMETIDO A DIFERENTES APLICAÇÕES DE DESETOS SUÍNOS E UREIA**.

ETE, O COMPROMISSO DO BRASIL NO COMBATE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: PRODUÇÃO E USO DE ENERGIA, 2016

FERNANDES, Kendra D'Abreu Neto. **USO DE CARVÃO ATIVADO DE ENDOCARPO DE COCO NO TRATAMENTO DE ÁGUA.** Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2010. Disponível em: <http://www.pucrs.com.br>> Acesso em: 28 de abril de 2019

GUILARDUCI, V. V. D. S., **Adsorção de Fenol sobre carvão ativado em meio alcalino**, Quim. Nova, Vol. 29 N^o. 6, 2006, p. 1226-1232.

HENDERSON, A.; GALEANO, G.; BERNAL, R. **FIELD GUIDE TO THE PALMS OF THE AMERICAS** New Jersey: Princepton University, p 166-167, 1994

MAXWELL, **ADSORÇÃO E CARVÃO ATIVADO E OUTROS MATERIAS** 0511121_2007_Cap_3.doc disponível em <https://www.Maxwell.vrac.puc.rio.br>> acesso em 27 de abril de 2019

MOLETA R, N **CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE BIOMASSA AMILÁCEA**, 2011 Curitiba: Universidade tecnológica do Paraná. p. 15-18

MOTA, C. G et al. **EXPLORAÇÃO SUSTENTÁVEL DA MACAÚBA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL: COLHEITA, PÓS-COLHEITA E QUALIDADE DOS FRUTOS.** INORME AGROPECUÁRIO, BELOHORIZONTE, V. 32 , n. 265 , P. 41 – 51, nov. /dez. 2011.

PEREIRA N, E **CARVÃO DO CAROÇO DE AÇAÍ (Euterpe oleracea) ATIVADO QUIICAMENTE COM HIDRÓXIDO DE SÓDIO (NAOH) E SUA EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA OCONSUMO.** Escola Estadual de ensino médio professora Ernestina Pereira Maia 2013 Moju-PA p.1 ;

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; SUZUKI, L. E. A. S. **Qualidade física dos solos**, 2006. Disponível em: <http://rodrigojsj.googlepages.com/proriedadesfisicas.pdf> Acessado em: 15/05/2019

SILVA; BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. **ENDOCARPOS DE BABAÇU E MACAÚBA COMPARADOS À MADEIRA DE EUCALYPTUS GRANDIS PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL.** Revista do IPEF, v. 34, p 3134 1986

SOUZA, Líria Alves de. **"Carvão ativado"; *Brasil Escola*.** Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/carvao-ativado.htm>>. Acesso em 13 de abril de 2019

WILLIAMS, P.; REED, A. **DEVELOPMENT OF ACTIVATED CARBON PORE STRUCTURE VIA PHYSICAL AND CHEMICAL ACTIVATION OF BIOMAS FIBRE WASTE.** *Biomass and Bioenergy*, v. 30, n. 2, p. 144–152, fev. 2006