



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

HENRIQUE FERREIRA CAPONI

**ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM CARVÃO ATIVADO DA FIBRA DO COCO
VERDE (*Cocos nucifera L.*)**

PALMAS – TO

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

C246a Caponi, Henrique Ferreira
 ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM CARVÃO ATIVADO
 DA FIBRA DO COCO VERDE (*Cocos nucifera* L.) / Henrique Ferreira
 Caponi. – Palmas, TO, 2021.
 47 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2021.

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

1. Coco verde. 2. Corante. I. Pedroza, Marcelo Mendes. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

HENRIQUE FERREIRA CAPONI

**ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM CARVÃO ATIVADO DA FIBRA DO COCO
VERDE (*Cocos nucifera L.*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia
Civil da Unidade Palmas, do Instituto Federal do
Tocantins, como exigência à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

**ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM CARVÃO ATIVADO DA FIBRA DO COCO
VERDE (*Cocos nucifera* L.)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia
Civil da Unidade Palmas, do Instituto Federal do
Tocantins, como exigência à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 02/11/2021

BANCA EXAMINADORA



Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Orientador e Presidente da Banca
Instituto Federal do Tocantins



Dr. Helida Monique Cordasso Fagnani
Membro da Banca



Esp. Danielma Silva Maia
Membro da banca

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar o suporte necessário em todos os momentos de minha vida. Além de todas bênçãos derramadas sobre mim.

Aos meus pais, Newton e Rosicle por sempre estarem me apoiando e nunca deixaram de medir esforços para me proporcionar uma boa qualidade de estudos, a minha avó Nilma que acreditou em minhas capacidades e veio do interior comigo para eu poder trilhar esse caminho, a minha irmã Juliana e minha prima Ana Clara e minha namorada Gabryele Marques que me ajudou bastante neste projeto na reta final. Sendo essenciais para a minha formação como pessoa e como profissional.

A meus demais familiares por serem sempre presentes e apoiadores.

Aos meus amigos Yan, Felipe, Eduardo, Chrystian, Guilherme e Leonardo por fazerem parte dessa longa caminhada universitária ao meu lado e estarem sempre presentes em momento de estudos, momentos difíceis e momentos de alegria.

A todos os colegas de trabalho que tive a oportunidade conhecer e contribuíram com meu crescimento profissional, em especial aos engenheiros e ex chefes Bruno e Fabio; aos meus colegas de trabalho como, Neila e Geovanna.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza, um excelente orientador e amigo, por me acolher e me dar todo o suporte necessário para a conclusão deste trabalho o senhor é fera.

Aos meus colegas de turma, liga acadêmica (LAE) e em especial a Atlética Concreta por me proporcionar momentos incríveis e únicos.

Ao IFTO, pelas oportunidades oferecidas e pelas experiências vividas. Instituição que me acolheu durante 5 anos, sempre proporcionando um alto nível de aprendizado, não só acadêmico, mas em toda a minha formação como cidadão.

A todos os demais que participaram dessa longa jornada mesmo que indiretamente meus sinceros muito obrigado!

“Na Natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”

Antoine-Laurent de Lavoisier

RESUMO

FERREIRA CAPONI, Henrique. **ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM CARVÃO ATIVADO DA FIBRA DO COCO VERDE (*Cocos nucifera L.*)**. 2021. p.47. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2021.

Com elevado valor estimado, o carvão ativado é um material inerte amplamente utilizado em diversos segmentos industriais por possuir excelentes características de adsorção. No Brasil, infelizmente, ainda são poucas as ações de reaproveitamento desse resíduo agrícola, sendo grande parte deste, importado. A fruta coco verde possui alto teor de carbono e aproximadamente 80% de seu fruto é descartado em locais inapropriados, causando poluição visual, risco de proliferação de vetores de doenças e até mesmo superlotação de aterros sanitários. O objetivo deste trabalho portanto, foi produzir um carvão ativado a partir dos resíduos fibrosos do coco verde e caracterizar quimicamente tanto o material original quanto o final desse estudo, visando obter um resultado significativo nesses parâmetros além de sustentável e rentável. A biomassa *in natura* foi caracterizada através das técnicas de umidade, cinzas, material volátil e carbono fixo. Os ensaios de pirólise foram realizados nas dependências do Laboratório LARSEN – IFTO, Campus Palmas, em duas temperaturas 300 e 500 °C. E o estudo foi finalizado com o teste de adsorção de azul de metileno no carvão ativado de 500°C. Ao final dos processos descritos, o presente estudo obteve um excelente resultado de adsorção, 97,65% bem como foram satisfatórios os resultados da caracterização da biomassa *in natura*, quanto do carvão ativado.

Palavras-chave: Coco Verde, Corante, Processo de Pirólise.

ABSTRACT

FERREIRA CAPONI, Henrique. **ADSORPTION OF METHYLENE BLUE ON ACTIVATED CARBON OF GREEN COCONUT FIBER (*Cocos nucifera L.*)**. 2021. p.47. Course Conclusion Work – Bachelor's Degree in Civil Engineering – Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins. Palmas, 2021.

With a high estimated value, activated carbon is an inert material widely used in several industrial segments for having excellent adsorption characteristics. In Brazil, unfortunately, there are still few actions to reuse this agricultural residue, and a large part of it is imported. The green coconut fruit has a high carbon content and approximately 80% of its fruit is discarded in inappropriate places, causing visual pollution, risk of proliferation of disease vectors and even overcrowding of landfills. The objective of this work, therefore, was to produce an activated charcoal from the fibrous residues of the green coconut and chemically characterize both the original material and the end of this study, aiming to obtain a significant result in these parameters, in addition to being sustainable and profitable. The in natura biomass was characterized through the techniques of moisture, ash, volatile material and fixed carbon. The pyrolysis tests were carried out at the LARSEN Laboratory – IFTO, Campus Palmas, at two temperatures of 300 and 500 °C. The study was completed with the adsorption test of methylene blue on activated carbon at 500°. At the end of the described processes, the present study obtained an excellent adsorption result, 97.65%, and the results of the characterization of both in natura biomass and activated carbon were satisfactory.

Key-words: Green Coconut; Dye, Pyrolysis Process.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Usos do Carvão Ativado nos Segmentos Industriais.....	21
Quadro 2 - Comparação Entre Adsorção Física e Adsorção Química.....	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação Esquemática do Fruto Cocos nucifera Linn. Embrapa (2010).....	18
Figura 2 - Estrutura Química Do Corante Azul De Metileno.	23
Figura 3 - Etapas de desenvolvimento pratico do trabalho.	26
Figura 4 - Coleta dos frutos no Parque Cesamar, Palmas – TO.....	27
Figura 5 - Triturador de coco, moinho de facas.	28
Figura 6 - Processo de peneiração da biomassa do coco verde, em malha MESH-10 de 2,00 mm, com agitação manual.....	28
Figura 7 - 1 g de biomassa do coco verde Cocos nucifera L.	29
Figura 8 – (A) Biomassa sendo aquecida em mufla $T_{\text{méd}} = 850^{\circ} \text{C}$, sob ausência de oxigênio/ (B) Cadinhos em dessecador.	30
Figura 9 - Pirólise da fibra de coco em mufla.....	31
Figura 10 – Pesagem do carvão para o ensaio de adsorção.	32
Figura 11 - Padronização do azul de metileno para os 11 ensaios.....	32
Figura 12 - Agitação das soluções de azul de metileno com os carvões.....	33
Figura 13 - Procedimento de filtragem do azul de metileno em papel analítico.....	33
Figura 14 - Leitura das absorbâncias espectrofotômetro, a 660 nm.	33
Figura 15 - Curva de Calibração.	35
Figura 16 - Perda de massa em função do aumento da temperatura.....	38
Figura 17 - Representação do Diagrama de Pareto obtido a partir do Delineamento de Faces Centradas (DFC) na remoção de corante através de adsorção por agitação orbital horizontal.....	40
Figura 18 - Valores observados versus valores previstos, para a remoção de corante azul de metileno.....	42
Figura 19 - Superfície de resposta para a adsorção de corante, com os fatores quantidade de carvão ativado e concentração de azul de metileno.	43

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Fatores e níveis empregados.	34
Tabela 2 - Fatores e níveis empregados.	34
Tabela 3 - Resultado da caracterização da fibra do coco verde.	35
Tabela 4 - Dados de rendimento de carvão obtidos durante os ensaios de pirólise.	36
Tabela 5 - Análise estatística através do Teste-t simulando variâncias equivalentes para a produção de carvão em ensaios de pirólise.	37
Tabela 6 - Resultados comparativos do rendimento dos Carvões.	38
Tabela 7 - Caracterização dos Carvões.	38
Tabela 8 - Resultados dos valores da absorbância obtidos através do ensaio de remoção de corante através de adsorção por agitação orbital horizontal.	39
Tabela 9 - Coeficientes de Regressão do Planejamento DFC 2 ² obtidos da remoção de corante, em intervalo de 95% de confiança.	40
Tabela 10 - ANOVA para a absorção de corante de azul de metileno através de adsorção por agitação orbital horizontal.	41

LISTA DE SIGLAS

AM	Azul de Metileno
CA	Carvão Ativado
CF	Carbono Fixo
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
H ₂	Hidrogênio
H ₂ O	Água
H ₃ PO ₄	Ácido Fosfórico
KOH	Hidróxido de Potássio
PC	Poder Calorífico
PCI	Poder Calorífico Inferior
pH	Potencial Hidrogeniônico
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Problema de pesquisa.....	15
1.2 Justificativa.....	15
1.3 Objetivos.....	16
1.3.1 Objetivo Geral.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Biomassa.....	16
2.2 Resíduos Agrícolas.....	17
2.3 <i>Cocos nucifera</i>	17
2.4 Pirólise de Biomassa.....	18
2.5 Carvão Ativado.....	19
2.5.1 Processo de Produção de Carvão Ativado.....	20
2.5.2 Uso Industrial do Carvão Ativado.....	21
2.6 Tipos de Adsorção.....	22
2.6.1 Corantes: Azul de Metileno.....	23
2.7 Análise Imediata da Biomassa.....	24
2.7.1 Densidade Aparente.....	24
2.7.2 Teor de Umidade.....	24
2.7.3 Material Volátil	25
2.7.4 Teor de Cinzas.....	25
2.7.5 Teor de Carbono Fixo.....	25
3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	26
3.1 Tipo de Pesquisa.....	26
3.2 Coleta e preparo do material.....	27
3.3 Caracterização do Material.....	28
3.3.1 Teor de Umidade	28
3.3.2 Material Volátil	29
3.3.3 Teor de Cinza.....	30
3.3.4 Teor de Carbono Fixo.....	30
3.3.5 Pirólise de Biomassa.....	31
3.3.6 Teste de Adsorção de Azul de Metileno.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 Curva de calibração.....	35
4.2 Caracterização da Biomassa.....	35

	13
4.3 Pirólise de Biomassa e Ativação dos Carvões.....	36
4.3.1 Caracterização dos Carvões.....	38
4.4 Teste de adsorção de Azul de Metileno.....	39
5 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

O uso acelerado e elevado das atividades econômicas humanas resultou no superconsumo de combustíveis fósseis. Atualmente, o carvão e o petróleo são os combustíveis fósseis utilizados em maior escala. Devido às flutuações dos preços dos combustíveis, alterações no clima global e a preocupação eminente com a sustentabilidade para preservação do meio ambiente, a procura por uma fonte alternativa de energia têm-se ganhando cada vez mais espaço (YANG et al., 2014).

Com isso, a biomassa integra um dos fatores mais importantes como fonte alternativa de energia. São vantajosas tanto no âmbito ambiental, por ser uma fonte de energia renovável, quanto na redução da dependência de fontes de energia fósseis, como o petróleo e o carvão mineral (YANG et al., 2014; CHANDRA et al., 2012). Em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, a abundância da biomassa é maior, sendo constituído por uma grande variedade de materiais, como os resíduos agrícolas.

O aproveitamento desses resíduos orgânicos é um tema de grande importância devido às enormes quantidades geradas ao redor do mundo e ao indesejável impacto ambiental ocasionado pelo descarte desse material (DUMAN et al., 2011). Esse problema ganha proporções maiores no Brasil por ser um país com intensa atividade agrícola e, como consequência, gerador de grande quantidade de resíduos sólidos orgânicos. Há então o desafio de resolver o problema da eliminação ou redução da quantidade de resíduos de biomassa que, apesar de serem biodegradáveis, requerem um tempo mínimo para serem mineralizados (PATTYA et al., 2012).

No Brasil, dentre as muitas culturas que geram resíduos em grandes quantidades, estão os coqueirais. Estima-se que 80% da produção brasileira de coco se destina à indústria de copra, tendo como subproduto a casca. O Brasil no ano referência 2020 produziu teve sua produção estimada em 2,7 milhões de toneladas/ano de cascas de coco, que, após a industrialização, resultariam em 809.999 toneladas de fibras (ETENE, 2020). Uma vez que apenas uma pequena parte do material da casca disponível é utilizada, novas utilidades para esse resíduo estão se tornando de grande interesse nas mais diversas abordagens de inovação tecnológica (RODRIGUES et al., 2013; LI et al., 2010).

Uma das formas para se reaproveitar essa casca é a produção de carvão ativado. Segundo Freitas (2014) o carvão ativado é um material de carbono com porosidade bastante desenvolvida, com capacidade de coletar seletivamente gases, líquidos ou impurezas no interior dos seus poros e desempenhar papéis importantes no tratamento de águas residuais, sendo estes, seus usos mais comuns, através de um processo que pode ser obtido a partir da pirólise (BISPO, 2018).

1.1 Problema de Pesquisa

Sabe-se que, qualquer resíduo, ainda que agrícola, se, despejado no ambiente sem reaproveitamento suficiente ou manejo adequado, alterará o equilíbrio como um todo, tornando-se um material de difícil decomposição. Nesse viés, a biomassa residual da fruta coco verde, consumidas pela população não foge à regra (DUMAN et al., 2011).

As cascas deste alimento, tem elevados teores de fibras e comumente são descartados em locais incorretos, à mercê de ruas e locais de exercícios e/ou passeios, onde em sua maioria, são comercializados, ou, ainda, em terrenos baldios. Desse modo, constituem-se de “lixos urbanos” e sem manejo adequado podem ocasionar sérios problemas para saúde humana.

O grande problema dessa situação é a capacidade desses materiais de acumularem água de chuva, tornando-se o local preferido para o desenvolvimento do mosquito *Aedes aegypti*, causador de doenças como Febre Amarela, Dengue e Chikungunya (YANG et al., 2014).

Visando-se um manejo adequado para essa biomassa residual das cascas de coco, uma alternativa seria seu uso na produção de carvão ativado, proporcionando, agregação de valor e incremento de renda para a comunidade e redução de impactos ambientais, tornando-se uma técnica sustentável e rentável.

1.2 Justificativa

Por sua versatilidade de uso, a fruta coco verde é utilizada por inteiro, especialmente na indústria alimentícia, vendidos in natura ou processados, ou, ainda na indústria de cosméticos. Entretanto, suas cascas, é uma biomassa de degradação complexa, exigindo um período de tempo maior para completar sua decomposição (CARRIJO et al., 2002).

Além disso, a constituição deste, inviabiliza a compactação no momento do descarte. Apesar de possuir um elevado potencial de aplicações nas próprias cascas, há ainda, poucas ações que se utilizam desse material instaladas no Brasil, vindo à tona, o problema quanto a proliferação de vetores e impacto negativo para o meio ambiente.

O uso desse resíduo para produção de carvão ativo, tem elevado potencial, já que este, é uma forma de carbono com alta porosidade que podem absorver moléculas, como corantes sem modificar sua composição química. Como uso mais comum desse material, têm-se a adsorção de gases e no tratamento de águas residuais, obtidos através do processo de pirólise.

Essa tecnologia ocorre através de um processo termoquímico que tem como objetivo a obtenção de produtos com elevada densidade energética, resultando em produtos líquidos (bio-óleo), sólidos (carvão) e a uma fração gasosa, onde ambos podem serem empregados no abastecimento energético do próprio processo ou serem comercializados. Tais potenciais tornam esses produtos capazes de atuação em diversas áreas (PEDROZA, 2011).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é produzir e caracterizar carvões pirolisados e ativados a partir de resíduos de casca de coco, e utilizá-los para determinação do potencial de remoção de solução de corante azul de metileno, visando seu uso como adsorvente de corantes em escala industrial.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Produzir carvão ativado por meio da pirólise da biomassa de coco verde;
- Avaliar a influência das condições de ativação química sobre as características físicas e químicas da biomassa e do carvão ativado utilizados no processo;
- Avaliar os efeitos da variação dos parâmetros de pirólise e de ativação química sobre a capacidade de adsorção da molécula corante azul de metileno.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Biomassa

A Biomassa é definida como todo material orgânico de origem vegetal. Este material deriva da reação entre CO_2 - H_2O e luz solar, ou seja, pelo processo de fotossíntese, qual armazena fração de energia solar nas ligações químicas de seus componentes (SOUZA et al., 2002).

Quando os laços adjacentes entre moléculas de carbono, hidrogênio e oxigênio são quebrados por combustão, digestão, ou decomposição, estas substâncias liberam sua energia química armazenada. A utilização da biomassa como matéria prima de conversão depende das propriedades químicas e físicas das moléculas (MCKENDRY, 2002).

Segundo Açma (2003), a energia presente na biomassa pode ser transformada (através de processos de conversão físicos, químicos e biológicos) em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos. O objetivo desta conversão é transformar um material carbonáceo de baixa eficiência energética para uma eficiência economicamente viável.

Werther et al (2000) aponta que materiais de biomassa com potencial de alta energia incluem: resíduos agrícolas como: palha, bagaço de cana, casca de café, casca de arroz, fibras de coco, entre outros e; resíduos da floresta tais como lascas de madeira, serragem e casca. Os resíduos de atividades florestais representam 65% do potencial energético da biomassa enquanto que os resíduos de culturas agrícolas são de 33%.

Segundo McKendry (2002) existem diversos motivos para a biomassa ter se revigorado

nos últimos 10 anos. Um dos fatores foi o avanço da tecnologia relativa à conversão da biomassa, apresentando hoje baixo custo e maior eficiência em sua conversão, diferentemente do que acontecera anteriormente.

A segunda razão é o setor agrícola estar produzindo cada vez mais quantidades excedentes de alimentos e, conseqüentemente seus rejeitos. Esta situação levou a uma política de redução dos excedentes, reduzindo conseqüentemente os passivos ambientais causados pelos rejeitos. O terceiro estímulo trata-se da mudança climática, devido aos níveis elevados de emissões de gases com efeito de estufa (CO₂, CH₄, entre outros), o qual tornou-se um grande estímulo às energias renováveis em geral.

Werther et al (2000) apontam que tanto em escala mundial como no Brasil, o potencial energético da biomassa é enorme, podendo se tornar uma das soluções para o fornecimento de eletricidade em comunidades isoladas, incentivando o desenvolvimento de atividades extrativistas sustentáveis que contribuam para o desenvolvimento destas comunidades.

2.2 Resíduos Agrícolas

Segundo a Norma Brasileira 10.004 resíduos são aqueles que:

“(...) resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também, resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível (ABNT,1987).

São considerados resíduos de origem agrícola aqueles que apresentam grande potencial para serem utilizados na produção de energia, como exemplo, resíduos de culturas agrícolas e de seu beneficiamento ou as palhas, cascas de frutos, cereais, os bagaços, os resíduos das podas de pomares e vinhas, rejeitos madeireiros, entre outros (SAITER, 2008).

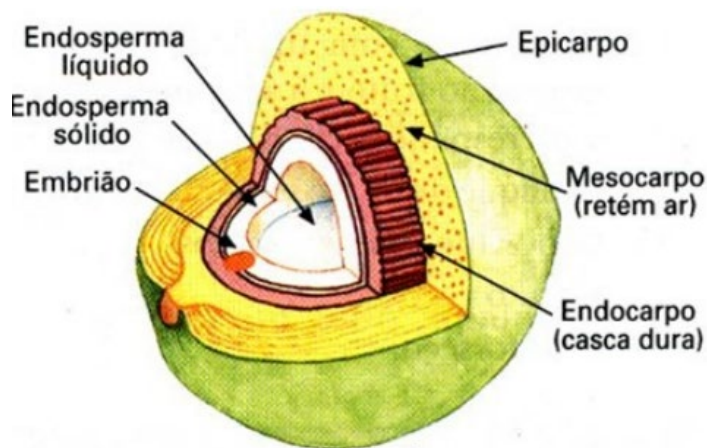
2.3 *Cocos nucifera* Linn

O coqueiro é uma cultura tropical, disseminada ao longo da faixa costeira entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, largamente distribuída na Ásia, África, América Latina e região do Pacífico. É cultivado em aproximadamente 11,6 milhões de hectares em 86 países. No Brasil, o Gênero *Cocos* é constituído apenas pela espécie *Cocos nucifera* L. que é composta por algumas variedades, sendo as mais importantes, do ponto de vista agrônômico, socioeconômico e

agroindustrial as espécies *Typicar* e *Nana* (FERREIRA et al., 1998) A sua exploração ocorre principalmente na Região Nordeste (MARTINS & DE JESUS JÚNIOR, 2011).

Segundo Ferreira et al. (1998), o fruto do coqueiro é uma drupa, formada por uma epiderme lisa ou epicarpo, que envolve o mesocarpo espesso (3 a 5 cm) e fibroso (fibra de coco), ficando mais no interior uma camada muito dura (pétrea) (Figura 01). O fruto está envolto numa casca externa esverdeada ou amarelada que, com o tempo, torna-se seca e castanha.

Figura 1 - Representação Esquemática do Fruto *Cocos nucifera* Linn. Embrapa (2010).



Fonte: Benassi 2006.

No Brasil, o coco é utilizado como fruta, sendo a polpa (endosperma sólido) empregada na produção de balas, doces, sorvetes, coco-ralado e leite-de-coco, e o líquido (endosperma líquido) usado como bebida. O epicarpo, mesocarpo e endocarpo são considerados resíduos da fruta e, geralmente, são dispostos em aterros sanitários e/ou lixões a céu aberto (CARVALHO et al., 2008). O aumento significativo da demanda por água de coco, observado nos últimos anos, gerou uma rápida expansão do plantio com coqueiros da variedade Anã, que passaram a ocupar áreas não tradicionais no cultivo desta cultura.

No Brasil, são produzidos aproximadamente 2,7 milhões de toneladas de coco ao ano, gerando cerca de 2,2 milhões de toneladas de resíduo. Este material é de difícil decomposição e provoca um significativo aumento, especialmente em cidades litorâneas no Nordeste, nos depósitos de RSU em virtude do grande volume que representa (ALMEIDA., 2013).

Outro impacto causado pelo descarte inadequado da casca do coco verde é a poluição visual. Segundo Santos (2015) é considerado “poluição visual” todo efeito danoso resultante dos impactos visuais causados por determinadas ações e atividades, a ponto de prejudicar a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criando condições adversas às atividades econômicas e afetar as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente.

2.4 Pirólise de Biomassa

A pirólise consiste na conversão de uma amostra em outras substâncias, pelo termo de

composição em atmosfera inerte (DI BLASI., 1994). Esse processo tem sido usado há anos para a produção de CA, mas, apenas recentemente, a pirólise a temperaturas moderadas, e tempos curtos de reação tornou-se de grande interesse. Isto é devido ao elevado rendimento de líquidos que podem ser usados diretamente em uma gama de aplicações, inclusive como fonte de energia.

Ela consiste da decomposição química da biomassa, pelo calor, na ausência de oxigênio. O calor fornecido à biomassa provoca rupturas e recombinações de ligações químicas e de interações físicas, fracionando assim a estrutura molecular da biomassa, liberando compostos orgânicos dos mais diversos tipos que poderão ser utilizados como combustíveis ou insumos químicos (WAMPLER., 2006).

Quando ocorre a decomposição térmica da biomassa, ocorre a quebra térmica das ligações químicas. Esse estágio é a primeira etapa da reação de pirólise. As espécies formadas durante a primeira etapa podem se submeter a reações adicionais de quebra de ligações na fase condensada para formar mais compostos voláteis ou podem realizar reações de condensação/polimerização para formar compostos maiores, que serão constituintes da fase líquida ou sólida dos produtos. Na segunda etapa, as espécies voláteis podem sofrer mais reações heterogêneas com os sólidos residuais e/ou reações homogêneas em fase gasosa (WAMPLER., 1999).

As espécies formadas na primeira etapa da pirólise são principalmente produtos de eliminação simples ou de radicais formados por clivagem homolítica de ligações químicas (WAMPLER., 2006). Se os radicais saem da zona de aquecimento rapidamente, eles não têm tempo para reagir com o material não pirolisado ou entre si, evitando reações secundárias indesejáveis.

Se o aquecimento for lento ou a quantidade de amostra for grande, há a possibilidade de os radicais reagirem entre si ou com outros não pirolisados, à medida que se difundem pelo reator de pirólise (WAMPLER., 1999). O gás produzido é composto, principalmente, de CO, CO₂, H₂ e hidrocarbonetos leves, traços de alguns componentes orgânicos maiores e vapor de água. O líquido de coloração escura é chamado de bio-óleo e o sólido de biochar.

2.5 Carvão Ativado

O CA é um termo usado para descrever materiais à base de carbono que possuem alta área superficial, uma estrutura interna porosa de tamanhos diversificados, bem como, um amplo espectro de grupos funcionais oxigenados (LIU et al., 2011; REINOSO & MOLINA, 1998).

Outra característica do CA de importância significativa é a grande variedade de materiais, selecionados como material de partida para sua produção; uma vez que suas características físico-químicas, além do método de preparação, são responsáveis pelas propriedades de adsorção de carbono, micro-nanoestrutura, características texturizadas e as possíveis aplicações (ABIOYE & ANI, 2015).

Após a carbonização e ativação do material precursor, o carvão apresenta uma porosidade

interna similar a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores e assim sucessivamente. Esses túneis são responsáveis por interações físicas e químicas específicas com características intrínsecas do material adsorvente (REINOSO & MOLINA, 1998).

Em geral, os carvões ativados são preparados através do tratamento com gases oxidantes, ou pela carbonização de materiais carbonosos, misturados com produtos químicos desidratantes, em condições específicas para desenvolver porosidade. (CHA et al., 2016; LOFRANO, 2012).

A ativação consiste na retirada de resíduos orgânicos que estejam obstruindo os poros, resultando em uma forma de carvão mais poroso e, por isso, com maior área superficial (CHINGOMBE et al., 2005; CHUAH et al., 2005; GALHETAS, 2014). Durante esse processo, deseja-se manter o controle das características básicas do material, de acordo com a aplicação que se deseja propor ao CA. Diferentes tamanhos de poros podem ser formados de acordo com a temperatura, com o material de origem e com as condições de ativação.

Anualmente em torno de 400.000 toneladas de carvão ativado são produzidas de diversas formas ao redor do mundo, partindo de aproximadamente 1 milhão de toneladas de variados precursores. Na atualidade existem aproximadamente 150 companhias produtoras de CA no mundo, dentre as maiores estão: Calgon, Norit, Nuchar, Westvaco e Chemivron (MARSH, 2001; FERNANDES, 2010).

2.5.1 Processo de Produção de Carvão Ativado

Ao produzir CA é constituído basicamente de duas etapas principais: a pirólise da matéria-prima seguida de ativação (BORGES et al., 2003). Onde o material precursor (casca de coco), é pirolisado sob atmosfera inerte em temperatura superior a 200 °C. Trata-se de um pré-tratamento do material, onde são removidos componentes voláteis e gases leves (CO, H₂, CO₂ e CH₄), formando uma massa de carbono fixo e uma estrutura porosa primária que favorecerá o processo seguinte como a ativação. Nessa etapa, parâmetros importantes tais como a taxa de aquecimento; temperatura final; fluxo de gás de arraste e a natureza da matéria determinam a qualidade e o rendimento do produto final carbonizado (SCHNEIDER, 2008).

A ativação, processo subsequente à pirólise, consiste em submeter o material carbonizado a reações secundárias, visando o aumento da sua área superficial específica através do aumento da porosidade do carvão. É desejado, nos processos de ativação, o controle das características básicas do material (distribuição de poros, área superficial específica, atividade química da superfície) de acordo com as configurações necessárias para uma aplicação específica (REINOSO, 2006).

A ativação química, etapa geralmente sequente à pirólise, tem como função principal de alterar características do carvão, com utilização de substâncias químicas oxidantes, resultando mudança na formação dos mesoporos e macroporos, onde esses agentes mais usados são H₃PO₄, ZnCl₂ e KOH (FOGLER, 1998). Neste modo de ativação, os agentes de ativação, reagem iniciando o rompimento das paredes estruturais nas biomassas. Com degradação mais evidente ao aumentar

a proporção de ácido, que é impregnado no material, ao gerar maior exposição dos capilares naturais e dos poros estruturais da biomassa (AHMADPOUR, 1997).

As etapas de pirólise e ativação podem ser realizadas tanto de forma conjunta como separadas. Na forma conjunta o precursor é misturado com agentes de ativação durante a pirólise, onde os ativadores químicos são usados em diferentes proporções, atuando de forma a desidratar, influenciando de forma direta a pirólise do precursor, evitando liberação de matéria orgânica volátil através da aromatização do esqueleto do carvão e maior fixação do carbono. Quando da utilização de ativação de forma separada, faz-se a pirólise da amostra, e logo após é feita a impregnação com o agente escolhido a fim de obter o CA (GUO & LUA., 2000).

A utilização do método de ativação química, pode apresentar vantagens, como por exemplo de ser conduzido em única etapa pelo emprego de temperaturas mais baixas e tempos de ativação mais curtos, para a obtenção de carvões de elevado rendimento, todavia, pode ser considerado complexo o processo de recuperação e reciclagem de alguns tipos de agentes de ativação, podendo ocorrer geração e possível descarte de líquidos contaminados, com eventual necessidade de tratamento dos efluentes (YANG et al., 2010). De forma geral, o uso de ativação química, pode gerar carvões com poros maiores, mais apropriados a aplicações em fase líquida (SAI & KRISHNAIAH, 2005).

2.5.2 Uso Industrial do Carvão Ativado

Segundo Mucciaccito (2009) *apud* Macêdo (2012) o segmento industrial tem interesse no carvão ativado devido a seu comportamento de adsorvente e suas aplicações que incluem o refino do açúcar, tratamento de água, recuperação de metais preciosos e a desodorização do ar, além de um excelente poder de clarificação, desodorização e purificação de líquidos e gases. Abaixo, na Quadro 1, seguem os usos mais comuns do carvão ativado nas diversas linhas comerciais:

Quadro 1 - Usos do Carvão Ativado nos Segmentos Industriais

Resíduos Industriais	O CA é utilizado para a reciclagem de águas industriais, promovendo a remoção de substâncias orgânicas, redução de espuma, proporcionando melhoras ao resíduo final.
Tratamento de Água	O CA proporciona a eliminação de cor, odor, mal gosto e remoção de substâncias orgânicas e fenólicas através da adsorção para fins industriais e potáveis.
Tratamento de Ar	O CA possui capacidade de remover os contaminantes do ar, adsorvendo substâncias indesejáveis contidas, purificando-o.
Indústria Farmacêutica	O CA é um excelente medicamento para o tratamento de desintoxicação, purificação de substâncias, remoção de cor e impurezas de vitaminas, analgésicos, enzimas, penicilina e soluções intravenosas.
Adsorção de gases	O CA é utilizado para a recuperação de solventes nas indústrias de adesivos, tintas, têxtil, impressão ou purificação de gás.

Indústria Química	O CA é utilizado para a purificação de produtos, remoção de cores residuais, contaminantes, odores, remoção de orgânicos, desodorização e descoloração de produtos químicos.
Tratamento de Efluentes	O CA é usualmente mais utilizado na fase final de processo biológico em colunas de leito fixo, na fase de polimento e na remoção de cor ou componentes específicos.
Indústria Alimentícia	O CA desempenha o papel de adsorver as moléculas que podem causar cor, gosto e odores indesejáveis nos alimentos.

2.6 Tipos de Adsorção

A adsorção pode ser considerada um fenômeno de superfície que decorre da aderência de moléculas de um componente presente em fase fluida (líquida ou gasosa) que fica sobre a superfície de um sólido. Adsorvente é o material que irá adsorver um composto (adsorbato) (COELHO, 2014).

A relação fundamental para a ocorrência do processo de adsorção é a área superficial total disponível do adsorvente, de forma que quanto maior sua área superficial, mais favorável será a adsorção (RAULINO, 2011).

A adsorção usualmente é utilizada na remoção de compostos orgânicos como corantes, pesticidas e herbicidas, além de metais pesados, presentes nos mais variados tipos de efluentes, quando a remoção é dificultada ou impossibilidade de ser realizada por processos de tratamentos convencionais (TOLEDO et al., 2005).

Dependendo da força de adsorção, ou seja, da força das ligações que ocorrem entre as moléculas que estão sendo adsorvidas e o adsorvente, pode-se diferenciar dois tipos principais de adsorção: fisissorção e quimissorção (COUTO, 2009). A reatividade da superfície, a natureza do adsorbato e a temperatura, entre outros fatores, determinam o tipo de adsorção que vai ocorrer quando um dado adsorbato entra em contato com a superfície de um adsorvente. Uma comparação entre as características da fisissorção e da quimissorção estão apresentadas na Quadro 2.

Quadro 2 - Comparação Entre Adsorção Física e Adsorção Química

Adsorção Física	Adsorção Química
Baixo calor de adsorção	Alto calor de adsorção
Não específica	Altamente específica
Monocamada ou multicamada	Somente monocamada
Nenhuma dissociação das espécies adsorvidas	Pode envolver dissociação
Significante somente a temperaturas relativamente baixas	Possível em uma ampla faixa de temperatura
Rápida, não ativada, reversível	Ativada, pode ser lenta e irreversível

Sem transferência de elétrons. Pode ocorrer polarização do adsorvato.	Transferência de elétrons com formação de ligações entre adsorvato e adsorvente.
---	--

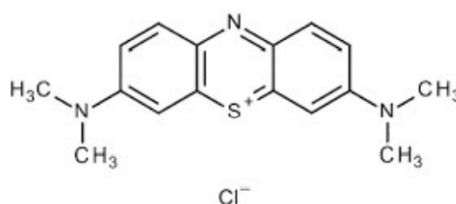
Fonte: Ruthven, 1984 *apud* Oliveira, 2013

2.6.1 Corantes: Azul de Metileno

O primeiro corante sintético, mauveína, foi descoberto por um químico chamado Willian Perkin em 1856. Após a descoberta foi dado o início da produção em escala industrial de índigo, através de rota sintética utilizando-se a anilina de Perkin como seu precursor (HUNGER 2003). Em sua maioria, os corantes são destinados à indústria têxtil, indústrias coureiro calçadista, papel e celulose, indústrias alimentícias, cosméticos, tintas e plásticos (GUARATINI & ZANONI 2000).

O corante azul de metileno (AM) foi descoberto por Heinrich Caro em 1876, ganhando destaque importante como corante bacteriológico, e no ramo da biologia e química. É um composto químico aromático heterocíclico, do tipo básico, catiônico, com número de classificação CI 52015 (Figura 02). Sua fórmula química é expressa por $C_{16}H_{18}N_3SCl$ com massa molar $319,8 \text{ g.mol}^{-1}$.

Figura 2 - Estrutura Química Do Corante Azul De Metileno.



AM é um corante catiônico muito usado em ensaios de adsorção, além de possuir aplicações médicas como terapia antimicrobiana e fototerapia. Não é tratado como um corante perigoso, mas em grandes doses ou a exposição em longo prazo pode causar vômitos, náuseas, diarreias, hipertensão e irritação (PATHANIA et al., 2017; EZZEDDINE et al., 2016).

Segundo estudos realizados por Leal et al., 2012, a adsorção de azul de metileno é influenciada por parâmetros como tempo de contato, concentração, pH e temperatura. Em relação ao pH, é importante ressaltar que por possuir caráter catiônico, pH baixo poderá levar a uma competição entre os íons H^+ em solução e suas moléculas diminuindo a eficiência.

Segundo Aygun et al. (2003), o corante azul de metileno é um dos compostos mais utilizados em teste de adsorção porque é considerado um composto modelo para o estudo da remoção de contaminantes orgânicos de soluções aquosas. Em relação aos riscos ambientais, se o AM for lançado em lagos ou em rios sem tratamento adequado, pode gerar alterações na atividade fotossintética, pois de certa forma impede a passagem de radiação solar. Dessa forma, provoca modificações na biota aquática e causa toxicidade aguda e crônica desses ecossistemas (HONORATO et al., 2015).

2.7 Análise Imediata da Biomassa

Basicamente a biomassa é um hidrocarboneto, o qual possui átomos de oxigênio na sua composição química, diferentemente dos combustíveis fósseis. A presença desse átomo faz com que a biomassa requeira menos oxigênio do ar, sendo menos poluente, mas consequentemente sua quantidade de energia a ser liberada é reduzida, diminuindo assim o seu PCS (NOGUEIRA & RENDEIRO, 2008).

A celulose, hemicelulose e lignina são os principais componentes da biomassa vegetal, sendo que o teor de celulose varia de 40 a 50%, a hemicelulose de 20 a 40% e o teor de lignina de 25%, como é demonstrado na Figura 03, por isso a biomassa vegetal também é considerada como resíduo ligno-celulósico (MARTINI, 2009).

Abbasi (2010) cita ainda que além de quantidades variáveis de celulose, hemicelulose e lignina a biomassa apresenta ainda pequenas quantidades de outros produtos orgânicos e inorgânicos, sendo estes responsáveis pelo desenvolvimento de processos para produção de combustíveis e produtos químicos. Para caracterizar energeticamente a biomassa e seu manuseio é determinante conhecer as propriedades físico-químicas da biomassa. Alguns parâmetros são apresentados abaixo.

2.7.1 Densidade Aparente

A densidade é uma das principais características, pois ela define a logística a ser tratada: o transporte e o armazenamento (NOGUEIRA, 2007). Define-se densidade como a razão entre a massa específica da biomassa pela massa específica da água na condição padrão (25°C e 100 kPa), ou seja, 1000 kg/m³ (NOGUEIRA & RENDEIRO, 2008).

2.7.2 Umidade

Teor de umidade pode ser definido como a massa de água contida na biomassa e pode ser expressa tanto na base úmida (bu) quanto na base seca (bs), qual pode ser avaliada pela diferença entre os pesos de uma amostra, antes e logo após ser submetida à secagem (NOGUEIRA, 2007).

Segundo McKendry (2002) duas formas de teor de umidade são de interesse, a umidade intrínseca (teor de umidade do material sem a influência de efeitos climáticos) e a umidade extrínseca (a influência das condições meteorológicas prevalecentes durante a colheita da biomassa).

O teor de umidade presente na biomassa pode interferir em outras propriedades, como o PCI que está intimamente ligado, pois este decresce com o aumento da umidade. A condutividade elétrica é outro fator que depende do teor de umidade (NOGUEIRA, 2007; CALEGARI et al 2005). A biomassa originária de produção agrícola possui teor de umidade entre 15–30% bu (NOGUEIRA & RENDEIRO, 2008).

2.7.3 Material Volátil

Segundo McKendry (2002) o teor de voláteis é a parte da biomassa que evapora como um gás (incluindo umidade) por aquecimento, ou seja, o teor de voláteis é quantificado medindo-se a fração de massa da biomassa que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca, em atmosfera inerte, até temperaturas de aproximadamente 850°C.

Ainda para Lewandowski (1997) *apud* Klautau (2008), o material volátil interfere na ignição, pois quanto maior o teor de voláteis maior será a reatividade e consequentemente a ignição. Enfim, determina a facilidade com que uma biomassa queima, os quais possuem valores distintos em determinados produtos agrícolas.

2.7.4 Teor de Cinzas

Conforme Nogueira & Rendeiro (2008) os resíduos resultantes da combustão dos componentes orgânicos e oxidações dos inorgânicos são caracterizadas como teor de cinzas. Assim, as cinzas são resultado da combustão da biomassa, a qual se processa em altas temperaturas, tornando-se necessário conhecimento do comportamento destas cinzas para evitar operações inadequadas. As mesmas podem originar-se de elementos metálicos já presentes no combustível; de argila, areia e sais que possam estar na biomassa e ainda por solos misturados a biomassa durante sua colheita ou manuseio.

As cinzas são constituídas de silício, potássio, sódio, enxofre, cálcio, fósforo, magnésio e ferro. Quando em alta concentração podem diminuir o PC, podem ainda causar perda de energia e sua presença afeta também a transferência de calor sendo, portanto, necessário a remoção das mesmas (STREHLER, 2000 *apud* KLAUTAU, 2008). A determinação do teor de cinzas é feita pela metodologia NBR 8112 (Carvão Vegetal – Análise Imediata) e D 1102 (NOGUEIRA, 2007).

O conhecimento do teor de cinzas permite avaliar o seu comportamento a diversos critérios, como por exemplo, o ataque a refratários pelas cinzas pode ser evitado, ou seja, os refratários devem apresentar o mesmo comportamento químico ao das cinzas e, ainda devem ter baixa porosidade para que as cinzas ao se alojarem não provoquem rachaduras na superfície do mesmo.

Outro critério que deve ser visto é o ponto de amolecimento e fusão das cinzas, pois processos de combustão com temperaturas maiores do amolecimento podem propiciar a aglomeração de material particulado denominado —sinterl, ou a fusão da cinza —slaggingl, que geralmente inviabilizam a continuidade do processo ou reduzem a eficiência da troca de calor no equipamento (NOGUEIRA & RENDEIRO, 2008).

2.7.5 Teor de Carbono Fixo

CF é definido como a quantidade de carbono que fica retida em determinado material quando este é aquecido sob atmosfera inerte ou sob vácuo, em condições controladas,

aproximadamente a 350 °C. Nestas condições, a estrutura molecular se decompõe formando produtos de baixo peso molecular, liberando a matéria volátil (MCKENDRY, 2002).

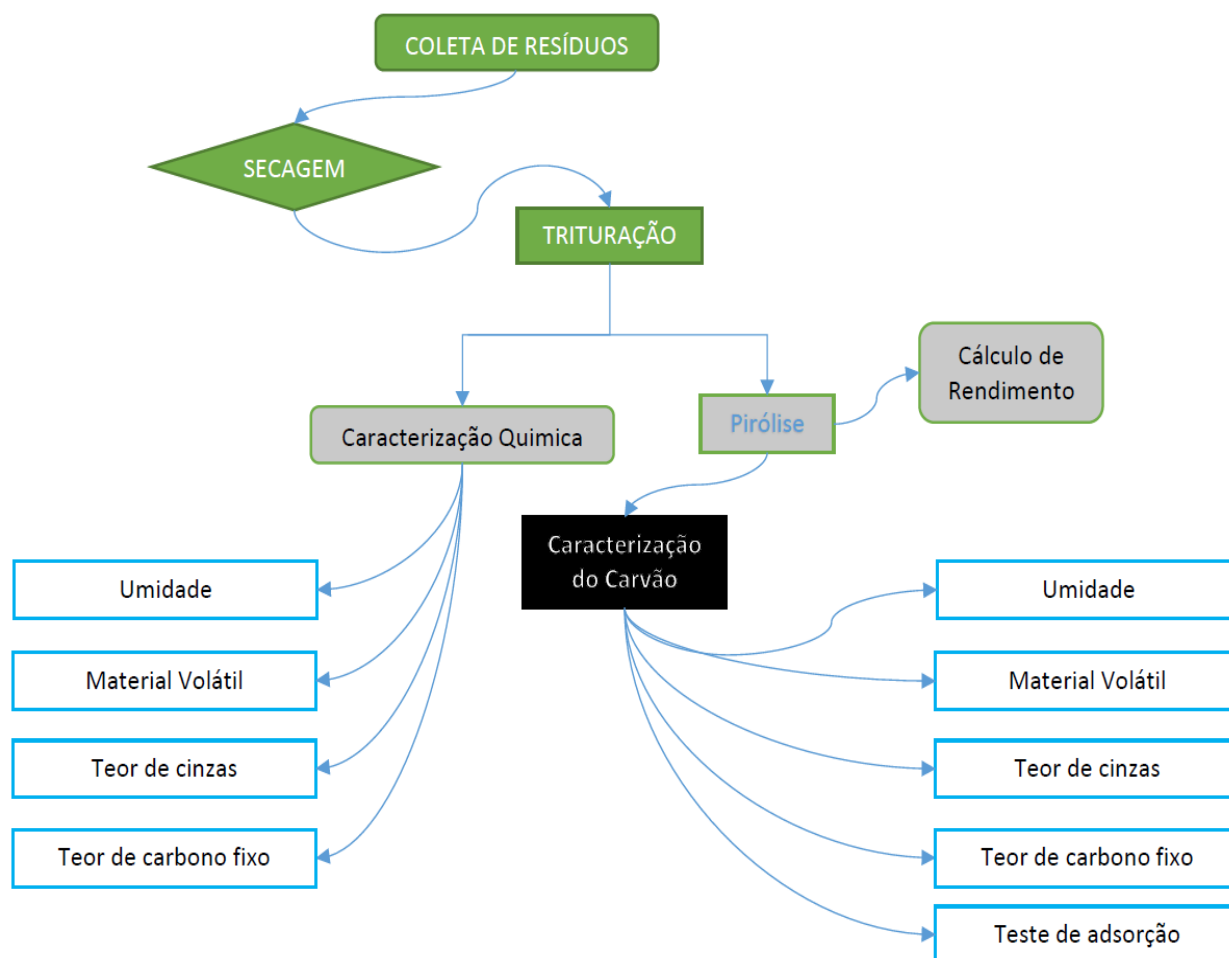
A diferença entre a matéria seca total, a matéria volátil e a matéria mineral é o teor de carbono fixo. O teor de carbono fixo está diretamente relacionado com o poder calorífico e com a estrutura aromática do carvão ativado. A quantidade de carbono fixo é reflexo da porcentagem de lignina presente no material de partida. A determinação do mesmo também é regida pela Norma 8112.

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Pesquisa

Foi realizado uma pesquisa do tipo experimental. De acordo Tumelero (2019) esse tipo de pesquisa estar relacionada com a manipulação de variáveis relacionadas com o objetivo de estudo, tendo como finalidade realizar testes de hipóteses que dizem respeito à convicção do pesquisado. A pesquisa seguiu algumas etapas, conforme está demonstrado na Figura 3

Figura 3 - Etapas de desenvolvimento pratico do trabalho.



Fonte: Próprio autor (2021).

3.2 Coleta e Preparo do Material

O material utilizado para o desenvolvimento do presente estudo foi o coco verde (*Cocos nucifera* L.) foram coletados no Parque Cesamar, localizado em Palmas – Tocantins, plano diretor sul da cidade. Os frutos foram coletados sem distinção, na forma *in natura* após o consumo do endosperma líquido, popularmente chamado de água do coco. Foram armazenados em sacos plásticos (Figura 4) e encaminhados ao Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética (LARSEN), onde foi realizado a extração da fibra do coco a caracterização do material, a pirolise e os testes de adsorção com azul de metileno.

Para a obtenção da fibra do coco verde, os mesmos passaram por um processo de fragmentação, cortados e divididos em tamanhos menores, logo após foram pesados, e submetidos em estufa (Thorth, modelo Th-520-150) para secagem, durante 24 horas. Após a secagem a fibra foi triturada em um moinho de facas (Figura 5) e peneirados em malha MESH-10 de 2,00 mm, com agitação manual, (Figura 6), obtendo-se o valor da análise granulométrica. Após totalmente peneirada foi adicionado junta a biomassa o catalizador carbonato de cálcio (CaCO_3) na razão de 2% m/m, após homogeneizado realizou-se a pirolise.

Figura 4 - Coleta dos frutos no Parque Cesamar, Palmas – TO.



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 5 - Triturador de coco, moinho de facas.



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 6 - Processo de peneiração da biomassa do coco verde, em malha MESH-10 de 2,00 mm, com agitação manual.



Fonte: Próprio autor (2021).

3.3 Caracterização do Material

3.4

A biomassa do coco verde e os carvões ativados (300 °C e 500 °C) foram caracterizados quanto a umidade, material volátil, teor de cinza e de carbono fixo na matéria, a importância da caracterização da matéria se faz para obtermos uma consolidação da cadeia de biomassa e dos resultados finais dos carvões, compreendendo melhor as composições, podendo assim manter uma padronização para posteriores ensaios.

3.4.1 Teor Umidade

Este trabalho foi desenvolvido com material de biomassa em base seca, ou seja, umidade tendendo a 0%. A caracterização da fibra do coco foi realizada com uma única amostra de 1 g de

fibra, (Figura 7), a qual foi submetida a estufa por 30 minutos, a uma temperatura de $100 \pm 10^\circ\text{C}$ até obtermos uma massa constante, após os dados foram correlacionados na equação I para a obtenção da umidade final da fibra do coco.

A umidade dos carvões 300°C e 500°C seguiu os mesmos procedimentos, fazendo uso de 1 g de carvão para cada temperatura.

Equação I - $Tu = \frac{m1-m2}{m1} \times 100$

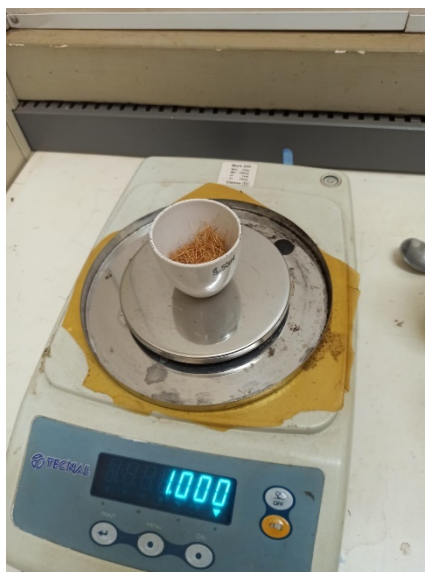
Onde:

Tu = densidade aparente

M1 = massa inicial da biomassa (g)

M2 = massa final da biomassa (g)

Figura 7 - 1 g de biomassa do coco verde *Cocos nucifera L.*



Fonte: Próprio autor (2021).

3.4.2 Material Volátil

Essa análise seguiu orientações da ABNT NBR 8112/86 (Carvão Vegetal - Análise Imediata - Método de Ensaio), com ajustes para o coco verde, resíduo agrícola utilizado. Nesse estudo, os cadinhos foram submetidos a um aquecimento em mufla $T_{\text{méd}} = 850^\circ\text{C}$ por aproximadamente sete minutos sob ausência de oxigênio, com auxílio de tampa para vedação (Figura 8).

Logo em seguida, os cadinhos foram inseridos em um dessecador por um período de tempo estimado de cinquenta minutos, e assim, suas massas foram verificadas em balança analítica. O teor de material volátil foi determinado através da equação II. O material volátil dos carvões 300°C e 500°C seguiu os mesmos procedimentos, fazendo uso de 1 g de carvão para cada temperatura.

Equação II - $MO(\%) = \frac{(P+PO)-P3}{PO} \times 100$

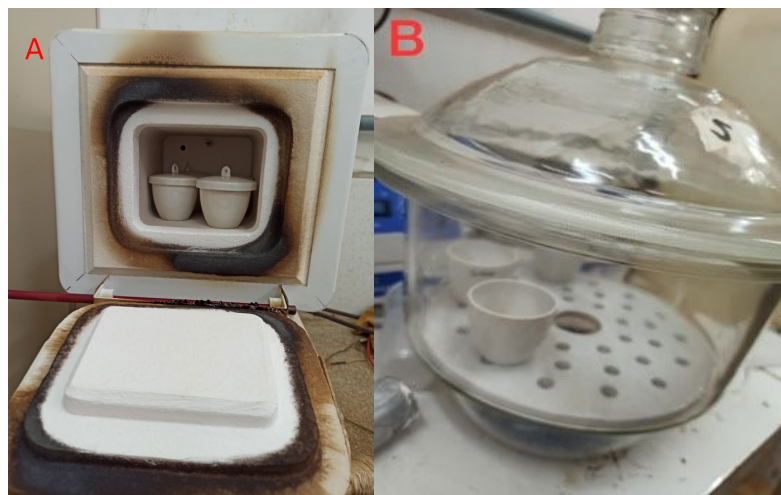
Onde:

P = peso do cadinho vazio

PO = peso da amostra inicial

P3 = peso do cadinho + amostra final

Figura 8 – (A) Biomassa sendo aquecida em mufla $T_{méd} = 850^{\circ} \text{C}$, sob ausência de oxigênio/ (B) Cadinhos em dessecador.



Fonte: Próprio autor (2021).

3.4.3 Teor de Cinza

Esse procedimento de análise seguiu as mesmas orientações que a caracterização do material volátil, portaria ABNT NBR 8112/86, com adaptações para a espécie de resíduo agrícola. Nesse estudo, os cadinhos foram submetidos a temperatura de 710°C por cerca de sessenta minutos em mufla sob atmosfera oxidante, sem tampa de vedação. Após esse processo, os mesmos, foram colocados em dessecador por aproximadamente cinquenta minutos. Ao final foram verificadas suas massas através da equação III. O teor de cinza dos carvões 300°C e 500°C seguiu os mesmos procedimentos, fazendo uso de 1 g de carvão para cada temperatura.

$$\text{Equação III - } C(\%) = \frac{A}{B} \times 100$$

Onde:

A = peso do cadinho + amostra pós-aquecimento

B = peso do cadinho + amostra antes do aquecimento

3.4.4 Teor de Carbono Fixo

Para esse parâmetro, o cálculo de CF foi realizado com o percentual de material que não sofreu ações de volatilizações das análises anteriores. Assim, com os resultados das demais avaliações, foi aplicada para a determinação do CF a equação IV.

O CF dos carvões 300°C e 500°C seguiu os mesmos procedimentos, fazendo uso de 1 g de carvão para cada temperatura.

$$\text{Equação IV - } T_{cf} = 100 - (T_v + T_c)$$

Onde:

A = peso do cadinho + amostra pós-aquecimento

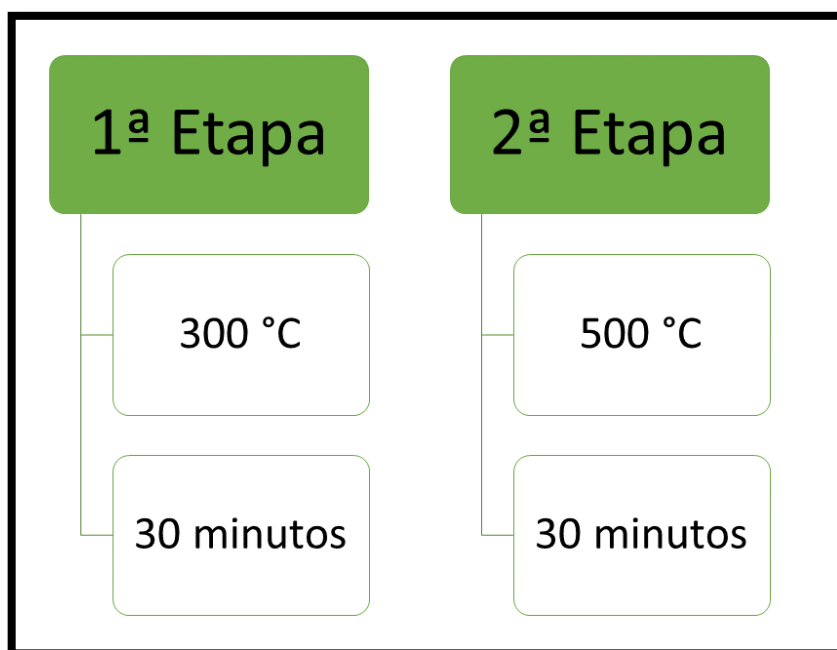
B = peso do cadinho + amostra antes do aquecimento

3.4.5 Pirolise da Biomassa

Os experimentos de pirólise da biomassa da fibra de coco foram realizados em mufla (marca Coel modelo Hm), em temperatura de 300 °C e 500 °C durante 30 minutos de degradação térmica. A biomassa inicialmente passou por um processo de secagem em estufa por tempo suficiente para que boa parte da água fosse evaporada, logo em seguida foi realizada a pirólise.

A Figura 9 mostra as condições de pirólise da biomassa que foram empregadas nessa pesquisa.

Figura 9 - Pirólise da fibra de coco em mufla.



Fonte: Próprio autor (2021).

Após a reação e o resfriamento do material, o carvão foi coletado, pesado e armazenado. O rendimento do material foi determinado por meio da relação entre a massa final, após a pirólise e a massa inicial da biomassa empregada antes da pirólise.

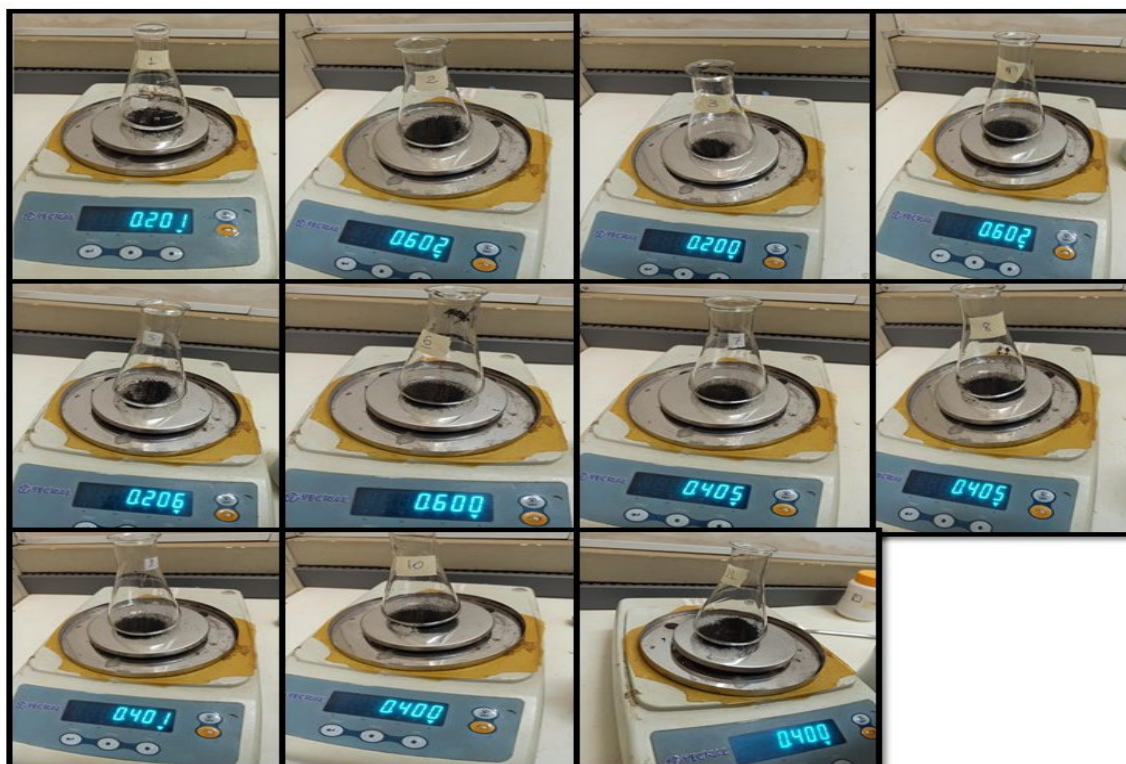
3.3.6 Teste de Adsorção de Azul de Metileno

As amostras de carvão proveniente da fibra de coco verde obtido na temperatura de 500 °C, na forma de pó, com granulometria de 0,45 mm, foram colocadas em erlenmayer e pesadas em balança analítica (Figura 10). A solução corante (Azul de Metileno), de fórmula química $C_{16}H_{18}N_3S \cdot 3H_2O$ foi utilizada em volume padrão de 30 mL de solução em todos os testes, (Figura 11). O pH da solução do corante foi ajustado a 7. Os testes foram realizados em uma mesa de agitação (Shaker TE 141), (Figura 12). A agitação foi mantida a 70 rpm durante os 30 minutos empregados para o teste de adsorção.

Após a agitação as amostras foram filtradas em papel analítico, com o objetivo de realizar a separação do carvão, (Figura 13) e a concentração de azul de metileno resultante foram determinadas em espectrofotômetro de duplo feixe (PERKIN ELMER, LAMBDA 750), (Figura

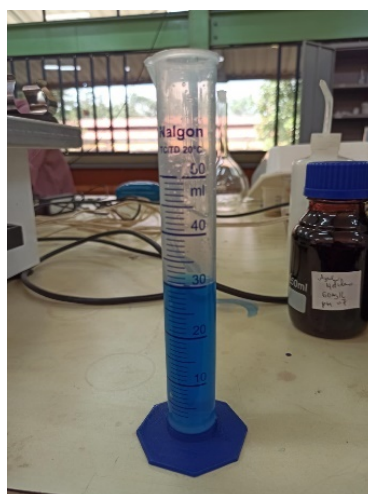
14) a 660 nm, com o auxílio de uma curva de calibração, (Figura 15), foi constituída pela análise de soluções de concentração conhecida iguais a 1, 2, 3, 4 e 5mg/L do corante azul de metileno.

Figura 10 – Pesagem do carvão para o ensaio de adsorção.



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 11 - Padronização do azul de metileno para os 11 ensaios



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 12 - Agitação das soluções de azul de metileno com os carvões.



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 13 - Procedimento de filtragem do azul de metileno em papel analítico.



Fonte: Próprio autor (2021)

Figura 14 - Leitura das absorbâncias espectrofotômetro, a 660 nm.



Fonte: Próprio autor (2021).

Tabela 1 - Fatores e níveis empregados.

Fatores		Níveis		
		-1	0	+1
X ₁	Massa do Carvão (g)	0,20	0,40	0,60
X ₂	Concentração do Corante (mg/L)	20	60	100

Fonte: Próprio autor (2021)

Foram realizados 11 ensaios, sem repetição, sendo 3 deles no ponto central do Planejamento Experimental, como demonstrado Tabela 2. Foram definidas três respostas para o planejamento: (a) absorvância do filtrado, (b) eficiência de remoção e (c) capacidade de adsorção (Q).

Tabela 2 - Fatores e níveis empregados.

Ordem dos Experimentos	X ₁	X ₂
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	-1	0
6	1	0
7	0	-1
8	0	1
9	0	0
10	0	0
11	0	0

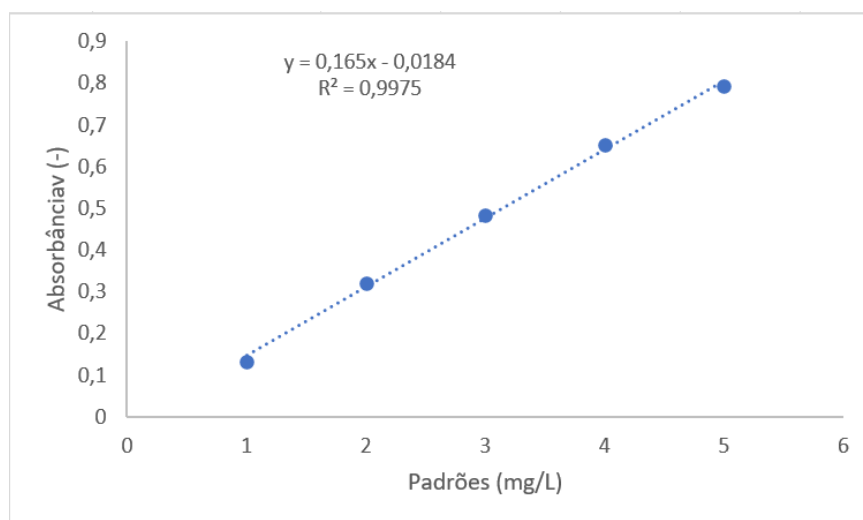
Fonte: Próprio autor (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo expõe os resultados obtidos nos ensaios realizados para a caracterização da biomassa do coco verde (*Cocus nucifera L.*) e do carvão ativado conforme a metodologia descrita no capítulo anterior. Os ensaios de caracterização da biomassa foram realizados através da umidade, material volátil, teor de cinza e teor de carbono, a caracterização dos carvões acompanhou o mesmo padrão, seguida da pirolise. O carvão de 500 °C ao final do estudo foi submetido ao teste de adsorção do azul de metileno.

4.1 Curva de Calibração

Figura 15 - Curva de Calibração.



Fonte: Próprio autor (2021).

Foi aplicada um planejamento experimental do tipo Delineamento de Faces Centradas (DFC) para verificar os efeitos de duas variáveis independentes (massa de carvão e concentração da solução do corante) no teste de adsorção. A Tabela 1 mostra os níveis dos fatores empregados no estudo.

4.2 Caracterização da Biomassa

Na Tabela 3 contém os resultados obtidos na caracterização da biomassa estudada, na mesma podemos notar os resultados dos estudos de Padilla, et al., (2018), e de Paz, et al., (2016), ambos os trabalhos são referentes a mesma matéria prima aqui estudada.

Tabela 3 - Resultado da caracterização da fibra do coco verde.

Ensaio – Fibra	Resultados	Padilla, et al., (2018)	Paz, et al., (2016)
Umidade (%)	10,9	—	7,6
Cinzas (%)	2,7	2,90 ± 0,39	1,98
Material volátil (%)	82,3	75,48±1,71	81,5
Carbono fixo (%)	4,1	21,61 ± 1,47	8,92

Fonte: Próprio autor (2021).

Podemos observar no que se refere a umidade que o presente estudo obteve 10,9% o que corresponde a perda de peso sofrida pela fibra quando foi submetida ao aquecimento, condição na qual a água contida na fibra é removida, bem como outras substâncias nessas condições de volatilidade. Ao compararmos com o estudo de Paz, et al., (2016), notamos que a variação da umidade entre os estudo e de apenas 3,3%, já que o estudo apresenta 7,6% de umidade.

Segundo Silva (2018), a umidade é uma variável que influencia na combustão e a pirólise,

pois o consumo de energia utilizada no processo de pirólise será proporcional ao teor de umidade. Em adição, o teor de umidade e o tamanho da partícula são variáveis que dependem das características do sólido e influenciam diretamente no processo de pirolise (GÓMEZ, 2002).

Comparando os demais parâmetros com o estudo de Paz et al., (2016), notamos que as variações de cinzas e material volátil são pequenas, menos de 1% entre os critérios analisados, 1,98% e 81,5 % respectivamente são apresentados pelos autores, em comparação com o presente estudo o qual teve 2,7% e 82,3% de cinzas e material volátil respectivamente. O estudo de Padilla, et al., (2018), apresenta dados com margem de erros para $\pm$ em todos os critérios de caracterização da fibra, no que desrespeito as cinzas os autores fizeram uso de $0,39 \pm$, o que mesmo assim não deixa o valor de cinzas ($2,90 \pm 0,39$) tão discrepante quando comparado com o estudo de Paz et al, (2016) e com o estudo aqui percorrido. Quanto ao teor de material volátil o estudo de Padilla, et al., (2018) mesmo utilizando-se da variação $\pm 1,71$, para a variante ainda representa um valor inferior aos demais estudo, apresentando $75,48 \pm 1,71$.

O último parâmetro analisado para a caracterização da fibra do coco foi o teor de carbono fixo (%), entre os autores revisados fica notório a discrepância dos resultados. Padilla, et al., (2018), apresenta $21,61 \% \pm 1,47$, enquanto Paz, et al., (2016), descreve 8,92 % de CF é o presente estudo teve um % de 4,1 CF. O CF é diretamente relacionado a quantidade de calor gerado pelo processo de produção combustão para a produção do carvão e com a qualidade do mesmo. Paz, et al., (2016) relata que quanto maior o teor de carbono fixo, mais lentamente o combustível será queimado. Ou seja, no carvão gerado pela fibra do coco verde aqui desenvolvida tem uma combustão mais acelerada.

4.3 Pirólise de Biomassa e Ativação dos Carvões

Os dados experimentais obtidos nos testes iniciais da pirólise de biomassa para a produção de carvão estão apresentados na Tabela 4. Foi aplicado o Teste-t simulando variâncias equivalentes no tratamento estudado, com o objetivo de se verificar a existência ou não de diferença entre eles (Tabela 5).

Tabela 4 - Dados de rendimento de carvão obtidos durante os ensaios de pirólise.

Experimentos	Temperaturas (°C)	
	300 °C	500 °C
1	28,216%	52,557%
2	28,908%	48,986%
3	30,557%	51,613%
4	30,649%	59,733%
Média	29,582 %	53,222 %
Desvio Padrão	-	-
Grau de Liberdade	-	-

Fonte: Próprio autor (2021).

Tabela 5 - Análise estatística através do Teste-t simulando variâncias equivalentes para a produção de carvão em ensaios de pirólise.

	300 °C	500°C
Média	29,582 %	53,222 %
Variância	0,000146954	0,002112553
Observações	4	4
Variância agrupada	0,001129754	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	6	
Stat t	-	
	9,946389581	
P(T<=t) uni-caudal	2,98611E-05	
t crítico uni-caudal	1,943180281	
P(T<=t) bi-caudal	5,97222E-05	
t crítico bi-caudal	2,446911851	

Fonte: Próprio autor (2021).

Os dados apresentados nas Tabelas 4 e 5 informam que existem diferenças de médias nos dois tratamentos empregados (temperaturas de 300 e 500 °C), no nível de 95 % de confiança. Em termos de produção de carvão ativado, e não observando ainda as suas características químicas, recomenda-se a operação da mufla na temperatura de 300°C, pois a esta temperatura o gasto energético é bem inferior se comparado ao processo feito a 500°C.

As reações de pirólise têm correlação direta com a temperatura qual a biomassa é submetida, no seu estudo Pedroza et al., (2014), relata que a temperatura é um parâmetro que influencia o rendimento em carvão, líquidos e gases não condensáveis, sendo que quanto maior a temperatura, maior o grau de decomposição térmica da biomassa, com consequente aumento na quantidade de líquidos pirolenhosos e gases e, consequentemente menor rendimento em carvão.

Tabela 6 evidencia os resultados obtidos na pirólise para a produção do carvão ativado em mufla é realizar a comparação com outros trabalhos. Ao observá-la, verifica-se que o rendimento do material em estudo foi de 29,58% a 53,22%, para 300 °C e 500°C respectivamente, podemos observar que os valores obtidos no que desrespeito ao carvão de 300 °C ficou com uma discrepância de 36,92% do estudo de Padilha, et al., (2018), no qual o autor obteve um resultado de rendimento de 66,50% de carvão a base de coco verde. Quando comparamos o carvão de 500 °C também com Padilha, et al., (2018), notamos que a diferença entre o presente estudo e o autor é de apenas 0,46%, uma diferença bem pequena.

Ainda analisando a tabela 6, podemos notar que o estudo de Schneider, J. K. (2018), realizou ensaio de pirolise de biomassa do coco verde em temperatura 700 °C obtendo um percentual de biomassa bem parecido com o ensaio de 300 °C do presente estudo. A literatura relata que a temperatura é crucial para o rendimento da biomassa, ou seja do carvão. Silva, E. M. (2018) informa que com o aumento da temperatura ocorre uma redução no rendimento do carvão, como esquematizado na Figura 15, e que quanto maior o tempo de pirólise, melhor é o rendimento

do material, ou, seja podemos notar que temperatura e tempo são inversamente proporcionais, o tempo qual a biomassa foi submetida no presente estudo para a obtenção da biomassa foi de 30 minutos, já no estudo de Schneider, J. K. (2018) ele relata que o processo de aquecimento dura aproximadamente 35 minutos e a temperatura e a pressão são monitoradas ao longo da pirólise. Assim podemos notar que a 700 °C o rendimento do carvão deveria ter sido bem mais baixo.

Tabela 6 - Resultados comparativos do rendimento dos Carvões.

	Rendimento dos Carvões (%)		
	300 °C	500 °C	700 °C
Autor	29,582 %	53,222 %	-
Schneider, J. K. (2018)	-	-	29,9 %
Padilha, et al., (2018)	66,50±1,56	52,76±0,22	-

Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 16 - Perda de massa em função do aumento da temperatura.



Fonte: Soares (2020).

4.3.1 Caracterização dos Carvões

A caracterização dos carvões desenvolvidos no estudo, estão contidos na Tabela 7, na qual também podemos notar outros estudos comparativos. Os valores de umidade e cinzas observados nos carvões dessa pesquisa estão bem próximos dos valores dos outros autores citados. Observa-se, no entanto, uma diminuição do teor de material volátil do carvão com o aumento da temperatura do processo de pirólise. Nessa pesquisa foram detectados teores de material volátil de 52,2 e 29,6 % nas temperaturas 300 e 500 °C, respectivamente. Essa diminuição do teor de material volátil nas amostras de carvões com o aumento da temperatura está relacionada ao processo de devolatilização dos compostos orgânicos presentes na biomassa ao longo da degradação térmica.

Tabela 7 - Caracterização dos Carvões.

	Autor		Schneider, J. K. (2018)	Padilha, et al., (2018)	
	Carvão 300 °C	Carvão 500 °C	Carvão 700 °C	Carvão 300 °C	Carvão 500 °C
Umidade (%)	2,6	5,3	3,6	-	-
Cinzas (%)	6,2	7,7	8,5	5,63±0,48	5,67±0,17
Material volátil (%)	52,2	29,6	14,1	37,95±1,08	14,94±0,57
Carbono fixo (%)	39,0	57,4	73,8	56,42±0,48	79,39±0,54

Fonte: Próprio autor (2021).

4.4 Teste de Adsorção de Azul de Metileno

Os dados experimentais obtidos durante os testes de adsorção do azul de metileno em amostra de carvão ativado proveniente da biomassa do coco verde, com catalisador carbonato de cálcio, pode ser observada na Tabela 8. Nesse planejamento experimental foram adotadas as variáveis independentes massa de carvão utilizada (X_1) e concentração do azul de metileno (X_2). As respostas do processo foram: absorvância do filtrado, eficiência final de adsorção e razão (Q) de adsorção.

Analisando a tabela 8, podemos notar que entre os 11 experimento, 8 deles apresentaram uma eficiência acima de 90 %, 3 experimentos apresentaram eficiência abaixo de 90 %, estes por sua vez se encontram abaixo de 70 %, demonstrando que todos os experimentos tiveram uma boa eficiência para a remoção do azul de metileno. O experimento de maior eficiência foi o 7 (X_1 0,4g de carvão ativado; X_2 0,20 mg/L de azul de metileno; Abs. 0,059; 97,65%), enquanto o que apresentou menor eficiência foi o 5 (X_1 0,2g de carvão ativado; X_2 0,60 mg/L de azul de metileno; Abs. 2,21; 77,49%).

O estudo de Paz, et al., (2016), apresentou percentual de remoção máximo de 92% obtido após adição de 260 mL de solução de azul de metileno na concentração de 17,97mg/L.

Tabela 8 - Resultados dos valores da absorvância obtidos através do ensaio de remoção de corante através de adsorção por agitação orbital horizontal.

Experimentos	Massa de carvão usada (g) X_1	Concentração do Corante Azul de Metileno (mg/L) X_2	Absorvância (-)	Eficiência final (%)	Razão de adsorção (Q) (mg/g)
1	0,2 (- 1)	20 (- 1)	0,115	95,95	2,87
2	0,6 (1)	20 (- 1)	0,074	97,2	0,97
3	0,2 (- 1)	100 (1)	2,8	82,91	12,43
4	0,6 (1)	100 (1)	1,06	93,46	4,67
5	0,2 (- 1)	60 (0)	2,21	77,49	6,97
6	0,6 (0)	60 (0)	0,654	93,20	2,79
7	0,4 (0)	20 (- 1)	0,059	97,65	1,46
8	0,4 (0)	100 (1)	2,52	84,61	6,34
9	0,4 (0)	60 (0)	0,43	95,47	4,29
10	0,4 (0)	60 (0)	0,416	95,61	4,30
11	0,4 (0)	60 (0)	0,425	95,52	4,29

Fonte: Próprio autor (2021).

Por meio da regressão linear foi gerado o intervalo espectral da adsorção do azul de metileno e a construção do gráfico analítico linear da absorvância, o que nos permite observar a relação estatística desta variável em relação a outras. Na Tabela 9 são apresentados os efeitos da interação entre as variáveis para o resultado de absorvância das amostras filtradas. Foi considerado também o efeito de interação entre as variáveis. Os efeitos significativos foram destacados a um nível de 95% de confiança.

Tabela 9 - Coeficientes de Regressão do Planejamento DFC 2² obtidos da remoção de corante, em intervalo de 95% de confiança.

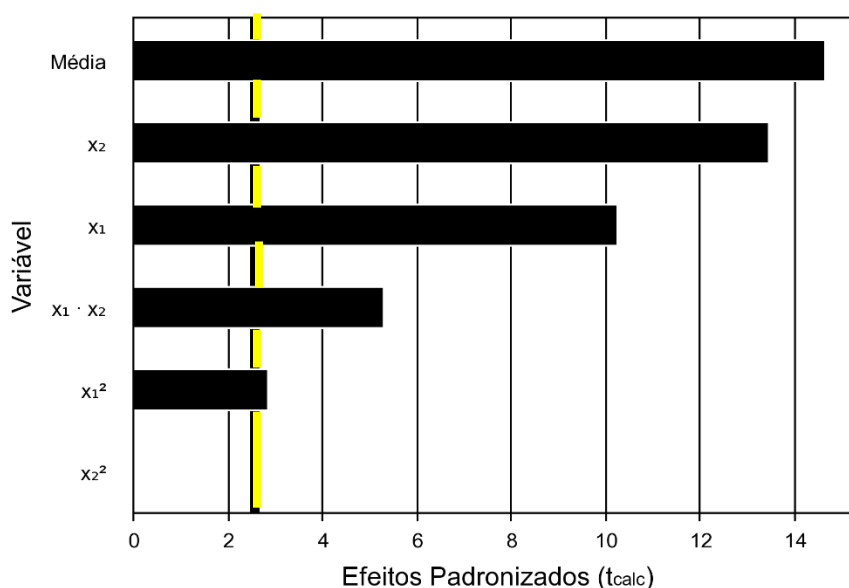
Fatores	Coeficientes de Regressão	Erro Padrão	Tcalc	p-valor
Média	4,14	0,28	14,65	0,0000
X ₁	-2,31	0,22	-10,26	0,0002
X ₁ ²	0,98	0,35	2,83	0,0366
X ₂	3,02	0,22	13,44	0,0000
X ₂ ²	0,00	0,35	0,00	0,9988
X ₁ .X ₂	-1,46	0,28	-5,32	0,0032

Fonte: Próprio autor (2021).

Com os resultados obtidos na tabela 9, levou-se em consideração as duas variáveis independentes X₁ e X₂ (carvão ativado e azul de metileno) e uma dependente (absorbância), com as quais foram realizadas uma análise estatística através do Diagrama de Pareto, (Figura 17).

O diagrama de Pareto, destaca quais variáveis tem efeitos mais significativos sobre absorbância do carvão ativado originário da pirólise da biomassa do coco verde. De acordo as análises, podemos notar que com exceção da variável X₂², todos os demais fatores tiveram efeito significativo durante o processo de adsorção. Notamos isso pois eles ultrapassam a linha amarela. A variável de interação X₁ * X₂, apresentou um nível de significância próximo a 5 (Tcalc).

Figura 17 - Representação do Diagrama de Pareto obtido a partir do Delineamento de Faces Centradas (DFC) na remoção de corante através de adsorção por agitação orbital horizontal.



Fonte: Próprio autor (2021).

Após a geração dos coeficientes de regressão, obtidos a partir da matriz codificada, foi possível escrever o modelo ajustado que descreve a remoção de corante de azul de metileno através

de adsorção por agitação orbital horizontal, conforme Equação V.

Remoção de Corante (%):

$$\text{Equação V} - Y_3 = 4,14 - 2,31 X_1 + 0,98 X_1^2 + 3,02 X_2^2 - 1,64 X_1 X_2$$

Onde:

X_1 = Carvão ativado (g)

X_2 = Azul metileno (mg/L)

A Tabela 10 apresenta a análise de variância (ANOVA) para a absorção de corante de azul de metileno através de adsorção por agitação orbital horizontal. Verifica-se através dela que o coeficiente de determinação (R^2) obtido por meio da regressão é de 98,48%.

Em sequência se observarmos a Figura 17, encontramos a comparação entre os valores observados experimentalmente e aqueles preditos pelo modelo ajustado, fica notável que a absorção teve um bom desempenho, tal se justifica pelo fato de os pontos estarem próximos a reta. Para confirmação da significância dos parâmetros do modelo pela análise da ANOVA (Tabela 10), foi realizado o teste F.

Tabela 10 - ANOVA para a absorção de corante de azul de metileno através de adsorção por agitação orbital horizontal.

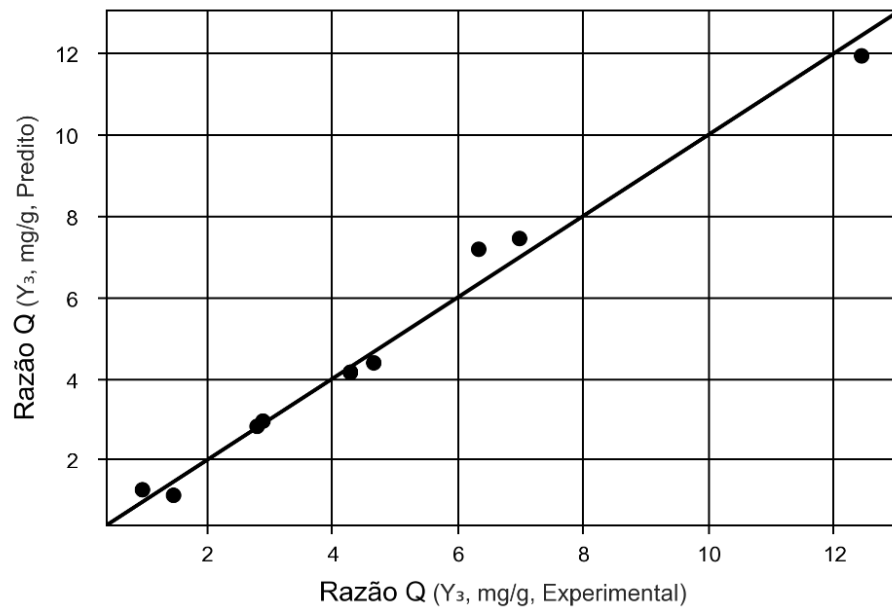
Fonte de Variação	Soma Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado	p- valor
Regressão	98,0	5	19,6	64,6	0,00015
Resíduos	1,5	5	0,3		
Falta de ajuste	1,5	3	0,5	48648,0	0,00002
Erro Puro	0,0	2	0,0		
Total	99,5	10			

$R^2 = 98,48\%$ $F_{\text{tabelado}}(5; 5; 0.05) = 5.05$

Fonte: Próprio autor (2021).

Com o modelo linear ajustado, observa-se que o coeficiente de regressão (R^2) alcançado foi de 0,9848, indicando um bom ajuste do modelo aos dados. Gráficamente representada, a Figura 18 comprova que houve uma pequena diferença entre os valores observados e os valores previstos do modelo, confirmado pelo agrupamento de pontos próximo a linha representativa.

Figura 18 - Valores observados versus valores previstos, para a remoção de corante azul de metileno.

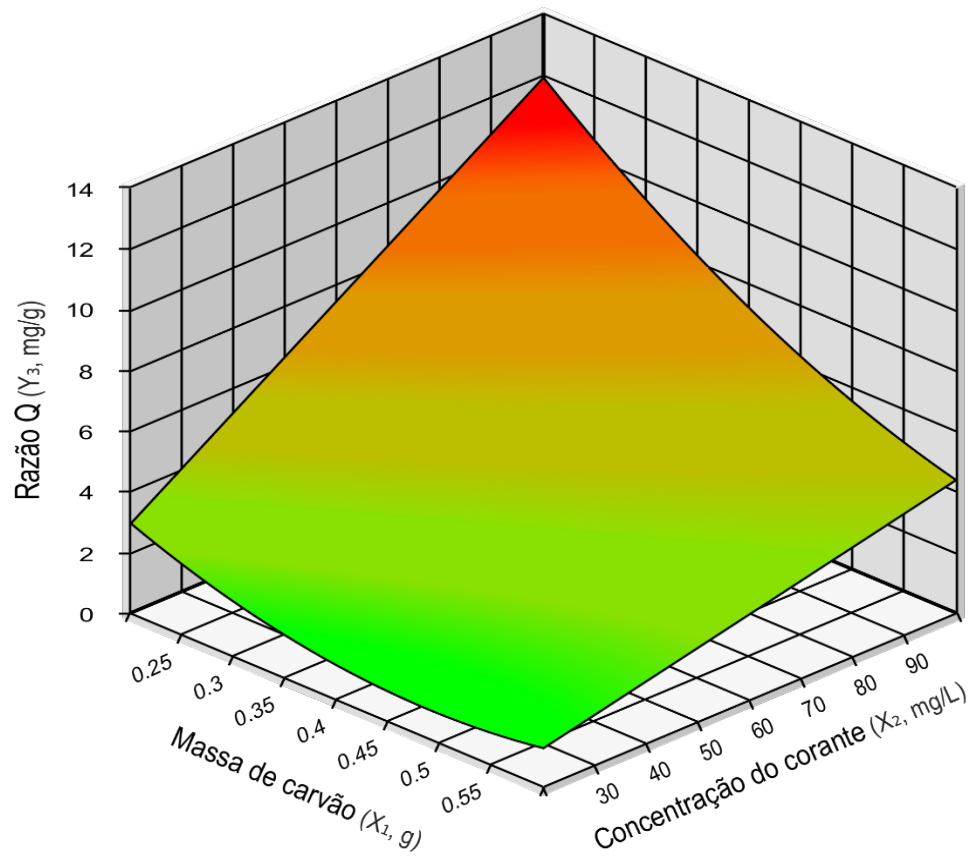


Fonte: Próprio autor (2021).

O valor de $F_{\text{calculado}}$ (64,6) foi determinado pela expressão, $F_{\text{calculado}} = \text{Quadrado médio regressão} / \text{Quadrado médio erro}$. Comparando o valor de $F_{\text{calculado}}$ ($F_{\text{cal.}} = 64,6$) para a regressão com o valor de F_{tabelado} ($F_{\text{tab.b}} = 5,05$), verifica-se uma regressão significativa.

O gráfico de superfície exposto e curvas de contorno gerado por meio do planejamento experimental é apresentado na Figura 19. Nota-se através dele que a capacidade de absorbância foi alcançada em condições de baixa quantidade de massa carvão e alta concentração de corante, como mostra as regiões destacadas em vermelho.

Figura 19 - Superfície de resposta para a adsorção de corante, com os fatores quantidade de carvão ativado e concentração de azul de metileno.



Fonte: Próprio autor (2021).

5 CONCLUSÃO

Ao final do presente estudo podemos afirmar que o carvão aqui desenvolvido tem uma excelente capacidade de adsorção do azul de metileno, assim os objetivos aqui propostos foram alcançados com êxito.

O estudo avaliou o potencial do carvão ativado a base de biomassa do coco verde, fruta presente em abundância no Brasil, como já relatado. Dando início ao estudo através da caracterização da biomassa, para tal foi utilizado os padrões de umidade (%), cinzas (%), material voláteis (%) e carbono fixo (%), estes parâmetros quando comparados aos estudos literários citados apresentaram uma pequena variação, o que é satisfatório pois os estudos se tratam da mesma biomassa. Dentre os parâmetros analisados, o carbono fixo, deve destaque pois através dele ficou notório que a biomassa do coco verde utilizada para o estudo é excelente para a produção de carvão ativado, tendo que quando menor o índice de carbono fixo, maior e mais acelerada se torna a combustão no material favorecendo a pirolise.

No que desrespeito a pirolise e ativação dos carvões o estudo, os valores de rendimento dos carvões (300 °C e 500 °C), quando comparados com as literaturas ficou notório que estavam seguindo o padrão esperado. O carvão após ativado passou pelo mesmo processo de caracterização qual a biomassa inicial foi submetida, análise de umidade (%), cinzas (%), material volátil (%) e carbono fixo (%), em todos os parâmetros foram obtidos resultados satisfatórios quando comparados com as literaturas.

A verificação da capacidade de adsorção do carvão ativado surpreendeu o estudo, as literaturas estavam relatando adsorção de até 92% enquanto o carvão 300°C do estudo obteve 97% de adsorção de azul de metileno na solução aquosa.

Com os dados de adsorção do azul de metileno, foi criado o diagrama de pareto, o coeficiente de regressão, a análise das variáveis e um gráfico de cores com a superfície de resposta para a adsorção de corante, com os fatores quantidade de carvão ativado e concentração de azul de metileno, para demonstra melhor ainda a excelente capacidade de adsorção do carvão a base da biomassa do coco verde, ativada pela pirolise de 300°C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOYE, A. M. & ANI, F. N.; **Recent development in the production of activated carbon electrodes from agricultural waste biomass for supercapacitors: A review**. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 52, 1282. 2015.
- ABBASI, T. **Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. India: Elsevier, v. 14, p. 919-937, 2010.
- AHMADPOUR, A. & DO, D. D. **The preparation of activated carbon from macadamia nutshell by chemical activation**. *Carbon*, Elmsford, v. 35, n. 12, p. 1723-1732.1997.
- T. M. ALMEIDA, **Caracterização Química de Bio-Óleo Obtido Da Pirólise Rápida Da Fibra de Coco Verde**. UNIT, 2013.
- AYGUN, A, YENISOY-KARAKAS, S., DUMAN, I., "Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Microporous Mesoporous Materials*, v. 66, n. 2-3, pp. 189-195. 2003.
- BISPO, M. D. et al. **Production of activated biochar from coconut fiber for the removal of organic compounds from phenolic**. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, [s.l.], v. 6, n. 2. p.2743-2750. 2018.
- BORGES, F. M. et al. **Desenvolvimento e criação de uma unidade produtiva de carvão ativado**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Ouro Preto, MG. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2003. Acesso em: Agosto de 2021.
- CALEGARI, L. FOELKEL, C. E. B.; HASELEIN, C. R.; ANDRADE, J. L. S.; SILVEIRA P.; SANTINI, E. J. **Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no sul do Brasil**. *Biomassa e Energia*. V.2, n.1, p. 37-46, 2005.
- CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. **Fibra da casca de coco verde como substrato agrícola**. *Hortic. Bras.* V. 20, n.4, 533-535. 2002.
- CARVALHO, E. X.; ANUNCIAÇÃO FILHO, C. J.; ARAGÃO, W. M.; MUSSER, R. D.; FERRAZ, L. G.; REIS, O. V.; Oliveira, F. J. **Variabilidade e comportamento de cultivares de coqueiro anão nos tabuleiros costeiros do norte de Sergipe**. *Bragantia*, 67, 91. 2008.
- COELHO, G. F.; GONÇALVES, A. F.; SOUSA, R. F. B.; SCHWANTES, D.; MIOLA, A. J.; DOMINGUES, C. V. R. **Uso de técnicas de adsorção utilizando resíduos agroindustriais na remoção de contaminantes em águas**. *Journal of Agronomic Sciences*, Umuarama, v. 3, n. especial, p. 291-317, 2014.
- COUTO, G. M. **Utilização de Serragem de *Eucalyptus* sp na preparação de carvões ativados**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras 2009.
- CHA, J. S.; PARK, S. H.; JUNG, S. C.; RYU, C.; JEON, J. K.; SHIN, M. C.; PARK, Y. K.; J. **Production and utilization of biochar: A review**. *Ind. Eng. Chem.* 40, 1. 2016.
- CHANDRA, R.; TAKEUCHI, H.; HASEGAWA, T. **Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production** *Appl. Energy*. 94, 129–140. 2012.
- CHINGOMBE, P; SAHA, B; WAKEMAN, R. **Surface Modification of Commercial Activated Carbon (CAG) for the Adsorption of Benzene and Toluene**. *Carbon*. 43, 3132. 2005.
- CHUAH, T; JUMASIAH, A; AZNI, I; KATAYON, S; CHOONG, S. Y. **Rice husks as a microbial source for wastewater treatment**. *Desalination*. 175, 305. 2005.
- DI BLASI, C. B. **A Transient, Two-Dimensional Model of Biomass Pyrolysis**. *Biomass Bioenerg.* 7, 87. 1994.
- DUMAN, G; OKUTUCU, C; UCAR, S; STAHL, R; YANIK, J. **Pyrolysis characteristics of corn stalk with solid heat carrier**. *Biores. Technol.* 102, 1869. 2011.
- Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE Ano 5 | Nº 127 | Agosto|2020 Câmara Setorial ETENE PRODUÇÃO DE COCO – Soerguimento Das Áreas Tradicionais Do Nordeste.**
- EZZEDDINE, Z.; GENER, I. B.; POUILLOUX, Y.; HAMAD, H. **Removal of methylene blue by mesoporous CMK-3: kinetics, isotherms and thermodynamics**. *Journal of Molecular Liquids*, 223, p. 763 –770, 2016.

- FERNANDES, K. A. **Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água**. Revista da Graduação da PUC, v. 3, n. 2, 2010. Acesso em: Agosto de 2021.
- FERREIRA, J. M. S; WARWICK, D. R. N; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI. 292 p. 1998.
- FOGLER, H. S. **Elements of Chemical Reaction Engineering**. ed. 3, Prentice – Hall PTR, 1998.
- FREITAS, L. C. da S. **Carvão Ativo: Breve Histórico e Estudo de sua Eficiência na Retenção de Fármacos**. Revista Científica Unilago, v. 1, 2014.
- GALHETAS, A. M. **Valorização de resíduos carbonosos de gasificação com precursores de materiais para adsorção de poluentes em fase aquosa**. Tese. Universidade de Lisboa: Lisboa. 2014.
- GUARATINI, C.C.I. & ZANONI, M.V.B. **Corantes têxteis**. Química Nova, v.23, n.1. pp.71-78. 2000.
- GUO, J.; LUA, A. C. **Effect of surface chemistry on gas-phase adsorption by activated carbon prepared from oil-palm stone with pre-impregnation**. Separation and Purification Technology, 18: 47, 2000.
- HONORATO, A. C.; MACHADO, J. M.; CELANTE. G.; BORGES, W. G. P.; DRAGUNSKI, D.C.; CAETANO, J. **Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V. 19, n. 7, p. 705–710, 2015.
- HUNGER, K. **Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications**. Wiley-VCH, Weinheim: Cambridge. 2003.
- KLAUTAU, J. V. P. **Análise Experimental de uma Fornalha a lenha de Fluxo Cocorrente Para Secagem de Grãos**. Dissertação. PPGERHA, UFPR. Curitiba: 2008.
- LEAL, P. V. B; GREGÓRIO, A. M; OTONI, E; SILVA, P. R. Da; KRAUSER, M. De O; HOLZBACH, J. C. **Estudo da Adsorção do Corante Azul de Metileno em Resíduos de Babaçu**. Journal of Biotechnology and Biodiversity. Gurupi, v. 3, n.4, p. 166-171, Nov. 2012.
- LEWANDOWSKI, I & KICHERER, A. **Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus***. European Journal of Agronomy, v. 6, p. 163 – 177, 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030196020448>. Acesso em: Agosto de 2021.
- LI, M. F.; FAN, Y. M.; XU, F.; SUN, R. C.; ZHANG, X. L. **Characterization Of Extracted Lignin Of Bamboo (*Neosinocalamus affinis*) Pretreated With Sodium Hydroxide/Urea Solution At Low Temperature** Ind. Crop. Prod. 32, 551. 2010.
- LIU, W.; ZENG, F.; JIANG, H.; ZHANG, X. **Preparation of high adsorption capacity bio-chars from waste biomass**. Bioresour. Technol. 102, 8247. 2011.
- LOFRANO, G. **Emerging Compounds Removal from Wastewater Natural and Solar Based Treatments**. Salerno/ITA: Springer. 2012.
- MACÊDO, L. P. M. P. de. **Viabilidade da produção de carvão ativado a partir de resíduos alternativos**. Dissertação - Universidade Católica de Pernambuco, Recife. 92 f. 2012. Disponível em: <http://tede2.unicap.br:8080/handle/tede/624>. Acesso em: Agosto de 2021.
- MARSH, H. (Ed.). **Activated carbon compendium**. London: Elsevier, 2001.
- MARTINS, C. R & DE JESUS JUNIOR, L. A. **Doc. Embrapa**. 164, 32. 2011.
- MARTINI, P. R. R. **Conversão Pirolítica de Bagaço Residual da Indústria de Suco de Laranja e Caracterização Química dos Produtos**. Dissertação - PPGQ, UFSM, Santa Maria: 2009
- MCKENDRY, P. **Energy production from biomass (part 1): overview of biomass**. Bioresource Technology, Volume 83, Número 1, maio 2002, p. 37-46, 2002.
- NOGUEIRA, M. F. M. **Biomassa Energética: Caracterização da Biomassa**. Palestra Proferida na I Escola de Combustão, Florianópolis – SC 2007.
- NOGUEIRA, M. F. M. & RENDEIRO, G. **Caracterização Energética da Biomassa Vegetal**. BARRETO, E. J. F. (Coord). **Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília:

Ministério de Minas e Energia. p. 52-63. 2008.

PATHANIA, D.; SHARMA, S.; SINGH, P. **Removal of methylene blue by adsorption onto activated carbon developed from Ficus carica bast.** Arabian Journal of Chemistry, 10, p. 1445 – 1451, 2017.

PATTIYA, A; SUKKASI, S; GOODWIN, V. **Fast pyrolysis of sugarcane and cassava residues in a free-fall reactor.** Energy. 44, 1067. 2012.

PEDROZA, M. M. **Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15915>. Acesso em: Agosto de 2021.

RAULINO, G. S. C. **Sistema piloto de adsorção de íons de metais em coluna (leito fixo) utilizando como adsorvente o pó da casca de coco verde.** Dissertação – Universidade Federal do Ceará, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 110 f. 2011.

REINOSO, R. F. & MARSH, H. **Activated carbon.** 1. ed. London: Elsevier, 2006.

REINOSO, F. R. & MOLINA, M. S. **Role of chemical activation in the development of carbon porosity.** Ad. Colloid Interfac. 76, 271. 1998.

RODRIGUEZ, A. L. et al. **Produção de carvão ativado: a partir de resíduos vegetais.** Revista Jovens Pesquisadores, Santa Cruz do Sul, v. 3, ed. 156-167, 2013.

RUTHVEN, D. M. **Principles of adsorption and adsorption processes.** New Brunswick : John Wiley & Sons, 1984.

SAI, P. M. S. & KRISHNAIAH, K. **Development of the pore-size distribution in activated carbon produced from coconut shell char in a fluidized-bed reactor.** Industrial Eng. Chemistry. Resourch, 44: 51, 2005.

SAITER, O. **Utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia para a secagem de grãos de Coffea canephora var. Conilon.** Monografia. Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2008.

SANTOS, W. S. & ROCHA, R. D. C. **Utilização de adsorventes naturais (*Pinus taeda*) no processo de remoção do corante laranja reativo.** Syn. scy. UTFPR, Pato Branco, v. 10, n. 1, p. 123–130, 2015.

SCHNEIDER, E. L. **Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 93 folhas. 2008.

SOUZA, S. N. M; SORDI, A; OLIVA, C. A. **Potencial de energia Primária de Resíduos Vegetais no Paraná.** 4º Encontro de Energia no Meio Rural. 2002.

TOLEDO, B. L; GARCIA, M. A. F; UTRILLA, J. R; CASTILLA, C. M; FERNÁNDEZ F. J. V; **Bisphenol A removal from water by activated carbon. Effects of carbon characteristics and solution chemistry.** Environ. Sci. Technol., 39: 6246, 2005.

WAMPLER, T. P. **Applied Pyrolysis Handbook.** App. Pyrol. 2, 304. 2006.

WAMPLER, T. P. J. **Introduction to pyrolysis-capillary gas chromatography.** Chromatogr. 842, 207. 1999.

WERTHER J.; SAENGER, M.; HARTGE, E. U.; OGADA, T.; SIAGI, Z. **Combustion of agricultural residues. Progress in energy and combustion science.** Alemanha: Pergamon, v.26, p. 1-27, 2000.

YANG, S. I.; WU, M. S.; WU, C. Y.; **Application of biomass fast pyrolysis part I: Pyrolysis characteristics and products.** Energy. 66, 162. 2014.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C.; **Alkali Treatment and Cellulose Nanowhiskers Extracted from Maize Stalk Residues .** Fuel. 86, 1781. 2007.

YANG, K.; PENG, J.; SRINIVASAKANNAN, C.; ZHANG, L.; XIA, H.; DUAN, X. **Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating.** Bioresource Technology, v. 101, p. 6163–6169, 2010.