



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FILIPPE TEIXEIRA RIBEIRO

**RESULTADOS DE CARBONIZAÇÕES SEPARADAS DO MESOCARPO E
ENDOCARPO DO COCO DA BAÍA (*Cocos nucifera*)**

Prof. Dr. AZARIAS MACHADO DE ANDRADE
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
ABRIL – 2021



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FILIPPE TEIXEIRA RIBEIRO

**RESULTADOS DE CARBONIZAÇÕES SEPARADAS DO MESOCARPO E
ENDOCARPO DO COCO DA BAÍA (*Cocos nucifera*)**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. AZARIAS MACHADO DE ANDRADE
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
ABRIL – 2021

**RESULTADOS DE CARBONIZAÇÕES SEPARADAS DO MESOCARPO E
ENDOCARPO DO COCO DA BAÍA (*Cocos nucifera*)**

FILIPPE TEIXEIRA RIBEIRO

APROVADA EM: 20/04/2021

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. AZARIAS MACHADO DE ANDRADE - UFRRJ
Orientador

Prof. Dra. NATÁLIA DIAS DE SOUZA - UFRRJ
Membro

Prof. Dr. EDVÁ OLIVEIRA BRITO - UFRRJ
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família e a Deus.

AGRADECIMENTOS

À Deus por estar sempre ao meu lado iluminando meu caminho, guiando e me dando forças para enfrentar todos os desafios impostos ao longo da minha vida.

À minha família por todo o apoio e dedicação, me motivando sempre a olhar para frente, não desistir e servindo de inspiração para realização dos meus sonhos.

Aos meus pais, Valéria e Luiz Fernando, e meu irmão Rafael, por serem meu porto seguro e por nunca deixarem de acreditar em mim, serei sempre grato por tudo.

À minha namorada, Isabelle Lourenço, por todo carinho, afeto e atenção além de estar sempre ao meu lado, me dando forças e orientação nos melhores e piores momentos, compartilhando sonhos e conquistas.

Aos meus amigos Bruna Rodrigues, Danilo Franco, Isabela Dias, Isabela Lisboa, Karen Dalice, Lucas Alves e Lucas Basílio por todas as alegrias e adversidades compartilhadas ao longo dessa jornada, sem vocês eu não teria chegado até aqui. Obrigado por acrescentarem muito brilho, aprendizado e felicidades nessa caminhada.

Às minhas amigas e vizinhas Amanda, Cassiane, Gabi, Mariára e Patrícia por toda a companhia ao longo desses anos, todas as conversas, conselhos, suporte e brincadeiras me fizeram sentir-me acolhido por uma família em Seropédica.

Ao meu orientador Azarias Machado de Andrade por me conceder a oportunidade e a honra de estagiar no Laboratório de Energia da Madeira da UFRRJ, dentre outras inúmeras atividades acadêmicas que contribuíram no meu aprendizado pessoal e profissional. Todos os diálogos, assistências e sua mentoria foram de suma importância na minha jornada acadêmica e ficarão sempre na memória.

À Professora Natália Dias de Souza por toda paciência e excelência no conteúdo ministrado, por ser uma pessoa que está sempre disposta a estender o braço e ajudar, além de todas as oportunidades e confiança depositada/transmitida ao longo da graduação.

Ao técnico de laboratório Zé Carlos pela ajuda nas atividades acadêmicas e a toda equipe da UFRRJ, principalmente os docentes do curso de Engenharia Florestal, que tornaram possível a concretização desse sonho.

RESUMO

O presente trabalho objetivou a realização da pirólise de resíduos do coco-da-baía (*Cocos nucifera*) e efetuar a análise química imediata do carvão vegetal produzido. As temperaturas de destilação máximas utilizadas foram de 400, 500 e 600°C, carbonizando-se, de forma separada, o endocarpo e o mesocarpo do coco da baía. Os resultados obtidos foram comparados com os de carvão vegetal produzido da madeira de eucalipto, disponíveis na literatura vigente. Os rendimentos em carvão vegetal do mesocarpo, pirolisado às temperaturas máximas de 400 e 500°C, foram superiores aos apresentados pelos demais tratamentos. Os teores de materiais voláteis e cinza observados nos carvões do mesocarpo foram superiores aos observados nos carvões do endocarpo. Todavia, no caso dos teores médios de carbono fixo, foram observados valores médios superiores nos carvões derivados do endocarpo. O maior rendimento médio em carbono fixo foi apresentado pelo carvão derivado do endocarpo do coco da baía, pirolisado à temperatura máxima de 600°C. Apesar do rendimento médio em carvão vegetal do mesocarpo ter sido maior do que aquele apresentado pelo carvão vegetal do endocarpo, o teor de carbono fixo médio do segundo carvão foi bem superior e acabou alavancando o seu rendimento em carbono fixo para cima. Os rendimentos médios em carbono fixo apresentados pelos carvões do mesocarpo e do endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*) se equipararam, de acordo com a literatura vigente, àqueles apresentados pelo carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*. Em aplicações nas quais não sejam necessárias labaredas (fogões, fornos de padarias e pizzarias, aquecimento de ambientes, churrasqueiras, dentre outras), é recomendável o uso do carvão vegetal derivado do endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*), em função do maior teor de carbono fixo e menores teores de voláteis e cinza. Em aplicações nas quais sejam necessárias labaredas, com a presença de grandes línguas de fogo (geração de vapor, secagem de grãos, aquecimento de tubos de exaustão, estufas, serpentinas de aquecimento de água, dentre outras), é recomendável o uso do carvão vegetal derivado do mesocarpo do coco da baía (*C. nucifera*), em função do maior teor de matérias voláteis, aceitável teor de cinza e satisfatório teor de carbono fixo.

Palavras-chave: Carvão vegetal; resíduos de coco; pirólise.

ABSTRACT

The present work aimed to perform the pyrolysis of residues of coconut (*Cocos nucifera*) and to carry out the immediate chemical analysis of the produced charcoal. The maximum distillation temperatures used were 400, 500 and 600°C, the endocarp and mesocarp of coconut being charred separately. The results obtained were compared with those of charcoal produced from eucalyptus wood, available in the current literature. The charcoal yields of the mesocarp, pyrolysed at maximum temperatures of 400 and 500°C, were higher than those presented by the other treatments. The contents of volatile and gray materials observed in the coals of the mesocarp were higher than those observed in the coals of the endocarp. However, in the case of average fixed carbon levels, higher average values were observed in the coals derived from the endocarp. The highest average yield in fixed carbon was shown by the coal derived from the endocarp of the coconut, pyrolysed at a maximum temperature of 600°C. Although the average charcoal yield of the mesocarp was higher than that presented by the charcoal of the endocarp, the average fixed carbon content of the second coal was much higher and ended up leveraging its fixed carbon yield upwards. The average yields in fixed carbon presented by the coals of the mesocarp and the endocarp of the coconut (*C. nucifera*) are equivalent, according to the current literature, to those presented by the charcoal of *Eucalyptus grandis*. In applications where flames are not required (stoves, bakery and pizzeria ovens, space heating, barbecue grills, among others), it is recommended to use the charcoal derived from the endocarp of the coconut (*C. nucifera*), depending on the higher content of fixed carbon and lower levels of volatiles and ash. In applications where flames are required, with the presence of large tongues of fire (steam generation, grain drying, heating of exhaust pipes, greenhouses, water heating coils, among others), it is recommended to use the charcoal derived from the mesocarp of the coconut (*C. nucifera*), due to the higher content of volatile materials, acceptable content of ash and satisfactory content of fixed carbon.

Keywords: Charcoal; Coconut Residues; Pyrolysis

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Coco da Baía (<i>Cocos nucifera</i>)	2
2.1.1 Mesocarpo	3
2.1.2 Endocarpo	3
2.2 Pirólise	4
2.3 Carvão Vegetal	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	5
3.1 Coleta do Material no Campo	5
3.2 Preparação do Material no Laboratório	5
3.3 Carbonização	6
3.4 Análise Química Imediata do Carvão	6
3.4.1 Teores de Materiais Voláteis no Carvão	7
3.4.2 Teores de Cinza no Carvão	7
3.4.3 Teor de Carbono Fixo no Carvão	8
3.5 Análise dos Dados	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
5. CONCLUSÕES	14
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Rendimentos médios em carvão vegetal, observados a partir da carbonização do mesocarpo e endocarpo do coco da baía (<i>Cocus nucifera</i>), sob as temperaturas máximas de 400, 500 e 600°C.	9
Tabela 2: Valores médios de matérias voláteis, cinza e carbono fixo, observados após a análise química imediata do carvão vegetal do coco da baía (<i>C. nucifera</i>).....	10
Tabela 3: Valores médios observados a partir da análise química imediata dos carvões vegetais do mesocarpo e do endocarpo do coco da baía (<i>C. nucifera</i>).....	13
Tabela 4: Rendimentos médios em carbono fixo dos carvões do mesocarpo e do endocarpo do coco da baía (<i>C. nucifera</i>).....	13

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Cocus nucifera</i> : Palmeiras (A); Frutos verde e maduro (B)	3
Figura 2. Mesocarpo e Endocarpo (<i>Cocus nucifera</i>). Fonte: BEZERRA et al., 2012	4
Figura 3. Plantio de coco (<i>Cocus nucifera</i>) no qual foram coletados os frutos utilizados na pesquisa	5
Figura 4. Mesocarpo (A) e Endocarpo (B) do coco da baía (<i>Cocus nucifera</i>) preparados para o processo de carbonização	5
Figura 5. Forno mufla (A), recipiente metálico instalado no interior do forno (B) e sistema de programação do ritmo de carbonização (C)	6
Figura 6. Amostras de carvão vegetal sendo submetidas à análise química imediata	7

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a agricultura sempre exerceu grande influência no desenvolvimento da humanidade. O crescente aumento da população no planeta levou à necessidade de uma série de inovações tecnológicas que permitisse o abastecimento global de forma contínua, expandindo a capacidade de produção dos alimentos oriundos desta prática (EHLERS, 2017). No entanto essas atividades agroindustriais geram uma grande quantidade de resíduos que são classificados como biomassa (KIELING, 2016).

No Brasil, a agricultura desempenha um papel fundamental na economia do país. Em relação, especificamente, à produção de coco da baía (*Cocos nucifera*), a produção brasileira é de grande relevância, abastecendo o mercado nacional e uma parte sendo exportada. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o Brasil possui uma área de 188.133ha destinada ao plantio de coco da baía, com uma produção média anual de 1.553.966 toneladas de coco. As áreas de plantio são encontradas praticamente em todo território nacional, com exceção dos Estados do Amapá, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Distrito Federal, sendo a Região Nordeste responsável por 74,5% da produção nacional (IBGE, 2017; BRAINER, 2018). Ao contrário da cultura de outros países, onde o coco é utilizado especialmente na produção de óleo e outros produtos, no Brasil, o coco é consumido, também, in natura, para aproveitamento da sua água (ROSA *et al.*, 2001).

O coco da baía é de fácil comercialização, pelo custo relativamente baixo e pela grande disponibilidade. Por isso, grandes volumes deste fruto são descartados diariamente, o que pode ser notado nas proximidades de pontos de venda, principalmente nas áreas de lazer e recreação. Em virtude dos grandes volumes e da difícil decomposição do coco, que apresenta uma elevada dureza, podem surgir algumas dificuldades logísticas em relação ao seu descarte. Mesmo quando transportado para locais considerados apropriados, devido ao seu longo tempo de decomposição, contribuem para a diminuição da vida útil de lixões e aterros sanitários. Estima-se que 70% dos resíduos gerados nas praias brasileiras sejam de cascas de coco verde e que 80 a 85% do peso bruto do coco verde são representados pelas cascas, dando origem ao material residual oriundo do coco (ROSA *et al.*, 2001).

Assim como a madeira, há muito tempo o coco da baía (*C. nucifera*) também vem sendo objeto de estudo para a produção de carvão vegetal, sobretudo de carvão ativado. Mais recentemente, a preocupação com a preservação dos recursos naturais e a busca por sustentabilidade resultaram em pesquisas que comprovaram a possibilidade da utilização energética do endocarpo do coco da baía (*Cocos nucifera*). Desde então, o referido resíduo tem sido considerado uma das fontes de matéria-prima renovável mais promissoras para a produção de carvão vegetal (ANDRADE *et al.*, 2004). A queima direta ou a pirólise deste resíduo podem ser alternativas ecologicamente viáveis e positivas do ponto de vista ambiental. O seu aproveitamento poderia diminuir o acúmulo de lixo nas áreas urbanas, bem como gerar um combustível renovável de boa qualidade.

No Brasil, o gênero *Eucalyptus* tem sido capaz de suprir a demanda por matéria-prima para a produção de carvão vegetal. O bom desenvolvimento das espécies utilizadas, em decorrência, principalmente, da boa adaptação às condições edafo-climáticas, além do uso de modernas técnicas de manejo e de melhoramento florestal, contribuíram sobremaneira para o aumento da produtividade e melhorias na qualidade do carvão vegetal (BRITO, 1990). Além da origem da matéria-prima ser um fator determinante na sustentabilidade da produção do carvão vegetal, ela também influencia diretamente em seu produto final, uma vez que diferentes tipos de resíduos lignocelulósicos possuem diferentes propriedades e composições químicas, podendo gerar irregularidades na quantidade e na qualidade do carvão obtido. BRITO e BARRICHELO (1978), MARTINS (1980), por exemplo, associaram altos teores de lignina com a produção de um carvão vegetal com elevado rendimento em carbono fixo. Com isso, pode-se perceber a necessidade de estudos relacionados à matéria-prima, temperatura de

pirólise, tecnologia de produção, novas técnicas de ensaios, dentre outros fatores de extrema importância ligados à produção de carvão vegetal.

Este trabalho de pesquisa teve por objetivo produzir carvão vegetal do mesocarpo e do endocarpo do coco da baía (*Cocos nucifera*), sob as temperaturas de 400°C, 500°C e 600°C, bem como comparar os resultados obtidos com aqueles encontrados na literatura vigente, tratando da produção de carvão vegetal da madeira de eucalipto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Coco da Baía (*Cocos nucifera*)

O coqueiro é uma palmeira que possui estipe solitária e que pode atingir cerca de 30 metros de altura. Possui folhas grandes e pinadas que podem atingir 6 metros de comprimento, com inflorescência paniculada, seu fruto é uma drupa, formada por uma epiderme lisa ou epicarpo, que envolve o mesocarpo espesso e fibroso e logo abaixo uma camada muito dura (pétrea). Este fruto fica envolto numa casca externa esverdeada ou amarelada que, com o tempo, torna-se seca e amarronzada (FERREIRA *et al.*, 1998). Sua estrutura é formada basicamente pelo exocarpo (camada mais externa, uma espécie de película), mesocarpo (casca) que constitui a maior parte do fruto, endocarpo (parte mais dura) como sua camada mais interna e um albúmen líquido que vai aos poucos se tornando sólido (endosperma) em seu interior (FONTENELE, 2005).

Originário da Índia e pertencente à família Palmae, uma das mais importantes famílias da classe Monocotyledoneae, o coqueiro chegou ao Brasil vindo de Cabo Verde. Em meados de 1950 chegou ao Estado da Bahia, quando passou a receber o nome vulgar de “coco-da-baía”. Depois foi disseminado pelo litoral nordestino, especialmente por ser uma frutífera típica de clima tropical, onde encontrou condições favoráveis para o cultivo e, posteriormente, acabou se adaptando em outras regiões do país (CINTRA *et al.*, 2009). Apresentam um bom desenvolvimento em solos arenosos ou areno-argilosos, férteis, profundos e bem irrigados. Conseguem adaptar-se a salinidade do solo, sendo uma espécie com características bem rústicas e de rápido crescimento (COLOMBO *et al.*, 2006).

O coco verde e o coco seco podem ser obtidos durante todos os meses do ano, não existindo, portanto, uma estação climática definida para a colheita que é realizada normalmente em dois períodos de maturação, conforme sua finalidade ou mercado a que se destina. Mas é importante ressaltar que, além do mercado, o ponto ideal para a colheita do fruto está associado a indicadores relacionados à planta, ao fruto e às características de produção (ARAGÃO, 2002). Além disso, o coqueiro pode ser cultivado em sistemas agrosilvipastoris, ou seja, permite o consórcio com outras culturas e com a criação de animais, contribuindo com outras fontes de renda para o pequeno produtor (DA SILVA, 2014).

No Brasil a cocoicultura gera emprego e renda para mais de 500 mil pessoas envolvidas diretamente no processo, além dos inúmeros empregos indiretos gerados ao longo da cadeia produtiva, nos setores secundários e terciários da economia. Uma grande variedade de insumos pode ser produzida a partir de suas fibras, como produtos artesanais e industriais. Além disso, a água do coco da baía pode ser considerada uma bebida isotônica natural, reidratante e diurética (ASSIS *et al.*, 2000).

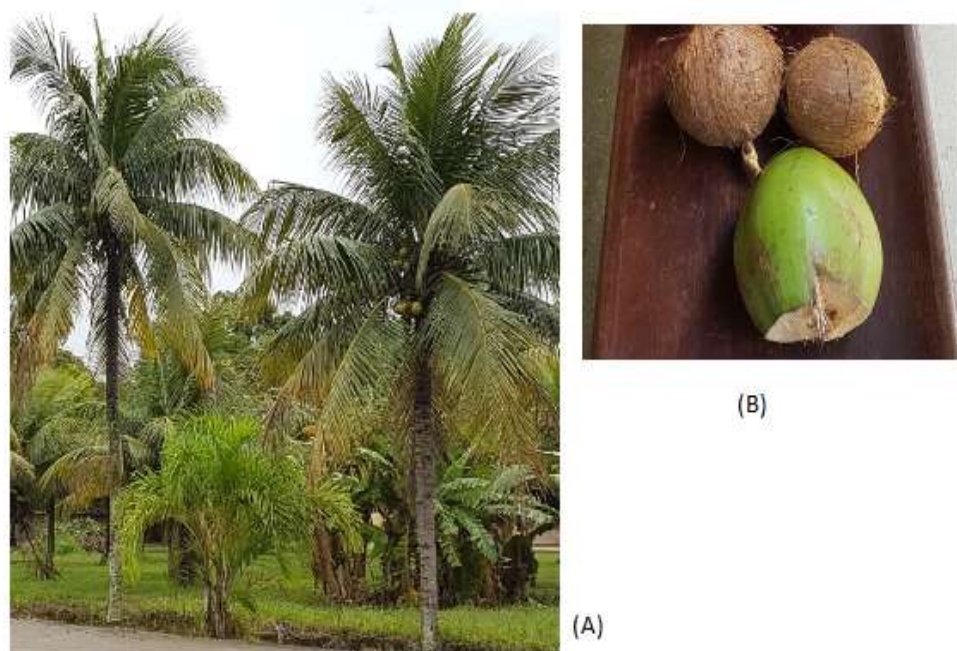


Figura 1. *Cocos nucifera*: Palmeiras (A); Frutos verde e maduro (B).

2.1.1 Mesocarpo

O mesocarpo encontra-se situado entre o epicarpo e o endocarpo, sendo constituído por uma fração de fibras curtas e longas e outra fração denominada pó, que se apresenta agregada às fibras (ROSA *et al.*, 2001).

A abundância em fibras na estrutura do mesocarpo resulta numa elevada relação C/N e num longo tempo de decomposição natural, entre 10 e 12 anos (CARRIJO *et al.*, 2002). Tais propriedades favorecem a sua utilização na produção de utensílios como vasos, mobiliários, cascos de embarcações, carga para concretagem, entre outros (SANTIAGO e SEVAN, 2007). Também é utilizado na forma de matéria-prima como agregados para a indústria química, farmacêutica e alimentícia ou para uso como substrato na agricultura (VAN DAM *et al.*, 2004). Além disso, as fibras longas do mesocarpo podem ser utilizadas na produção de diversos produtos como: mantas, tapetes vasos, colchões, peças para carros, vestimentas e outros produtos.

2.1.2 Endocarpo

O endocarpo é a parte dura do fruto do coco. Reveste o endosperma, o qual é inicialmente líquido e, com amadurecimento do fruto, vai tornando-se sólido de forma que, quando o fruto está completamente maduro, há pouca água em seu interior (Figura 2).

Quando o fruto não está maduro o endocarpo apresenta uma baixa consistência. À medida que o fruto vai amadurecendo ocorre o aumento da dureza e resistência ao ataque de fungos e a sua espessura pode variar de 2 a 6 mm. O endocarpo seco apresenta altos teores de lignina em sua composição, além de celulose e hemiceluloses em quantidades menores (SOBRINHO, 2017).

O Endocarpo pode ser comercializado para produção de carvão ativado, ou combustível, devido ao seu elevado poder calorífico (FERREIRA *et al.*,1998; ANDRADE *et al.*, 2004), sendo atualmente muito utilizado para revestimento de paredes e móveis na forma de pastilhas, como também em outros produtos ligados às atividades artesanais.



Figura 2. Mesocarpo e Endocarpo (*Cocos nucifera*). Fonte: BEZERRA, 2012.

2.2 Pirólise

A pirólise pode ser definida como a degradação térmica de qualquer material orgânico na ausência parcial ou total de um agente oxidante, ou até mesmo, em um ambiente com uma concentração de oxigênio capaz de evitar a gaseificação intensiva do material orgânico. A pirólise geralmente ocorre a uma temperatura que varia desde os 400°C até o início do regime de gaseificação intensiva.

A pirólise é um recurso que permite o aproveitamento de muitos tipos de resíduos, a fim de gerar energia elétrica ou térmica, como também óleo vegetal e sintético. É uma solução viável para a utilização de resíduos, recuperação de áreas destinadas a lixões, assim como em indústrias que possam reutilizar seus resíduos aproveitando a energia gerada e reduzindo custos com descarte. Devido à sua grande flexibilidade, o processo de pirólise é considerado uma das mais promissoras técnicas de conversão da biomassa, podendo ser orientado para a produção de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos (OLIVARES GOMEZ, 2002).

2.3 Carvão Vegetal

A madeira sempre foi utilizada como fonte de energia ao longo da história da humanidade. Recentemente, vem sendo uma das opções para a redução da utilização de combustíveis fósseis, principalmente por se tratar de uma fonte renovável.

O carvão vegetal, por sua vez, pode ser obtido por meio do processo de concentração do carbono da madeira (carbonização), em um ambiente com quantidades dosadas de oxigênio e passando por etapas que vão desde a secagem até a ampliação máxima da concentração de carbono. No decorrer do processo são liberados gases, líquido pirolenhoso e vapores de água, restando o carvão vegetal como “resíduo carbonoso”. O carvão é uma importante fonte de energia para o Brasil, país que mais produz e consome este combustível no mundo (RAAD *et al.*, 2006). Segundo BRITO (1990), o processo para a produção de carvão vegetal consiste na degradação parcial da madeira, aplicando calor de forma controlada, utilizando-se fonte autotérmica (aquecimento próprio) ou alotérmica (aquecimento via energia elétrica ou outros combustíveis). O Sistema com fonte externa de energia resulta em rendimentos maiores, uma vez que, teoricamente, não provoca a deterioração de parte da madeira por combustão total.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta do Material

Os frutos para a presente pesquisa (*Cocos nucifera*) foram obtidos em um povoamento de coqueiros anão, com três anos de idade, no Bairro de Piranema, no município de Seropédica, RJ. O espaçamento entre os coqueiros era de 6 x 6 metros, ou seja, uma área total de 36 m² para cada planta.



Figura 3. Plantio de coco (*Cocos nucifera*) no qual foram coletados os frutos utilizados na pesquisa.

3.2 Preparação do Material no Laboratório

Utilizando-se facão, os frutos foram descascados para a separação do mesocarpo e endocarpo. O mesocarpo foi cortado em tiras com a largura de, aproximadamente, 6 cm e comprimento de acordo com a extensão longitudinal do coco. A parte líquida e a polpa foram retiradas do interior do endocarpo e o mesmo foi fragmentado em pedaços menores utilizando-se um martelo (Figura 4). As amostras foram secas por 48 horas em uma estufa com a temperatura regulada a 105°C ± 3°C para, na sequência, serem carbonizadas.

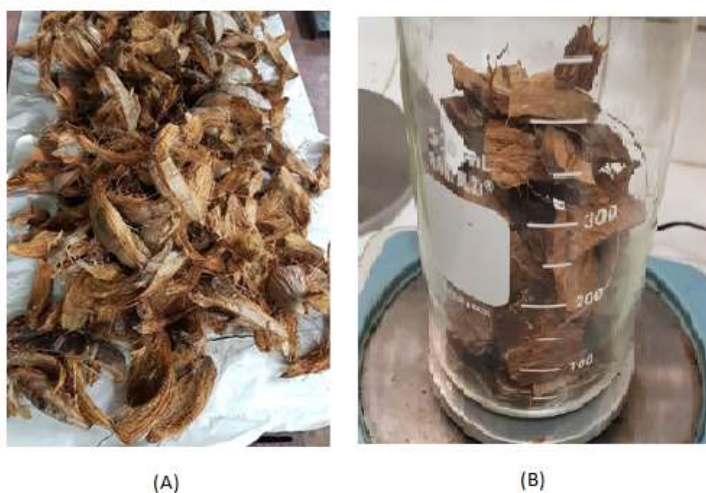


Figura 4. Mesocarpo (A) e Endocarpo (B) do coco da baía (*Cocos nucifera*) preparados para o processo de carbonização.

3.3 Carbonização

As carbonizações foram realizadas em um forno elétrico do tipo mufla, modelo Linn Elektro Therm, no Laboratório de Energia da Madeira da UFRRJ, no Campus de Seropédica, RJ. As temperaturas máximas utilizadas foram: 400°C, 500°C e 600°C. O controle do aquecimento foi efetuado por intermédio da utilização de uma das programações disponíveis na própria mufla, observadas num timer digital. Os materiais à serem carbonizados foram previamente acondicionados dentro de uma panela de aço inoxidável de 6 litros que, por sua vez, foi acoplada a um sistema de exaustão dos gases e vapores instalado no interior do forno mufla. Para todos os tratamentos adotou-se o ritmo de aquecimento de 5°C por minuto, até que fossem atingidas as respectivas temperaturas máximas de pirólise, partindo-se da temperatura ambiente. Para se evitar a oxidação dos carvões produzidos, utilizou-se o tempo de resfriamento em sistema hermeticamente fechado de 30 minutos, com o recipiente metálico fora da mufla (Figura 5). Foram analisados seis tratamentos, representados por três diferentes temperaturas máximas de pirólise (400, 500 e 600°C) e duas regiões distintas do coco da baía (mesocarpo e endocarpo).

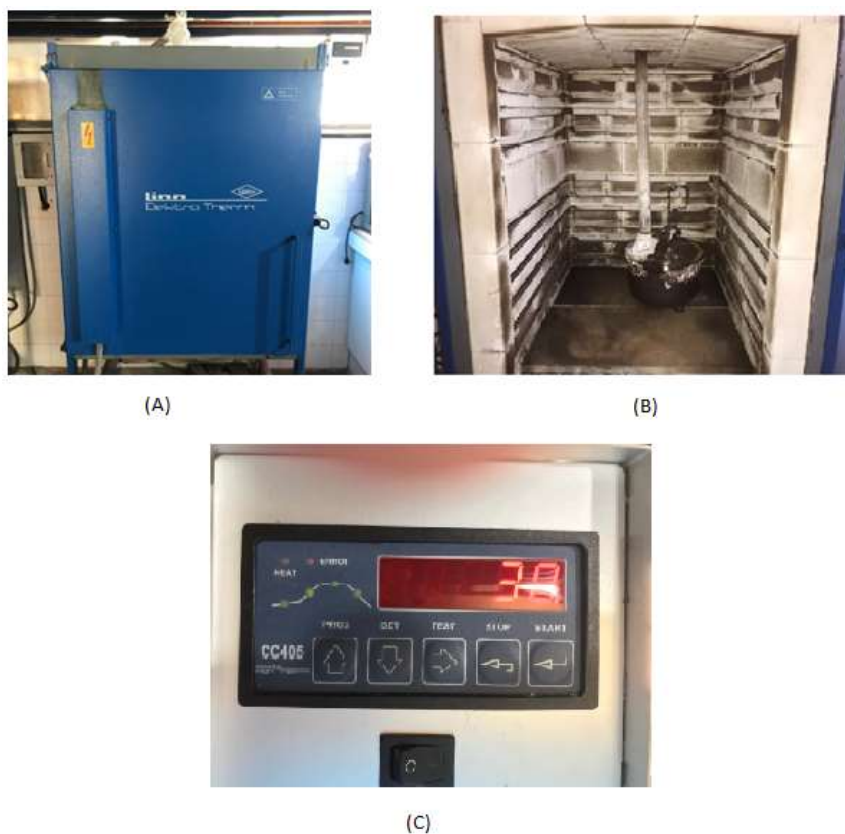


Figura 5. Forno mufla (A), recipiente metálico instalado no interior do forno (B) e sistema de programação do ritmo de carbonização (C).

3.4 Análise Química Imediata do Carvão

Por meio da análise química imediata do carvão vegetal foi possível a determinação dos teores de matérias voláteis, cinza e carbono fixo, de acordo com a Norma ASTM D - 1762-64 (Figura 6).

3.4.1 Teores de Materiais Voláteis no Carvão

Passos para a determinação dos teores de materiais voláteis no carvão:

- Macerar amostras do carvão vegetal, utilizando um macerador e um pistilo de porcelana;
- Peneirar a moinha do carvão vegetal, utilizando duas peneiras classificatórias, sendo a superior de 40 mesh e a inferior de 60 mesh;
- Utilizar a fração de carvão vegetal que atravessou a peneira de 40 mesh e ficou retida na peneira de 60 mesh;
- Conduzir a amostra de carvão vegetal para uma estufa regulada a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, dentro de um becker de 100 ml (destampado), onde permanecerá por um período de aproximadamente 24 horas;
- Pesar 1,0 grama da amostra de carvão vegetal dentro de um cadinho de porcelana, previamente pesado;
- Tampar o cadinho e conduzi-lo para uma mufla regulada a $950 \pm 10^\circ\text{C}$, onde permanecerá por 2 minutos sobre a porta aberta, por 3 minutos na borda da mufla e por 6 minutos no interior da mufla (com a porta fechada);
- Retirar o cadinho da mufla, deixar esfriar num dessecador com sílica e pesar numa balança analítica (sem a tampa); e,
- Calcular o teor de matérias voláteis no carvão vegetal utilizando a fórmula:

$$MV = (1 - PA) \times 100$$

Sendo: MV = teor de materiais voláteis (%) e PA = peso da amostra de carvão vegetal após a passagem pela mufla regulada a $950 \pm 10^\circ\text{C}$ (g).

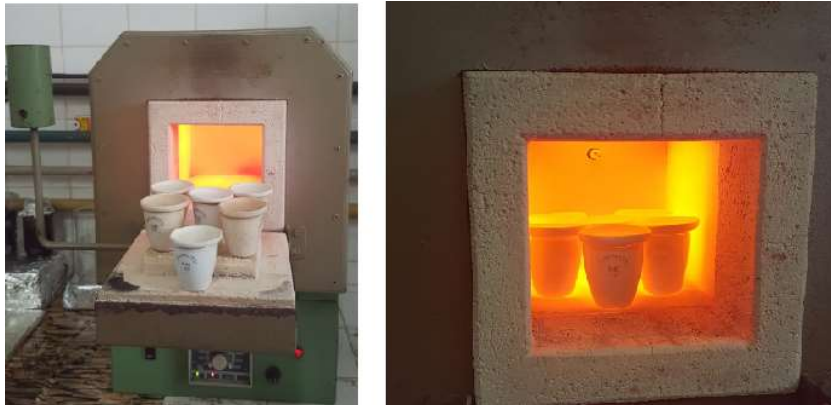


Figura 6. Amostras de carvão vegetal sendo submetidas à análise química imediata.

3.4.2 Teores de Cinza no Carvão

Passos para a determinação dos teores de cinza no carvão:

- Conduzir a mesma amostra de carvão vegetal utilizada no item anterior (carvão desvolatilizado), dentro do mesmo cadinho previamente tarado (sem a tampa), para o interior de uma mufla regulada a $750 \pm 10^\circ\text{C}$, com a porta fechada, onde permanecerá por um período de 6 horas;

- Retirar o cadinho da mufla, deixar esfriar num dessecador com sílica e pesar em balança analítica; e,
- Calcular o teor de cinza no carvão vegetal, utilizando a seguinte fórmula:

$$CZ = PR \times 100$$

Sendo: CZ = teor de cinza (%) e PR = peso do resíduo no interior do cadinho (g).

3.4.3 Teor de Carbono Fixo no Carvão

Passos para a determinação dos teores de carbono fixo no carvão:

Foi utilizada a seguinte fórmula:

$$CF = 100\% - (MV + CZ)$$

Sendo: CF = teor de carbono fixo no carvão vegetal (%), MV = teor de materiais voláteis no carvão vegetal (%) e CZ = teor de cinza no carvão vegetal (%).

3.5 Análise dos Dados

Os dados obtidos foram submetidos a algumas análises básicas, chegando-se ao conhecimento, por exemplo, das médias aritméticas, desvios padrões e coeficientes de variação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os rendimentos médios em carvão vegetal, observados a partir da carbonização do mesocarpo e endocarpo do coco (*Cocos nucifera*), sob as temperaturas máximas de 400, 500 e 600°C.

Tabela 1: Rendimentos médios em carvão vegetal, observados a partir da carbonização do mesocarpo e endocarpo do coco da baía (*Cocus nucifera*), sob as temperaturas máximas de 400, 500 e 600 °C

MESOCARPO			
Temperatura Máxima (°C)	Amostra. (g)	Carvão Vegetal (g)	Rendimento em Carvão Vegetal (%)
400 (T1)	258,75	111,05	42,90
500 (T2)	324,75	125,90	38,77
600 (T3)	318,05	93,95	29,54
Média			37,07
ENDOCARPO			
Temperatura Máxima (°C)	Carga a.s. (g)	Carvão Vegetal (g)	Rendimento em Carvão Vegetal (%)
400 (T4)	129,51	44,42	34,30
500 (T5)	197,73	65,58	33,17
600 (T6)	165,08	53,00	32,11
Média			33,19

Pela observação dos valores apresentados na Tabela 1, entre os seis tratamentos analisados, os maiores rendimentos (em termos absolutos) foram apresentados pelo carvão vegetal derivado do mesocarpo, às temperaturas máximas de 400 e 500°C. À temperatura máxima de 600 °C o maior rendimento em carvão vegetal foi apresentado pelo endocarpo. Constatou-se, entre os tratamentos relacionados tanto ao mesocarpo como ao endocarpo que, em resposta ao aumento da temperatura máxima de carbonização, ocorre a redução do rendimento em carvão vegetal. Isto se deve ao aumento na liberação de materiais voláteis à medida em que se eleva a temperatura máxima de carbonização, resultando em carvões menos densos e mais porosos. Desta forma, carvões produzidos sob a ação de altas temperaturas tendem a apresentar menores teores de matérias voláteis, o que pode ser constatado a partir de ensaios químicos do carvão vegetal. Noutra direção, ANDRADE (1989 e 1993) salienta que a cinza pode ocasionar aumentos nos rendimentos em carvão vegetal, uma vez que funciona como um agente ignífugo, uma espécie de redutor do processo de deterioração térmica durante a pirólise de materiais orgânicos. Sendo assim, altos teores de cinza na matéria-prima podem resultar em elevados rendimentos em carvão vegetal. Daí surge a explicação para o aumento de 11,69% no rendimento médio em carvão vegetal do mesocarpo quando comparado com o endocarpo, sem considerar as diferentes temperaturas máximas de pirólise (37,07% e 33,19%, respectivamente). Para permitir a continuidade da presente discussão, foi elaborada a Tabela 2, que apresenta os valores médios dos teores de matérias voláteis, cinza e carbono fixo no carvão vegetal, observados após a análise química imediata dos carvões derivados do mesocarpo e do endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*).

Tabela 2: Valores médios dos teores de matérias voláteis, cinza e carbono fixo, observados após a análise química imediata do carvão vegetal do coco da baía (*C. nucifera*)

Trat.	Rep.	Tara	Amostra (g)	Após 950°C (g)	Após 750°C (g)	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)
MESOCARPO								
T1	1	25,82	1,00	26,35	25,86	46,90	4,30	48,80
	2	26,42	1,00	27,08	26,47	33,37	5,29	61,34
	3	25,02	1,00	25,71	25,07	31,87	4,98	63,15
Média						37,38	4,86	57,76
T2	1	24,67	1,00	25,22	24,73	45,93	5,67	48,41
	2	24,70	1,00	25,45	24,76	24,70	6,50	68,80
	3	26,45	1,00	27,19	26,51	25,72	6,18	68,09
Média						32,12	6,12	61,77
T3	1	26,40	1,00	27,19	26,47	21,00	7,10	71,90
	2	24,97	1,00	25,78	25,05	19,70	8,06	72,24
	3	25,45	1,00	25,54	24,83	21,08	7,79	71,13
Média						20,59	7,65	71,76
ENDOCARPO								
T4	1	24,97	1,00	26,92	26,24	31,00	0,90	68,10
	2	23,08	1,00	23,77	23,10	32,28	2,18	65,54
	3	23,10	1,00	23,80	23,12	30,07	1,50	68,43
Média						31,12	1,53	67,36
T5	1	24,97	1,00	25,72	24,98	25,00	0,80	74,20
	2	26,23	1,00	27,01	26,26	23,13	2,29	74,58
	3	26,25	1,00	27,04	26,27	21,78	1,60	76,62
Média						23,30	1,56	75,13
T6	1	23,07	1,00	23,96	23,09	12,42	1,49	86,09
	2	25,85	1,00	26,75	25,88	10,79	2,80	86,41
	3	25,88	1,00	26,76	25,90	11,70	1,90	86,40
Média						11,64	2,06	86,30

Onde: TMV = Teor de Materiais Voláteis; TCZ: Teor de Cinza; TCF: Teor de Carbono Fixo.

Pela observação da Tabela 2 percebe-se que, para os seis tratamentos analisados, os teores de matérias voláteis nos carvões vegetais diminuem à medida que se aumenta a temperatura máxima de carbonização, tanto para o mesocarpo como para o endocarpo. Isto

ocorre devido ao maior tempo de exposição a altas temperaturas durante a produção do carvão vegetal. Desta forma, à medida em que se incrementa a temperatura máxima de carbonização ocorre, paralelamente, a crescente liberação de gases e vapores do carvão vegetal.

Em relação aos teores médios de cinza, ao considerar-se, por exemplo, a temperatura máxima de 600°C, o carvão vegetal do mesocarpo apresentou um valor médio 271,36% maior do que aquele apresentado pelo endocarpo (7,65% e 2,06%, respectivamente). Para ANDRADE et al. (2004), os maiores teores médios de cinza do mesocarpo se relacionam à existência de maiores teores de sílica não só na periferia do fruto (*C. nucifera*), mas também incrustando as fibras do mesocarpo.

À medida que se aumentou a temperatura máxima de carbonização foram percebidos aumentos nos teores médios de carbono fixo do carvão vegetal, tanto para o mesocarpo como para o endocarpo. Todavia, os maiores teores médios de carbono fixo foram apresentados pelo carvão do endocarpo, que chegou a atingir o valor médio de 86,30%, à temperatura máxima de 600°C, valor 20,26% maior do que aquele apresentado pelo carvão do mesocarpo produzido à mesma temperatura máxima (71,76%). Em conformidade com as afirmações de ANDRADE (1989 e 1993), isto pode ter ocorrido devido aos maiores teores médios de cinza apresentados pelo carvão do mesocarpo que, apesar de terem proporcionado maiores rendimentos em carvão vegetal, também podem ter reduzido significativamente os teores de carbono fixo, em função da presença das altas concentrações de elementos inorgânicos na estrutura do carvão vegetal.

Os teores médios de carbono fixo, cinza e materiais voláteis encontrados para *Eucalyptus* sp. por Soares et al. (2015) foram, respectivamente, de 78,39%, 1,53% e 20,08%. Portanto, o teor médio de carbono fixo foi menor que a média apresentada pelo carvão do endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*), produzido à temperatura máxima de 600°C (86,30%). Barcellos (2007) observou o valor médio de 72,79% de carbono fixo para *E. camaldulensis*, também menor que o apresentado pelo endocarpo à temperatura de 600°C (86,30%) e próximo daquele apresentado pelo mesocarpo à 600°C (71,76%). Arruda (2008), utilizando temperaturas de carbonização acima de 600°C, observou, para *Eucalyptus* spp, valores diferentes, de 90,75% para carbono fixo, 6,75% para materiais voláteis e 2,50% para cinza. Mesmo assim, ainda próximos dos valores apresentados pelo carvão do endocarpo do coco (*C. nucifera*), produzido à temperatura máxima de 600°C.

Para facilitar a comparação entre os resultados relacionados apenas às duas regiões do fruto (*C. nucifera*), carbonizadas separadamente (mesocarpo e endocarpo), foram consideradas as médias das três diferentes temperaturas máximas simultaneamente. Desta forma, foi elaborada a Tabela 3, que apresenta os resultados médios provenientes da análise química imediata dos carvões vegetais do mesocarpo e do endocarpo.

Tabela 3: Valores médios observados a partir da análise química imediata dos carvões vegetais do mesocarpo e do endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*)

Parâmetros	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)
	MESOCARPO		
Média (%)	30,03	6,21	63,76
DP	7,01	1,14	5,88
CV (%)	23,34	18,36	9,22
	ENDOCARPO		
Média (%)	22,02	1,71	76,26
DP	8,00	0,24	7,77
CV (%)	36,33	14,04	10,19

Onde: DP = Desvio Padrão, CV = Coeficiente de Variação, TMV = Teor de Matérias Voláteis no Carvão Vegetal, TCZ = Teor de Cinza no Carvão Vegetal e TCF = Teor de Carbono Fixo no Carvão Vegetal.

Na Tabela 3, quando são desconsiderados os efeitos das temperaturas máximas de pirólise, ou seja, considerando-se apenas as duas regiões carbonizadas (mesocarpo e endocarpo), percebe-se que o teor médio de matérias voláteis no carvão do mesocarpo (30,03%) é 36,38% maior do que aquele apresentado pelo carvão do endocarpo (22,02%). Isto se deve, segundo ANDRADE et al. (2004), a uma menor translocação de gases aquecidos no mesocarpo durante o processo de carbonização (produção do carvão vegetal), em função da presença de maiores teores de cinza nesta região, diminuindo a volatilização dos gases e vapores. Assim sendo, tais materiais voláteis permaneceram na estrutura do carvão vegetal, até serem expelidos no decorrer da análise química imediata, sob os efeitos da temperatura analítica de 950°C.

Em relação aos teores médios de cinza, o carvão vegetal derivado do mesocarpo apresentou um valor 263,16% maior do que aquele apresentado pelo carvão vegetal do endocarpo (6,21% e 1,71%, respectivamente). Conforme discutido anteriormente, tendo por base os resultados de uma pesquisa desenvolvida por ANDRADE et al. (2004), isto decorre da maior concentração de elementos inorgânicos, principalmente de sais de sílica, presentes na periferia do fruto e incrustando as fibras do mesocarpo.

De acordo com os resultados obtidos por MARTINS (1980) e ANDRADE et al. (2004), três fatores importantes podem ter conduzido ao maior teor médio de carbono fixo observado no carvão vegetal do endocarpo: 1º) O menor teor médio de matérias voláteis verificado no referido carvão vegetal, 2º) O menor teor médio de cinza também observado neste carvão vegetal e 3º) O maior teor de lignina, constituinte químico de alta resistência térmica e elevada concentração de carbono, normalmente observado na região do endocarpo. Como o teor de carbono fixo do carvão vegetal é calculado pelo uso da fórmula “{Teor de Carbono Fixo (TCF) = 100% - [(Teor de Matérias Voláteis (TMV) + Teor de Cinza (TCZ)]}”, há de se esperar aumentos na primeira variável (TCF), decorrentes de reduções nas outras duas (TMV e TCZ).

Os dados sintetizados pela tabela 3 demonstram que os teores de materiais voláteis, de cinza e de carbono fixo do carvão vegetal, produzido do endocarpo, são mais próximos aos valores observados na literatura vigente para a madeira de eucalipto (BRITO e BARRICHELO, 1977; BRITO, 1983; DOS SANTOS *et al.*, 2012), quando comparado ao carvão vegetal do mesocarpo. Vale salientar que as exigências em relação ao carvão vegetal estão diretamente associadas à sua finalidade. De acordo com BRITO (1993), as indústrias siderúrgicas, normalmente, têm optado por um carvão vegetal com alto teor de carbono fixo e baixo teor de materiais voláteis. Espera-se, com isso, a diminuição das fissuras decorrentes da eliminação dos voláteis durante o aquecimento, evitando-se a redução da granulometria média e a geração de finos no alto forno siderúrgico. Todavia, para DIAS JÚNIOR et al. (2014 e 2017), altos teores de materiais voláteis no carvão vegetal são essenciais e imprescindíveis quando há necessidade da presença de chamas e labaredas, como no processo de combustão em fornalhas de caldeiras e secadores de grãos. A Tabela 4 apresenta os valores médios dos rendimentos em carbono fixo, após as análises de rendimento gravimétrico e química imediata dos carvões vegetais do mesocarpo e do endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*).

Na Tabela 4, os rendimentos em carvão vegetal e os teores de carbono fixo são reapresentados apenas com o intuito de esclarecer a origem dos valores dos rendimentos em carbono fixo. Há de salientar que as duas primeiras variáveis já foram apreciadas e discutidas anteriormente. Com relação ao rendimento em carbono fixo, pode-se afirmar que é o principal parâmetro a ser considerado em análises termogravimétricas de qualquer material lignocelulósico para fins energéticos. Isto porque o rendimento em carbono fixo deriva, simultaneamente, de parâmetros de produtividade (rendimento em carvão vegetal) e de qualidade do carvão vegetal (teor de carbono fixo), correspondendo ao produto do Rendimento em Carvão Vegetal e do Teor de Carbono Fixo (ANDRADE, 1989 e 1993).

Tabela 4: Rendimentos médios em carbono fixo dos carvões do mesocarpo e do endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*)

Tratamento	Rendimento em Carvão Vegetal (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	Rendimento em Carbono Fixo (%)
MESOCARPO			
T1 (400°C)	42,90	57,76	24,78
T2 (500°C)	38,77	61,77	23,95
T3 (600°C)	29,54	71,76	21,19
Média	37,07	63,76	23,31
ENDOCARPO			
T1 (400°C)	34,30	67,36	23,10
T2 (500°C)	33,17	75,13	24,92
T3 (600°C)	32,11	86,30	27,71
Média	33,19	76,26	25,24

A desconsideração momentânea dos efeitos da temperatura máxima de pirólise e a comparação dos rendimentos médios em carbono fixo dos carvões vegetais do mesocarpo e do endocarpo (Tabela 4) permitiram o estabelecimento de importantes inferências, como as apresentadas a seguir:

1^a) Apesar do rendimento médio em carvão vegetal do mesocarpo ter se apresentado 11,69% maior do que aquele apresentado pelo endocarpo (37,07% e 33,19%, respectivamente), o teor de carbono fixo médio bem superior do carvão do endocarpo acabou alavancando o seu rendimento em carbono fixo para cima. No caso dos teores de carbono fixo médios dos carvões, o valor apresentado pelo carvão vegetal do endocarpo (76,26%) foi 19,60% superior àquele apresentado pelo carvão vegetal do mesocarpo (63,76%);

2^a) O carvão vegetal do endocarpo apresentou um valor médio para o rendimento em carbono fixo 8,28% maior do que o valor médio apresentado pelo carvão vegetal do mesocarpo (25,24% e 23,31%, respectivamente). Todavia, ambos os valores médios se apresentaram próximos ao valor médio de 24,00%, observado por ANDRADE (1989, 1993), analisando carvões vegetais produzidos a partir da madeira de *Eucalyptus grandis*, pirolisada à temperatura máxima de 450°C;

3^a) Numericamente, a diferença de 8,28% pode parecer pequena mas, na prática, é muito significativa, uma vez que se refere ao elemento carbono na sua forma pura. A título de ilustração, no caso do coco da baía (*C. nucifera*), tomando-se por base a diferença percentual observada (8,28%), para o fornecimento de 100 kg de carbono puro haveria a necessidade de 396,20 kg de carvão vegetal a.s. de endocarpo ou de 429,00 kg de carvão vegetal a.s. de mesocarpo;

4^a) Na estrutura química do carvão vegetal do coco da baía (*C. nucifera*), ou de qualquer outro combustível renovável, o carbono elementar (C) é a base que irá constituir o “esqueleto carbonoso” que, por sua vez, em associação com os comburentes, resultará nos compostos geradores de energia (térmica, calorífica, luminosa, cinética, mecânica, motriz, etc.). Em função das condições de uso o carvão vegetal também poderá liberar gases inflamáveis importantes, como o CH₄ (metano), C₂H₆ (etano), C₃H₈ (propano), C₄H₁₀ (butano) e CO (monóxido de carbono), todos baseados no carbono elementar; e,

5^a) Normalmente, não é interessante a grande produção de um carvão vegetal de baixa qualidade (neste caso, entenda-se: carvão com um altíssimo rendimento gravimétrico). Também não é viável a baixa produção de um carvão vegetal de alta qualidade (neste caso, entenda-se: carvão com um altíssimo teor de carbono fixo). Há, portanto, no caso do carvão

vegetal, de se buscar o equilíbrio, ou seja, a obtenção de uma boa produtividade consorciada a uma boa qualidade. De qualquer forma, por abranger aspectos quantitativos e qualitativos do carvão vegetal, o rendimento em carbono fixo sempre será o “fiel da balança”, que irá indicar o estado ideal.

5. CONCLUSÕES

Tendo por base os resultados observados no decorrer da pesquisa pode-se concluir que:

Sob as temperaturas máximas de 400 e 500°C, a pirólise do mesocarpo do coco da baía (*C. nucifera*) resulta em maiores rendimentos em carvão vegetal, quando comparado com o endocarpo;

Os incrementos observados na volatilização de gases e vapores do carvão vegetal, à medida que são aumentadas as temperaturas de pirólise, são acompanhados por reduções nos rendimentos em carvão vegetal. Isto se aplica tanto para o mesocarpo como para o endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*);

Os teores mais elevados de cinza, observados no carvão vegetal derivado do mesocarpo do coco da baía (*C. nucifera*), podem ter contribuído para a elevação do rendimento gravimétrico deste carvão;

Os teores de matérias voláteis nos carvões vegetais, observados após a análise química imediata, diminuíram à medida em que se aumentou a temperatura máxima de pirólise, tanto para o mesocarpo como para o endocarpo. Isto, provavelmente, se deve à maior volatilização dos gases e vapores durante a produção do carvão vegetal, em resposta aos aumentos nas temperaturas;

Maiores teores médios de cinza foram apresentados pelos carvões derivados do mesocarpo, quando comparados com aqueles derivados do endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*). Tais resultados, possivelmente, estejam vinculados aos maiores teores de elementos inorgânicos observados na região do mesocarpo, principalmente de sílica;

Maiores teores médios de carbono fixo foram apresentados pelos carvões derivados do endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*). Estes valores se devem, principalmente, aos menores teores de voláteis e de cinza observados no carvão vegetal do endocarpo, quando comparado com o carvão vegetal do mesocarpo;

À medida que se aumenta a temperatura máxima de pirólise são percebidos aumentos nos teores médios de carbono fixo nos carvões do mesocarpo e do endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*);

O rendimento em carbono fixo médio apresentado pelo carvão vegetal do endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*) foi superior àquele apresentado pelo carvão vegetal do mesocarpo, o que torna o primeiro mais interessante sob o ponto de vista energético;

Apesar do rendimento médio em carvão vegetal do mesocarpo ter sido maior do que aquele apresentado pelo carvão vegetal do endocarpo, o teor de carbono fixo médio do segundo carvão foi bem superior e acabou alavancando o seu rendimento em carbono fixo para cima;

Os rendimentos médios em carbono fixo apresentados pelos carvões do mesocarpo e do endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*) se equiparam, de acordo com a literatura vigente, àqueles apresentados pelo carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*;

Em aplicações nas quais não sejam necessárias labaredas (fogões, fornos de padarias e pizzarias, aquecimento de ambientes, churrasqueiras, dentre outras), é recomendável o uso do carvão vegetal derivado do endocarpo do coco da baía (*C. nucifera*), em função do maior teor de carbono fixo e menores teores de voláteis e cinza; e,

Em aplicações nas quais sejam necessárias labaredas, com a presença de grandes línguas de fogo (geração de vapor, secagem de grãos, aquecimento de tubos de exaustão, estufas, serpentinas de aquecimento de água, dentre outras), é recomendável o uso do carvão vegetal derivado do mesocarpo do coco da baía (*C. nucifera*), em função do maior teor de matérias voláteis, aceitável teor de cinza e satisfatório teor de carbono fixo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-1762-64, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.

ANDRADE, A.M. de. Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto. 1993. 105 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

ANDRADE, A.M.de. Influência da casca de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden no rendimento e qualidade de carvão vegetal. 1989. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.

ANDRADE, A. M. de; PASSOS, P. R. A.; MARQUES, L. G.; OLIVEIRA, L. B.; VIDAURRE, G. B.; ROCHA, J. D. S. Pirólise de resíduos do coco-da-baía (*Cocus nucifera* Linn) e análise do carvão vegetal. Revista árvore, v. 28, n. 5, p. 707-714, 2004.

ARAGÃO, W. M. Colheita e pós-colheita do coco. In: Sistema de produção para a cultura do coqueiro. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 63p. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br>

ASSIS, J.S., RESENDE, J.M., SILVA, F.O.E., SANTOS, C.R., NUNES, F. Técnicas para colheita e Pós-colheita do coco verde. Comunicado Técnico 95. Embrapa Semiárido. Petrolina. Dezembro, 2000. P.1-6.

BEZERRA, A. F. Carvão ativado de endocarpo de Coco da Baía produzido em forno micro-ondas. 2012. 103f. (Mestrado em Engenharia Urbana Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa

BRAINER, M. S. C. P. Produção de coco: O Nordeste é destaque nacional. Revista Banco do Nordeste – ETENE, ano 3, n. 61, 2018

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Características do Eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. IPEF, Piracicaba, (16): 63-70, 1978.

BRITO, J. O. Carvão vegetal no Brasil: gestões econômicas e ambientais. Estudos avançados, v. 4, n. 9, p. 221-227, 1990.

BRITO, J. O. Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. IPEF, Piracicaba, v. 23, p. 53-56, 1983.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. IPEF, Piracicaba, v. 14, n. 14, p. 9-20, 1977.

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.

CINTRA, F. L. D.; FONTES, H. R.; PASSOS, E. E. M. (Ed.). Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no nordeste do Brasil. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 232 p. p. 37-60

COLOMBO, S.F.O.; PIMENTA, A.S.; HATAKEYAMA, K. Produção de carvão vegetal em fornos cilíndricos verticais: um modelo sustentável. 2006. XIII SIMPEP - Bauru, SP, 2006

DA SILVA, A. C. Reaproveitamento da casca de coco verde. Revista Monografias Ambientais, v. 13, n. 5, p. 4077-4086, 2014.

DIAS JUNIOR, A. F.; ANUTO, R. B.; ANDRADE, C. R.; SOUZA, N. D. D.; TAKESHITA, S.; BRITO, J. O; NOLASCO, A. (2017). Influence of Eucalyptus wood addition to urban wood waste during combustion. Cerne, 23(4), 455-464.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, A. M. de; COSTA JÚNIOR, D. S. Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 34, n. 79, p. 225-234, 2014.

DOS SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M.; CARVALHO, A. M. M. L. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. Cerne, v. 18, n. 1, p. 143-151, 2012.

EHLERS, E. O que é agricultura sustentável. Brasiliense, 2017.

FERREIRA, J.M.S.; WARWICK, D.R.N.; SIQUEIRA, L.A. A cultura do coqueiro no Brasil. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1998. 292 p.

FONTENELE, R. E. S. Cultura do coco no Brasil: Caracterização do mercado atual e perspectivas futuras. In: XLIII CONGRESSO DA SOBER. 2005. Ribeirão Preto. Pôster. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/2/168.pdf>.

IBGE. (2017). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA. Brasília. Disponível em: < www.ibge.gov.br > Acesso em: 20 março 2021.

KIELING, A. G. Adsorção de btex – benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno – em cinza de casca de arroz e carvão ativado. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 24-25, 2016.

MARTINS, H. Madeira como fonte de energia. In: FUNDAÇÃO CETEC. Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte, 1980. p.9-26.

OLIVARES GOMEZ, E. Estudo da pirólise rápida de capim elefante em leito fluidizado borbulhante mediante caracterização dos finos de carvão. 2002. 366p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, SP.

RAAD, T. J.; PINHEIRO, P. C. C.; YOSHIDA, M. I. Cinética de Carbonização da Madeira – Teoria e Prática. In: Seminário: prática, logística, gerenciamento e estratégias para o sucesso da conservação da matéria lenhosa em carvão vegetal para o uso em metalurgia e indústria, 2006, Belo Horizonte, MG. Anais. Belo Horizonte: RSConsultants, 2006. v. 1. p. 88 - 125.

ROSA, M. F.; ABREU, F. A. P.; FURTADO, A. A. L.; BRÍGIDO, A. K. L.; NORÕES, E. R. V. Processo agroindustrial: obtenção de pó de casca de coco verde. Fortaleza: EMBRAPA, 2001.

SANTIAGO, B. H.; SEVAN, C. V. P. Tratamento superficial da fibra do coco: estudo de caso baseado numa alternativa econômica para fabricação de materiais compósitos. Rev. Analytical. 26(1):42-45.2007.

SOBRINHO, F. A. A. F. Poliuretanos à base de lignina do endocarpo do coco seco como potencial sistema de liberação controlada de fertilizantes 2017. 161 f. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza

VAN DAM, J.E.G.; VAN DEN OEVER, M.J.A.; KEIJERS, E.R.P. Production process for high density high performance binderless boards from whole coconut husk. Industrial crops and products.v.20, p.97-101, 2004.