

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
MESTRADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ALICE NERI DA SILVA SOUSA

**BIOENERGIA EM POPULAÇÕES TRADICIONAIS DA AMAZÔNIA: BIOMASSA
RESIDUAL DOS FRUTOS E CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE *Attalea tessmannii*
(COCÃO) Burret**

LAGES

2022

ALICE NERI DA SILVA SOUSA

**BIOENERGIA EM POPULAÇÕES TRADICIONAIS DA AMAZÔNIA: BIOMASSA
RESIDUAL DOS FRUTOS E CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE *Attalea tessmannii*
(COCÃO) Burret**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal, área de concentração de Tecnologia de Produtos Florestais.

Orientadora: Prof^ª Dra. Martha Andreia Brand
Coorientadora: Prof^ª Dra. Keiti Roseani
Mendes Pereira

LAGES

2022

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

SOUSA, ALICE
BIOENERGIA EM POPULAÇÕES TRADICIONAIS DA
AMAZÔNIA : BIOMASSA RESIDUAL DOS FRUTOS E
CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE *Attalea tessmannii* (COCÃO)
Burret / ALICE SOUSA. -- 2022.
60 p.

Orientadora: MARTHA A. BRAND
Coorientadora: KEITI R. M. PEREIRA
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2022.

1. extrativismo. 2. palmeiras. 3. Amazônia brasileira. 4. queima
direta. 5. pirólise. I. BRAND, MARTHA A.. II. PEREIRA, KEITI
R. M.. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal. IV. Título.

ALICE NERI DA SILVA SOUSA

BIOENERGIA EM POPULAÇÕES TRADICIONAIS DA AMAZÔNIA: BIOMASSA RESIDUAL DOS FRUTOS E CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE *Attalea tessmannii* Burret (COCÃO)

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr.ª Martha Andreia Brand
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membros:



Dr. Anamias Francisco Dias Júnior Universidade
Federal do Espírito Santo



Dr. Thiago de Paula Protásio
Universidade Federal Rural da Amazônia

Lages, 29 de julho de 2022

DEDICATÓRIA

Á Deus, minha família e amigos que sempre me incentivam e me apoiam nesta jornada

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma me incentivaram e apoiaram a concluir mais esta etapa da minha vida.

Agradeço aos meus pais, por terem estado comigo durante todo este tempo, me ajudando e dando força para a minha formação. Que foram meu alicerce, presente em muitos momentos desta trajetória, sempre orientando o melhor caminho a seguir, com muita confiança e compreensão. Além de sempre me incentivarem a seguir o caminho acadêmico ainda que seja difícil.

Ao meu marido, que tanto me faz bem, que me incentivou e deu suporte para a concretização deste objetivo, com muita paciência, amor e dedicação, sem ele nada disso seria possível.

A minha orientadora Martha Andreia Brand, na qual admiro e agradeço por toda ajuda nestes dois anos incríveis de mestrado, sua inteligência, empatia e determinação só me deram forças a continuar. Sendo um exemplo de docente a ser seguido e que me inspira muito enquanto profissional e mulher.

Também gostaria de agradecer a minha co-orientadora Keiti Roseani Mendes Pereira que me acompanha desde 2017, sendo orientadora, aconselhadora, professora, amiga, sempre esteve comigo na alegria e na dor, você tem minha total admiração e agradeço por fazer parte da sua vida. Agradeço também ao professor Doutor Ananias Francisco Dias Júnior por todo apoio prestado à minha pesquisa e pela amizade consolidada.

Também agradeço à companhias maravilhosas que encontrei no caminho do mestrado, Gabriella França, Camily Hess, Prof Polliana Rios, Helena Vieira, Prof Alexsandro, a técnica Juliana, entre outras pessoas que contribuíram direta ou indiretamente em minha caminhada.

Agradeço também a SEMA e aos membros da COOPERMOGNO que sempre se mostraram dispostos a contribuir com a minha pesquisa para auxiliá-los em seus trabalhos, também agradeço por terem disponibilizado o material desta pesquisa.

E por fim agradeço a Universidade do Estado de Santa Catarina e ao programa de pós- graduação em Engenharia Florestal pelo amparo durante o período do mestrado.

RESUMO

RESUMO

SOUSA, A. N. S. **BIOENERGIA EM POPULAÇÕES TRADICIONAIS DA AMAZÔNIA: BIOMASSA RESIDUAL DOS FRUTOS E CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE *Attalea tessmannii* (COCÃO) Burret.** 2022. 59 p. (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2022.

A implementação de biomassas alternativas não madeireiras para a produção vegetal promove uma diminuição da pressão sob as biomassas madeireiras, além de contribuir com a complementação de renda para populações tradicionais extrativistas. O objetivo deste estudo foi centralizado em caracterizar e determinar as propriedades dos frutos e do carvão vegetal de *Attalea tessmannii* Burret produzido em uma comunidade tradicional da Amazônia, e em laboratório. Para cumprir o objetivo proposto, a apresentação do trabalho foi dividida em dois capítulos: (I) Caracterização dos frutos de *A. tessmannii* para queima direta; (II) Caracterização do carvão vegetal produzido a partir dos frutos de *A. tessmannii*. Para a realização das análises, foram coletados 170 frutos no Complexo de Florestas Estaduais – AC e 10 sacos (5 kg) de carvão vegetal, e encaminhados pela cooperativa COOPERMOGNO para análises. Com os frutos, foram realizadas as análises: propriedades físicas dos frutos inteiros e cortados ao meio, químicas e energéticas para os frutos com e sem a presença da amêndoa. Para o carvão vegetal foram realizadas as mesmas análises físicas (acrescentando a granulometria), químicas e energéticas (para o carvão vegetal produzido em laboratório foi inserido o rendimento gravimétrico). Os frutos possuem densidade a granel e massa específica aparente elevadas, sendo muito densos e dificultando o corte dos mesmos. Seu poder calorífico superior e densidade energética são altos. A presença da amêndoa afetou o teor de cinzas, poder calorífico e densidade energética dos frutos. Os maiores teores de potássio e sílica nos frutos agravou os problemas de deposição nos equipamentos de queima direta. A análise termogravimétrica demonstrou que a presença ou ausência da amêndoa não afetou o comportamento de queima. Os frutos possuem potencial energético para queima direta. As diferenças no processo produtivo do carvão vegetal da cooperativa em relação ao produzido em laboratório, de forma geral, não afetou a qualidade do carvão. A presença da amêndoa aumentou o poder calorífico superior e rendimento gravimétrico do carvão vegetal. Em comparativo com os carvões vegetais de madeiras amazônicas, o carvão vegetal de *A. tessmannii* demonstrou qualidade semelhante em diversas características, demonstrando que pode competir comercialmente com o carvão vegetal de resíduos madeireiros. A comparação com os parâmetros das normas brasileira e europeia de qualidade do carvão vegetal demonstrou que o teor de finos, teor de carbono fixo, cinzas e umidade não se enquadram nos critérios de qualidade exigidos para a cocção de alimentos.

Palavras – chave: extrativismo; palmeiras; Amazônia brasileira; queima direta; pirólise.

ABSTRACT

The implementation of alternative non-timber biomasses for vegetable production promotes a reduction in the pressure on timber biomass, in addition to contributing to the supplementation of income for traditional extractive populations. The aim of this study was to characterize and determine the properties of *Attalea tessmannii* Burret's fruits and charcoal produced in a traditional community in the Amazon, and in the laboratory. To fulfill the proposed objective, the presentation of the work was divided into two chapters: (I) Characterization of *A. tessmannii* fruits for direct burning; (II) Characterization of charcoal produced from the fruits of *A. tessmannii*. To carry out the analyses, 170 fruits were collected in the State Forests Complex - AC and 10 bags (5 kg) of charcoal, and sent by the COOPERMOGNO cooperative for analysis. With the fruits, the following analyzes were carried out: physical properties of the whole and cut fruits, chemical and energetic properties for the fruits with and without the presence of the almond. For charcoal, the same physical analyzes were performed (adding granulometry), chemical and energetic (for charcoal produced in the laboratory, the gravimetric yield was inserted). The fruits have high bulk density and apparent specific mass, being very dense and making it difficult to cut them. Its superior calorific value and energy density are high. The presence of the almond affected the ash content, calorific value and energy density of the fruits. The higher levels of potassium and silica in the fruits aggravated the deposition problems in the direct burning equipment. Thermogravimetric analysis showed that the presence or absence of the almond did not affect the burning behavior. The fruits have energy potential for direct burning. Differences in the cooperative's charcoal production process in relation to that produced in the laboratory, in general, did not affect the quality of the charcoal. The presence of almond increased the higher calorific value and gravimetric yield of charcoal. In comparison with charcoal from Amazonian woods, charcoal from *A. tessmannii* showed similar quality in several characteristics, demonstrating that it can compete commercially with charcoal from wood residues. Comparison with the parameters of Brazilian and European charcoal quality standards showed that the fines content, fixed carbon content, ash and moisture do not fit the quality criteria required for food cooking.

Keywords: extractivism; palm trees; Brazilian Amazon; direct burning; pyrolysis.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análises e normas para a determinação das propriedades físicas, químicas e energéticas nos frutos de <i>Attalea tessmannii</i>	20
Tabela 2 - Parâmetros de classificação da potencialidade de ocorrência dos índices de deposição.....	23
Tabela 3 - Propriedades físicas dos frutos de <i>Attalea tessmannii</i>	25
Tabela 4 - Composição química estrutural dos frutos de <i>Attalea tessmannii</i>	27
Tabela 5 - Composição química orgânica e inorgânica dos frutos de <i>A. tessmannii</i> com e sem amêndoa.	28
Tabela 6 - Índices de deposição dos frutos de <i>A. tessmannii</i> com e sem amêndoa.....	29
Tabela 7 - Valores médios para análise química imediata dos frutos de <i>A. tessmannii</i> com e sem amêndoa.	30
Tabela 8 - Correlação de Pearson entre as propriedades energéticas dos frutos de <i>A. tessmannii</i>	32
Tabela 9 - Variações nas temperaturas de degradação térmica dos frutos em função das curvas de Termogravimetria.	34
Tabela 10 - Variações nas massas remanescente de degradação térmica dos frutos em função das curvas de Termogravimetria.	35
Tabela 11 - Variações nas velocidades de pico de perda de massa em função da Curva DTG....	35
Tabela 12 - Análises e normas para a determinação das propriedades físicas, químicas e energéticas no carvão vegetal de <i>Attalea tessmannii</i>	41
Tabela 13 - Parâmetros de qualidade do carvão vegetal estabelecidos pelas normativas nº 40 (Brasil) e nº 1860 (Europa).	43
Tabela 14 – Propriedades físicas do carvão dos frutos de <i>Attalea tessmannii</i>	46
Tabela 15 – Granulometria do carvão vegetal de <i>A. tessmannii</i> produzido na cooperativa.....	47
Tabela 16 – Composição química orgânica do carvão vegetal de <i>A. tessmannii</i> produzido pela cooperativa e em laboratório.....	47
Tabela 17 - Composição química imediata do carvão dos frutos de <i>A. tessmannii</i>	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Frutos de <i>A. tessmannii</i> cortados ao meio contendo amêndoas (A) e inteiro (B).....	19
Figura 2 - Mapa de localização da COOPERMOGNO no Complexo de Florestas Estaduais do Rio Gregório – CFERG, município de Tarauacá, Acre.....	20
Figura 3 - Fluxograma de análises e tratamentos utilizados nos frutos de <i>Attalea tessmannii</i> ...	20
Figura 4 - Densidade energética dos frutos de <i>A. tessmannii</i> com e sem amêndoas.....	26
Figura 5 - Degradação térmica dos frutos de <i>A. tessmannii</i> em função da presença ou ausência da amêndoa.....	32
Figura 6 - Armazenamento dos sacos de biocarvão de cocão em cima de pallets.....	39
Figura 7 - saída da carbonização do carvão vegetal de <i>Attalea tessmannii</i> em forno mufla (A) e o fruto carbonizado (B).	40
Figura 8 - Fluxograma de análises realizadas no carvão vegetal de <i>A. tessmannii</i> produzido pela cooperativa COOPERMOGNO e no laboratório.	40
Figura 9 – Acomodação do carvão vegetal de <i>A. tessmannii</i> produzido pela cooperativa (A) e em laboratório (B).....	42
Figura 10 – Densidade energética do carvão vegetal de <i>A. tessmannii</i> produzido em cooperativa e em laboratório.....	50
Figura 11 – Degradação térmica no carvão vegetal de <i>A. tessmannii</i> produzido na cooperativa e laboratório (com e sem amêndoa).....	51

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	112
CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO DOS FRUTOS DE <i>Attalea tessmannii</i> PARA QUEIMA DIRETA.....	156
1.1 INTRODUÇÃO	156
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	19
1.2.1 ÁREA DE ESTUDO	19
1.2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E ENERGÉTICAS	20
1.2.3 PROCESSAMENTO DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA	24
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
1.4 CONCLUSÃO	33
CAPÍTULO II : CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL OBTIDO DOS FRUTOS DE <i>Attalea tessmannii</i>.....	35
2.1 INTRODUÇÃO	35
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	37
2.2.1 MATERIAL ESTUDADO	37
2.2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E ENERGÉTICAS	39
2.2.5 PROCESSAMENTO DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA	42
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
2.4 CONCLUSÃO	52
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
APÊNDICE A.....	59

INTRODUÇÃO GERAL

A floresta amazônica possui uma diversidade de espécies que abrangem um leque enorme de alternativas de uso, para diversos setores do mercado, como o madeireiro (serraria, painéis, movelaria), bioenergia, papel e celulose, alimentação, farmacêutico etc. Devido a alta exploração madeireira nas florestas amazônicas, há uma pressão enorme sobre essas espécies que geraram a extinção de muitas. Com isso, busca-se alternativas viáveis para substituição da madeira por biomassas não madeireiras que já são utilizadas em alguns setores industriais, como o da bioenergia.

A Amazônia tropical é conhecida pela diversidade de espécies vegetais, tendo como destaque a ampla distribuição e variedade de palmeiras (família Arecaceae). As palmeiras se sobressaem do ponto de vista natural, econômico e ecológico, além de comporem, de forma relevante, a alimentação dos seres humanos na forma de frutos e palmito e até de produtos elaborados, como doces, bebidas, óleos e artesanatos (LIMA et al., 2003).

No Estado do Acre no Brasil, das 18 tipologias florestais registradas, 12 apresentam palmeiras (ACRE, 2010). Participando da complementação de renda das populações extrativistas, com as diversas utilizações já supracitadas. A utilização energética por meio da carbonização das palmeiras é pouco consolidada comparada a madeira, porém diversas espécies apresentam potencial para uso na cocção de alimentos (carvão vegetal), tais como: babaçu (*Orbignya phalerata*) (REIS et al., 2015), coco da bahia (*Cocos nucifera*) (PADILLA et al., 2018), macaúba (*Acrocomia aculeata*) (EVARISTO et al., 2016) e tamareira (*Phoenix dactylifera*) (ABDUS-SALAM e IKUDAYISI, 2017).

O carvão vegetal produzido com biomassas não madeireiras vem como uma alternativa para amenizar a pressão sobre a madeira utilizada para cocção de alimentos. Além disso, estudar novas biomassas permite que o mercado tenha à disposição maior variedade de produtos e a oportunidade de utilizar um produto de origem alternativa. Também auxilia na complementação de renda das populações extrativistas.

A espécie *Attalea tessmannii* Burret, conhecida popularmente como cocão, é uma palmeira, de caule retilíneo, firme e resistente, podendo atingir até 24 metros de altura, endêmica da Amazônia brasileira (região do Vale Juruá do Acre e oeste do Amazonas) e na fronteira Brasil-Peru. Atualmente, são escassos os estudos sobre a espécie, tornando-a pouco conhecida.

No estado do Acre, a espécie ocorre em populações aglomeradas dentro do Complexo de Florestas Estaduais do Rio Gregório. Nesta área, os extrativistas inicialmente realizavam somente a extração da amêndoa para óleos essenciais alimentícios, o que resta como resíduo mais de 90% do fruto. Assim, os extrativistas descobriram que poderiam usar os frutos para obtenção de energia, transformando-o em carvão vegetal. Representantes destas comunidades afirmam que este carvão vegetal possui grande potencial energético, principalmente pela duração de sua queima em relação aos carvões de madeira conhecidos por eles.

Dentro da Unidade de Conservação, os moradores fundaram a cooperativa COOPERMOGNO para consolidar a cadeia produtiva do cocão, a fim de contribuir para a geração de renda das famílias contribuintes. Atualmente, os cooperados estão realizando estudos de inventário florestal juntamente com uma equipe liderada pela SEMA-AC e desejam obter informações técnicas sobre a qualidade do carvão produzido visando a melhoria deste produto para lançá-lo no mercado local e regional. E também para estimar a produção anual das matrizes com base na sua estrutura individual, tendo em vista a variabilidade genética que permite a variação no número de frutos e de cachos por matriz.

Geralmente, a produção de carvão vegetal de palmeiras é oriunda de resíduos de outros processos produtivos utilizados pelos extrativistas. Os frutos das palmeiras são excelentes fontes de matéria-prima para a produção de carvão vegetal, sendo que a parte com melhor rendimento é o endocarpo (VALERIANO, 1934; ALLEN, 1965; ANDERSON, 1979; BALICK, 1985; BONDAR, 1942b; SÁ, VIDAL, FIGUEIREDO, 1977). Com este objetivo, algumas espécies do gênero *Attalea* são utilizadas para bioenergia, tais como: *A. tessmannii* (cocão, coco- palmeira), a *A. brejinhoensis* (ouricuri) e a *A. funifera* (piaçaveira), devido ao tamanho, peso e mesocarpo inexpressivo de seus frutos (GUIMARÃES e SILVA, 2012; SOUSA et al., 2022).

No estado do Maranhão, a dificuldade de uso da madeira para lenha e carvão contribuiu para importância do coco do babaçu, inteiro ou quebrado, atendendo o nicho de uso doméstico em substituição do carvão de madeira. O epicarpo é excelente material para queima direta em diversos fins como na geração de vapor e uma fonte de fibras. O mesocarpo, material farináceo, que contém 13,8% de amido, que gera o etanol, também encontra aplicação na alimentação animal. O endocarpo fornece carvão de excelente qualidade, tanto para carvão vegetal como para carvão ativado (VENTURIERI et al., 2017).

No estado do Pará, foram produzidos carvão vegetal ativado a partir dos resíduos de casca e caroço de açaí, que antes eram tidos como lixo e descartados. O objetivo deste carvão ativado seria no tratamento da água adequando-a para consumo humano nas regiões ribeirinhas

e periféricas, devido as características que o carvão ativado possui na eliminação da cor, odor, mal gosto, remoção de substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas na água (FERNANDES, 2010; PEREIRA, 2013).

O endocarpo da Macaúba (*Acrocomia aculeata*) resíduo gerado no processamento dos frutos, pode ser convertido em carvão vegetal, constituindo-se um subproduto da cadeia produtiva do biodiesel, sendo utilizado na metalurgia, siderurgia ou para a cocção de alimentos/uso doméstico (EVARISTO et al., 2016). Além disso, a macaúba apresenta frutos com certa semelhança morfológica ao da espécie *Attalea tessmannii* os quais podem ser comparados do ponto de vista energético. Assim como, o babaçu (*Attalea speciosa*).

Já para a espécie do presente estudo, o estudo realizado por Sousa et al. (2022), constatou que o carvão vegetal de *Attalea tessmannii* produzido artesanalmente pela comunidade residente no Complexo de Florestas Estaduais do Rio Gregório em forno do tipo rabo quente com controle de carbonização por coloração de fumaça possui potencial energético, com poder calorífico superior médio de 7.323,40 kcal/kg e 72% de teor de carbono fixado, manteve baixo teor de umidade por um longo período de armazenamento (abaixo de 5%), baixo teor de materiais voláteis, alta densidade a granel (330 kg/m³), porém apresentou alto teor de cinzas (20,65%). Atualmente, este produto serve como complementação de renda das famílias extrativistas, então é necessária a realização de estudos que aprofundem o conhecimento a respeito da espécie para melhorar a produtividade e qualidade do produto comercializado.

Estimular o desenvolvimento extrativista e exploração de recursos não madeireiros diminui a necessidade dos extrativistas em utilizar outros recursos que são mais prejudiciais à conservação das Unidades de Conservação, como abertura de remanescentes florestais para implantação de agricultura, criação de gado bovino, exploração madeireira, entre outras atividades que podem gerar mais renda do que o extrativismo. Assim, é possível melhorar a qualidade de vida destes extrativistas, gerando mais renda e continuar perpetuando a consciência de conservação dos recursos da floresta.

É fato que os estudos relacionados a produção energética de *A. tessmannii* não afetará diretamente na grande indústria energética brasileira, e nem conseguirá atender à essa demanda industrial. Mas sim, afetando diretamente os consumidores do carvão vegetal destinado à cocção de alimentos. Os quais terão a oportunidade de ter acesso a um produto extrativista que causa menos impacto à floresta valorizando um produto propriamente acreano.

Desta forma, é importante conhecer informações necessárias para implementar e consolidar um produto de boa qualidade no mercado para competir com a qualidade do carvão vegetal de madeira de tal forma que seja a preferência de compra dos consumidores, já que este

é um produto que auxilia na conservação da floresta. Neste contexto, as questões de pesquisa que podem ser levantadas são:

- Como a biomassa se comporta sendo submetida ao processo de combustão em caldeiras e em outros sistemas e quais os impactos neste processo?
- Algum elemento químico presente nos frutos pode ser fator determinante para contaminação e prejudicial à saúde humana?
- Este produto atende aos requisitos de qualidade exigidos no mercado brasileiro de carvão vegetal?
- O carvão a partir do fruto do cocão, produzido pela cooperativa, atenderá os requisitos de qualidade no uso da cocção de alimentos?
- As propriedades químicas, físicas e energéticas do carvão vegetal de cocão podem ser comparadas com os carvões produzidos a partir de madeira?
- Haverá diferença na qualidade do carvão produzido na cooperativa e o produzido em laboratório (livre de contaminantes externos)?

A partir destas indagações, como a espécie já é carbonizada e utilizada pelos membros da cooperativa, as hipóteses levantadas são:

H₀: Os frutos de *A. tessmannii* apresentam potencial similar à madeira para uso na queima direta;

H₁: O carvão produzido com os frutos de *A. Tessmannii* atenderá as normativas vigentes relativas à qualidade do carvão vegetal para cocção de alimentos e terá qualidade similar ao carvão produzido com madeira;

H₂: A qualidade do carvão vegetal produzido na cooperativa será inferior ao produzido no laboratório.

Desta forma, este trabalho pretendeu caracterizar e determinar as propriedades dos frutos e do carvão vegetal de *A. tessmannii* produzido pela cooperativa e no laboratório visando fornecer subsídios para alavancar a utilização desta biomassa para a utilização energética na região de sua produção e consumo.

Para atender a este objetivo, este trabalho será apresentado em dois capítulos, contendo dois capítulos.

O Capítulo I tratará da caracterização dos frutos da espécie *Attalea tessmannii*, quanto a suas propriedades físicas, químicas e energéticas, visando ao uso dos frutos em sistemas de queima direta. Já o Capítulo II abordará a caracterização do carvão vegetal da espécie *Attalea tessmannii* produzido pela cooperativa e em laboratório.

CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO DOS FRUTOS DE *Attalea tessmannii* DESTINADO À QUEIMA DIRETA

1.1 INTRODUÇÃO

A floresta amazônica fornece uma variedade de produtos madeireiros e não madeireiros que agregam valor à economia das populações tradicionais que vivem nas unidades de conservação. Os produtos não madeireiros podem ser utilizados para diversos fins, como: alimentos, produtos medicinais, especiarias, resinas, gomas, látex, combustível, bioenergia, entre outros. A versatilidade e diversidade de utilidades permite que os extrativistas tenham maior leque de produtos que podem ser extraídas ao longo de todo o ano, tendo renda durante todo esse período (DOS SANTOS et al., 2003).

Uma das vantagens mais relevantes da utilização dos produtos não madeireiros está relacionada com a manutenção dos remanescentes florestais, desestimulando o desmatamento e conversão do uso da terra para fins agrícolas e agropecuários. Este fator contribui para conservação da biodiversidade da fauna e da flora, pois o manejo adequado promove equilíbrio ambiental da região (FIEDLER; SOARES; DA SILVA, 2008).

Na região Amazônica, as palmeiras estão entre os produtos mais utilizados para fins alimentícios, sendo os mais conhecidos: o fruto do açaí (*Euterpe* spp.), amêndoa do babaçu (*Attalea speciosa*), piaçava (*Attalea funifera*), amêndoa do cocão (*Attalea tessmannii*), pó e cera de carnaúba (*Copernicia prunifera*), palmito, buriti (*Mauritia flexuosa*), ouricuri (*Syagrus coronata*) e amêndoa de tucum (*Astrocaryum vulgare*). Também podem ser mencionados, fruto e fibra do coco verde (*Cocos nucifera*), fruto da pupunha (*Bactris gasipaes*), da bacaba (*Oenocarpus bacaba*) e patauí (*Oenocarpus bataua*), entre outros. Dentre as palmeiras, o gênero *Attalea* apresenta uma grande importância na produção extrativista de óleos, carvão e fibras, sendo específico do continente americano com 35 espécies registradas no Brasil (GOVAERTS; DRANSFIELD, 2005; GUIMARÃES e SILVA, 2012).

Assim como as biomassas madeireiras, as biomassas não madeireiras podem ser utilizadas para fins energéticos, sejam eles: *pellets*, carvão vegetal ou queima direta. As biomassas oriundas da família *Arecaceae* tem apresentado muitos potenciais no setor energético, inclusive o fruto da espécie *Attalea speciosa* (babaçu) apresentou aptidão para produção direta de calor (PROTÁSIO et al., 2017).

A espécie *Attalea tessmannii*, conhecida popularmente por cocão no estado do Acre, possui diversas alternativas de uso: suas folhas são utilizadas para cobertura de casas rústicas, as amêndoas são comestíveis e também são utilizadas para extração do óleo que é popularmente utilizado na culinária local. O mesocarpo e endocarpo são carbonizados para produção do biocarvão (LORENZI, 2010). Na Amazônia Brasileira, sua distribuição ocorre principalmente no oeste do estado do Acre, próxima a fronteira com a Bolívia. Devido a dispersão por barocoria (gravidade), as matrizes encontram-se agrupadas em subpopulações (LORENZI, 2010).

Em idade adulta, o caule pode atingir até 24 metros de altura e 25 a 46 cm de diâmetro. Os frutos são oblongos, de coloração marrom, medindo de 11 a 15 cm de comprimento e de 4,5 a 5,5 cm de diâmetro, dotado ou não de perianto quando os frutos maduros caem, contém de 1 a 3 sementes. As sementes são amêndoas inseridas em cavidades rodeadas por uma área livre de feixes fibrosos (LORENZI, 2010). A frutificação ocorre de dezembro a abril quando os frutos maduros caem. Devido a variabilidade genética, a quantidade de cachos por indivíduo e de frutos por cacho são variáveis, podendo ter de 1 a 3 cachos, contendo de 70 a 80 frutos cada. O inventário florestal ainda não foi finalizado na região, por este motivo ainda não há dados de produtividade anual das safras e das matrizes.

A *A. tessmannii* já possui exploração não madeireira no interior do Complexo de Florestas Estaduais do Rio Gregório, estado do Acre, localizando-se na região noroeste do estado. Os frutos são colhidos diretamente do solo após a queda do cacho, durante os meses de novembro até fevereiro. Os frutos da safra anterior também são colhidos, ainda que apresentem degradação do epicarpo, estes são destinados inteiros (contendo as amêndoas) para a produção de carvão vegetal. Enquanto, os frutos da safra atual são colhidos em perfeito estado, cortados ao meio para retirada das amêndoas destinadas à produção de óleo. A presença ou não da amêndoa pode alterar ou não na qualidade do produto final.

A fim de atender ao mercado de maneira unificada, os extrativistas se organizaram em cooperativa – a COOPERMOGNO (Cooperativa de Produtores Familiares e Economia Solidária da Floresta Estadual do Mogno) para comercialização do óleo e do carvão vegetal de cocão, além de diversos produtos agroecológicos, como frutos, verduras, legumes, ovos caipiras, entre outros produtos que contribuem para complementação de renda dos extrativistas.

Entretanto, pouco se conhece a respeito da *A. tessmannii*, sendo registrados pouquíssimos estudos relacionados à espécie, tampouco sua destinação para queima direta. No estudo de Sousa et al. (2022), foram abordados apenas a análise da composição química

imediate, a densidade a granel e o poder calorífico do carvão vegetal, sendo o primeiro estudo a respeito do material, porém ainda não há publicações a respeito das propriedades físicas, químicas e energéticas relacionadas à biomassa (fruto), apenas a publicação de Lorenzi (2010) que menciona as características biológicas analisadas visualmente a respeito da espécie de forma geral. Com isso, este capítulo visa caracterizar os frutos de *A. tessmannii* quanto as suas propriedades físicas, químicas e energéticas, de forma a identificar o potencial energético da espécie em sistemas de queima direta, bem como avaliar o efeito da presença ou ausência das amêndoas no comportamento energético dos frutos.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 ÁREA DE ESTUDO

O material utilizado neste estudo foram os frutos da palmeira *Attalea tessmannii* Burret., que foram coletados pelos extrativistas nos meses de dezembro de 2020 e janeiro de 2021, diretamente do solo, quando os frutos estavam maduros (Figura 1). Ao todo foram utilizados 170 frutos, inteiros, maduros, em perfeito estado de conservação, sem apresentar degradação ou imperfeições de qualquer natureza. Os extrativistas transportam os frutos em cestos presos às costas (semelhante a uma mochila) conhecidos popularmente como *caçoá* que comporta até 50kg de frutos (quando estão úmidos).

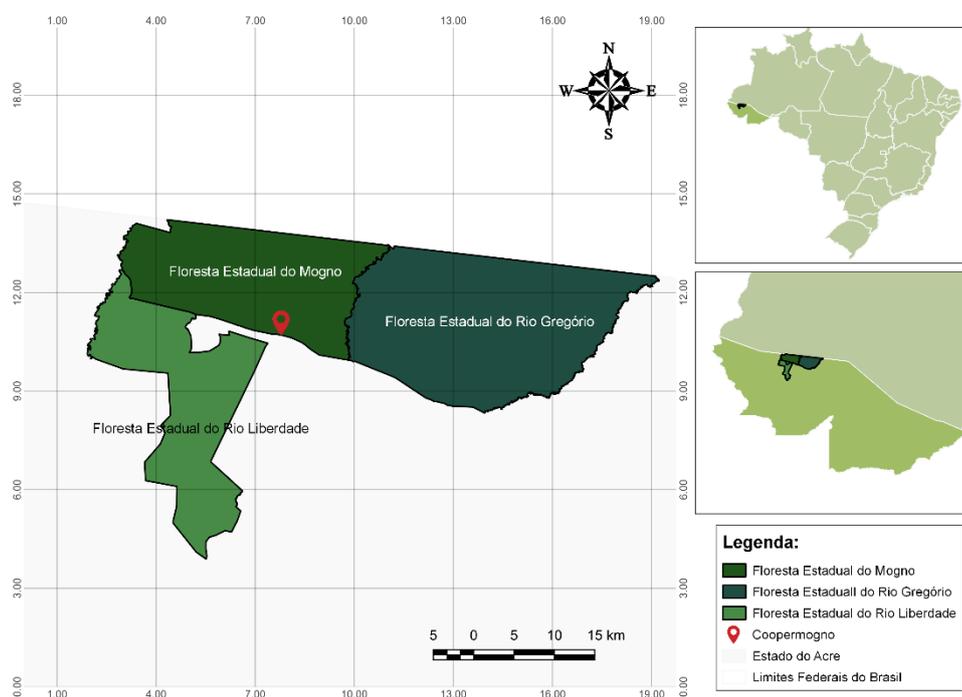
Figura 1 - Frutos de *A. tessmannii* cortados ao meio contendo amêndoas (A) e inteiro (B).



Fonte: elaborado pela autora (2022).

Após a coleta, os frutos foram encaminhados diretamente para a sede da Cooperativa de Produtores Familiares e Economia Solidária da Floresta Estadual do Mogno (COOPERMOGNO), localizada na Floresta Estadual do Mogno (Complexo de Florestas Estaduais do Rio Gregório), município de Tarauacá - Acre (Figura 2) (Latitude: 8° 8' 8" Sul, Longitude: 70° 45' 54" Oeste, 179 metros de altitude). Na cooperativa, os frutos foram previamente secos ao ar, armazenados em local seco, protegido da luz e elevado 10 cm do solo em um galpão. Posteriormente, os frutos foram embalados e encaminhados ao Departamento de Engenharia Florestal, localizado na UDESC – Centro de Agroveterinárias, *campus* de Lages, os quais ficaram armazenados em câmara de climatização até a realização das análises.

Figura 2 - Mapa de localização da COOPERMOGNO no Complexo de Florestas Estaduais do Rio Gregório – CFERG, município de Tarauacá, Acre.

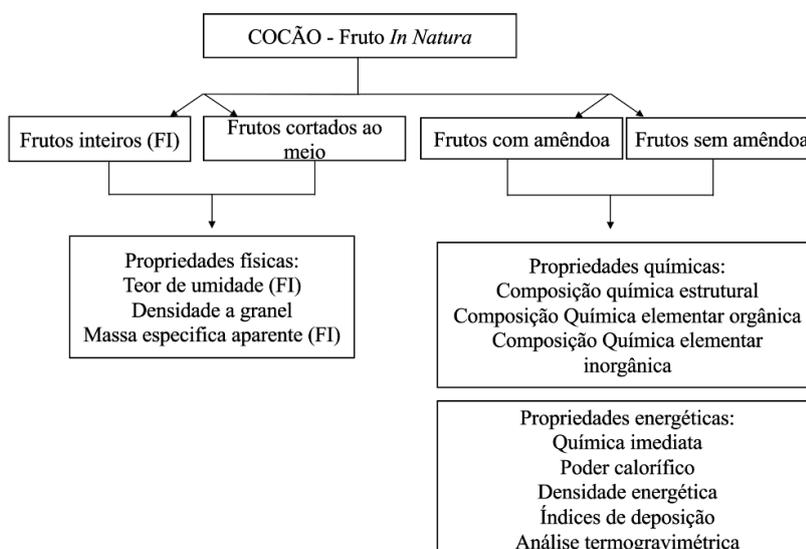


Fonte: IBGE, 2020.

1.2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E ENERGÉTICAS

O fluxograma das análises e tratamentos realizados neste estudo nos frutos de *A. tessmannii* estão na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma de análises e tratamentos utilizados nos frutos de *Attalea tessmannii*.



Fonte: elaborado pela autora (2022).

Foram realizadas as análises para caracterização das propriedades físicas, químicas e energéticas dos frutos de *A. tessmannii* (Tabela 1).

Tabela 1 - Análises e normas para a determinação das propriedades físicas, químicas e energéticas nos frutos de *Attalea tessmannii*.

Propriedades	Análises
Propriedades Físicas	Teor de umidade (NBR 14929/2017) Densidade a granel* Massa específica aparente*
Propriedades Químicas	Teor de extrativos totais (NBR 14660/2004) Lignina (NBR 7989/2010) Holocelulose* Composição química elementar orgânica (PO-GT-6012; PO-GT-3012; PO-GT-6013)** Composição química elementar inorgânica (PO-GT-5023)** Índices de deposição*
Propriedades Energéticas	Composição química imediata (ASTM D1762/2013) Poder calorífico superior e poder calorífico líquido (DIN 51900/2000) Densidade energética* Análise termogravimétrica*

Legenda: *Metodologias descritas no texto; ** PO-GT-6012 (Determinação de enxofre no equipamento S-832); PO-GT-3012 (Determinação do teor de cloreto (Cl) por ataque com bomba calorimétrica); PO-GT-6013 (Determinação de carbono, hidrogênio e nitrogênio) e PO-GT-5023 (Análise química semiquantitativa por espectroscopia de Raio X). Procedimentos do Laboratório de análises químicas da Associação Brasileira de Cimento Portland** Análises cujas metodologias estão descritas no texto. Fonte: elaborado pela autora (2022).

O teor de umidade foi obtido de 10 frutos inteiros, contendo as amêndoas antes da análise, cada fruto foi alocada em recipiente separado. Os frutos foram submetidos a secagem em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ até atingirem a massa constante.

Com relação às análises não normatizadas, a densidade a granel dos frutos (“bulk density”) foi obtida por meio da pesagem dos frutos inteiros e também cortados ao meio.

Para a determinação da densidade a granel dos frutos de *A. tessmannii*, adaptou-se a metodologia indicada por Protásio et al. (2011), o qual consistiu em utilizar um recipiente com dimensões 12,5 x 26 x 25cm e pesadas em balança mecânica manual. O resultado da densidade a granel foi obtido através da relação entre a massa e o volume do recipiente, conforme equação 1:

$$DG = \frac{P1-P2}{V} \quad (1)$$

Onde: P1: Peso da amostra + recipiente (g); P2: Peso do recipiente (g); V: Volume do recipiente (cm³).

Análises preliminares da caracterização biométrica da biomassa (170 unidades de frutos) registrou-se a variação de 1 a 3 amêndoas por fruto (a maioria contendo 2 amêndoas), variação do diâmetro de 56,93 a 72,01 mm (média = 64,16mm); a variação do comprimento de 80,12 a 118,28 mm (média = 108,61mm) e a variação do massa (g) de 182,71 a 306,26 g (média = 243,31g). A partir destes dados, a massa específica aparente foi determinada através da relação peso por volume dos frutos inteiros, no teor de umidade determinado conforme descrito anteriormente.

Quanto ao teor de holocelulose (TH), sua obtenção se deu por diferença dos teores de extrativos totais, cinzas e lignina da biomassa, conforme equação 2:

$$TH = 100 - (\text{extrativos totais (\%)} + \text{cinzas (\%)} + \text{lignina (\%)}) \quad (2)$$

A densidade energética (DE) foi calculada pelo produto entre o poder calorífico superior (PCS) e do poder calorífico líquido (PCL) e a densidade a granel (DG) dos frutos cortados ao meio, tendo em vista que o processamento dos frutos para destinação energética é realizado com os frutos cortados ao meio após a extração da amêndoa.

Os índices de deposição foram calculados conforme procedimento descrito por Brand et al (2021), baseado em Gupta et al. (1998); Pronobis (2005); Masiá et al. (2007) e Nunes et al. (2019).

Para analisar a tendência de escória/incrustação das cinzas foram utilizadas as correlações com forma B/A, onde B agrupa os compostos com baixa temperatura de fusão e A os compostos com maior temperatura de fusão (PRONOBIS, 2005; MASIÁ et al., 2007; NUNES et al., 2019) (Equações 3, 4, 5, 6, 7 e 8).

$$R (B/A) = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + TiO_2 + Al_2O_3} \quad (3)$$

Em que: R (B/A) = Índice de deposição; B = Elementos de baixa temperatura de fusão; A = Elementos de alta temperatura de fusão.

A equação (3) foi desenvolvida para combustíveis fósseis com baixos teores de fósforo. Em um estudo desenvolvido por Benson e Harb (1993), o fósforo foi incluído na equação, ficando na forma como apresentado na Equação (4) e que será P₂O₅ utilizada neste estudo.

$$\frac{B}{A} + P = \left(\frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O + P_2O_5}{SiO_2 + TiO_2 + Al_2O_3} \right) \quad (4)$$

Onde:

P = Fósforo; B = (Fe₂O₃ + CaO + MgO+K₂O+Na₂O) Elementos de baixa temperatura de fusão e; A = (SiO₂ + Al₂O₃ + TiO₂) Elementos de alta temperatura de fusão.

Nota: B/A<0,5 = baixa propensão à escória; 0,5 <B/A<1,0= média propensão à escória; 1,0 <B/A<1,75= alta propensão à escória e B/A>1,75= severa propensão à escória (NUNES et al., 2019).

$$F_i = \left(\frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + TiO_2 + Al_2O_3} \right) * (Na_2O + K_2O) \quad (5)$$

Onde: F_i = Índice de incrustação.

A interpretação dos resultados: F_i<0,6 = baixa propensão à incrustação; 0,6<F_i<40 = alta propensão à incrustação; F_i>40 = severa propensão à incrustação (NUNES et al., 2019).

$$R_s = (B/A) * S^d \quad (6)$$

Em que: R_s = Índice de escória; (B/A) = Índice de deposição; S^d = Teor de enxofre (%) base seca.

$$S_R = (SiO_2 * 100) / (SiO_2 + MgO + CaO + Fe_2O_3) \quad (7)$$

Em que: S_R = Taxa de escória ou índice de viscosidade; SiO₂ = Óxido de silício; MgO = Óxido de magnésio; CaO = Óxido de cálcio; Fe₂O₃ = Óxido de ferro.

$$Al = \left(\frac{1 \times 10^6 \times \% \text{ cinzas} \times (K_2O + Na_2O)}{PCS \left(\frac{KJ}{Kg} \right)} \right) \quad (8)$$

Onde Al representa a quantidade de óxidos alcalinos por unidade de energia do combustível (Kg/GJ). Al<0,17 = baixa propensão à escória e incrustação (corrosão); 0,17<Al<0,34 = alta propensão à escória e incrustação (corrosão); Al>0,34 = severa propensão à escória e incrustação (corrosão) (NUNES et al., 2019).

Para as equações onde os parâmetros não estão descritos nas fórmulas, os valores obtidos foram comparados aos valores e critérios estabelecidos por Gupta et al. (1998) (Tabela 2).

Tabela 2 - Parâmetros de classificação da potencialidade de ocorrência dos índices de deposição

Parâmetros de classificação da potencialidade de ocorrência dos índices de deposição	Valores limites	Potencialidade de ocorrência
Índice de escória	$R_S < 0,6$	Baixa escória
	$R_S \geq 0,6-2,0$	Média
	$R_S \geq 2,0-2,6$	Alta
	$R_S \geq 2,6$	Extremamente alta
Taxa de escória ou Índice de viscosidade	$S_R > 72$	Baixa
	$72 \geq S_R > 65$	Média
	$S_R \leq 65$	Alta

Legenda: R_S = Índice de escória S_R = Taxa de escória ou índice de viscosidade. Fonte: Gupta et al. (1998) e Brand et al. (2021).

Dentre as propriedades energéticas, a análise termogravimétrica (TGA) foi realizada para determinar o comportamento térmico do material. A análise foi realizada em uma termobalança gravimétrica, TGA 2000 da marca NAVAS Instruments. Foi adicionado entre 0,7 e 0,8g de material moído com granulometria entre 40 e 60 mesh. A combustão foi conduzida sob condição de ar atmosférico, taxa de aquecimento de 20 °C/min, desde a temperatura ambiente até 1000 °C, até massa residual constante. As curvas termogravimétricas (TG), para a perda de massa, foram definidas em função da temperatura. A primeira derivada (DTG) representada por dM/dT , foi utilizada para avaliar a velocidade da perda de massa. O comportamento termogravimétrico dos tratamentos foram avaliados durante as fases de combustão: início da perda de massa, emissão e ignição de voláteis, início da queima dos voláteis, início da degradação do carbono fixo e estabilização de massa (teor de cinzas).

1.2.3 PROCESSAMENTO DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram tabulados e processados no software Microsoft Office Excel® 365 Pro Plus. Para todas as propriedades analisadas foram obtidas as médias e coeficiente de variação. Para as propriedades químicas e energéticas foram analisados dois tratamentos, FCA: frutos com amêndoas e FSA: Frutos sem amêndoas, onde foi aplicada a ANOVA. Já para as propriedades físicas, os dois tratamentos consistiram em FI: frutos inteiros e FCM: frutos cortados ao meio. Para a análise das variações entre médias foi aplicado o teste de Tukey (5%). Foi utilizado também o coeficiente de correlação de Pearson (r) para estabelecer as correlações lineares entre duas variáveis que potencialmente poderiam ter relação entre si.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os frutos de *A. tessmannii* apresentam baixa umidade após coleta em campo e armazenamento em galpão na cooperativa, cuja característica é desejável para geração de energia (Tabela 3). Este é o teor de umidade no qual os extrativistas das comunidades tradicionais utilizam os frutos para a produção de carvão vegetal. Assim, tanto para o uso dos mesmos para a produção de carvão vegetal, como para uso na queima direta, o teor de umidade baixo permitirá maior aproveitamento energético desta biomassa, com redução de emissão de gases, e conseqüente redução do potencial poluidor.

Tabela 3 - Propriedades físicas dos frutos de *Attalea tessmannii*.

Biomassa	TU (%)	MEA (g/cm ³)	DG (kg/m ³)
Fruto inteiros	15,15 (10,84)	1,109 (5,98)	618,56 a (7,78)
Fruto cortados ao meio com amêndoas		0,88 (11,78)	658,65 a (4,01)
	CV (%)		6,08

Legenda: TU: Teor de umidade na base úmida realizado nos frutos inteiros; MEA: Massa específica aparente dos frutos. Os valores médios são seguidos de valores entre parênteses representam o coeficiente de variação na análise. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (5%).

A massa específica aparente por unidade de fruto inteiro (Tabela 3), a 15% de teor de umidade, é considerada alta, fato incomum entre os frutos de palmeiras. Este valor é semelhante a algumas espécies madeireiras amazônicas utilizadas em serrarias da região de estudo, como: *Dipteryx odorata* (cumaru) (0,95 g/cm³) (DUARTE; LAHR; CURVELO, 2020), *Apuleia leiocarpa* (garapeira) (0,83 g/cm³) (VIVIAN et al., 2018), *Bowdichia spp.* (sucupira) (1,142 g/cm³) (MANTILLA; PEREIRA; ALVES, 2013) e *Handroanthus serratifolius* (ipê-amarelo) (0,925 g/cm³) (MIRANDA et al., 2015), ambas com teor de umidade variando entre 11 e 15%. A alta densidade da biomassa influencia positivamente em seu potencial energético, pois resulta na maior densidade energética do biocombustível.

A análise de densidade a granel (Tabela 3) foi realizada tanto nos frutos inteiros, como também nos cortados ao meio. A análise nesta condição permitiu concluir que a densidade a granel dos frutos não variou em função do corte dos mesmos ao meio. O uso energético do fruto inteiro ou cortado, para queima direta não sofrerá influência de variações na densidade a granel. Para destinação em queima direta, maiores densidades permitem que os fornos sejam abastecidos com menor frequência e em menores quantidades, o contrário do que ocorre com biomassas de densidades menores.

A densidade a granel dos frutos de *A. tessmannii* é considerado elevada quando comparado a outras biomassas não madeireiras já estudadas, tais como: casca de café, palha de feijão, descarte de construção civil, descarte de madeireira e sabugo de milho (DIONIZIO et al., 2019), com teor de umidade variando entre 8 e 13%, com densidade a granel variando entre 77,28 e 389,26 kg/m³ entre essas biomassas.

A Tabela 4 apresenta a composição química estrutural dos frutos de *A. tessmannii* (Tabela 4). Devido às propriedades oleaginosas da amêndoa (LORENZI, 2010), os extrativistas realizam como atividade primária da espécie a extração de óleo para fins alimentícios. A presença de ceras, elementos graxos, resinas e gomas (ABNT, 2004) presentes na amêndoa, influenciou no maior teor de extrativos solúveis em etanol-tolueno, maior teor de lignina e menor teor de holocelulose.

Tabela 4 - Composição química estrutural dos frutos de *Attalea tessmannii*.

Biomassa	EET (%)	EE (%)	EAQ (%)	ET (%)	TL (%)	TH (%)
FCA	3,80 a	0,35 a	5,03 a	9,17 a	37,82 a	50,38 b
	(3,72)	(5,99)	(6,85)	(4,93)	(0,65)	(0,15)
FSA	1,20 b	0,32 a	5,82 a	7,35 b	36,93 b	52,73 a
	(6,38)	(7,48)	(6,95)	(3,21)	(2,65)	(2,05)
CV (%)	4,45	6,56	6,95	4,00	1,88	1,49

Legenda: FCA: Fruto com amêndoa; FSA: Fruto sem amêndoa; EAQ: Extrativos em água quente; EET: Extrativos em etanol-tolueno; EE: Extrativos em etanol; ET: Extrativos totais; TL: Teor de lignina; TH: Teor de holocelulose. Valores médios seguidos de valores entre parenteses representam o coeficiente de variação na análise. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (5%).

O teor de lignina na biomassa (Tabela 4) é composto em sua maior parte de ligações de carbono e hidrogênio que produzem maior quantidade de calor, sendo importante para maior geração de energia e expressa a proporção desta macromolécula na biomassa. Os frutos possuem teores de lignina semelhantes à madeiras de alta densidade aparente (15% de teor de umidade), como: *Dipteryx odorata* (ZAU et al., 2014), *Mezilaurus itauba* (BATISTA et al., 2021) e *Manilkara huberi* (Maçaranduba) (MEDEIROS et al., 2021).

Quando se trata de produção energética, o maior teor de holocelulose não é desejado, pois é formado por carboidratos (BRAND, 2010) que compõem as substâncias que volatilizam durante o processo de queima da biomassa e se apresentam maior velocidade de perda de massa. Como fator positivo para geração de energia, a espécie apresenta menores teores médios de holocelulose do que as algumas espécies de uso madeireiro, como *Manilkara huberi*

(Maçaranduba) (MEDEIROS et al., 2021).

A Tabela 5 apresenta os resultados para composição química orgânica e inorgânica dos frutos de *A. Tessmannii* com e sem amêndoa. A composição orgânica de frutos apresenta resultados menores do que em biomassas madeireiras, contendo valores médios $\pm 50\%$ de Carbono (C) (BRAND, 2010). O teor de carbono (C) da biomassa influencia em seu teor de lignina e, conseqüentemente na quantidade de energia quando submetidos a combustão, quanto maior concentração de C na biomassa, maiores serão os teores de lignina e quantidade energética. Os baixos teores de nitrogênio e enxofre são bons indicativos para o uso energético da biomassa, já que são altamente tóxicos e poluentes ao meio ambiente (REIS et al., 2012). Enquanto que, o cloro tem mais influência na ocorrência de corrosão dos equipamentos de queima.

Tabela 5 - Composição química orgânica e inorgânica dos frutos de *A. tessmannii* com e sem amêndoa.

Composição química orgânica			
Elemento químico	Fórmula química	FCA	FSA
Carbono	C	42,89	40,74
Hidrogênio	H	6,57	6,5
Nitrogênio	N	n.d	n.d
Enxofre	S	0,04	0,03
Cloreto	Cl	0,01	0,02
Composição química inorgânica			
Elemento químico	Fórmula química	FCA	FSA
Óxido de sódio	Na ₂ O	9,9	1,0
Óxido de magnésio	MgO	7,0	8,0
Óxido de alumínio	Al ₂ O ₃	4,0	2,0
Dióxido de silício	SiO ₂	31,8	34,8
Pentóxido de fósforo	P ₂ O ₅	8,3	6,8
Óxido de potássio	K ₂ O	33,1	38,7
Óxido de cálcio	CaO	2,0	2,9
Óxido de titânio	TiO ₂	0,4	0,7
Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃	1,3	2,2
Cinza		2,19	1,93

Os resultados elementares obtidos diretamente na análise espectrométrica foram transformados para valores em óxidos e automaticamente totalizados em 100%.

Em relação à composição inorgânica, a predominância nos frutos com amêndoa é de óxido de potássio, dióxido de silício e óxido de sódio, enquanto para os frutos sem amêndoa: óxido de potássio, dióxido de silício e óxido de magnésio. As maiores concentrações de silício dificulta o processamento do fruto, diminuindo o fio de corte com maior frequência.

A presença de Si, Fe e Al pode demonstrar a presença de contaminantes da biomassa por agentes externos como terra, areia e pedras (BRAND et al., 2021), que pode ser justificado pela coleta ser realizada diretamente no solo e não haver a limpeza correta para remoção desses minerais. Porém, para frutos de palmeiras no geral, a presença destes componentes é maior do que nas espécies madeireiras. O alto teor de sódio (FCA), pode contribuir para a formação de escória, incrustações e formação de álcali na caldeira, sendo prejudicial ao equipamento de queima e necessitando de manutenções mais frequentes.

Com base na composição química elementar dos frutos foram calculados os índices de deposição, conforme Equações 2 a 7 (Tabela 6). Durante a combustão em caldeira ou equipamentos de queima, os frutos com ou sem amêndoa terão o mesmo comportamento, ou seja, terão severa propensão a incrustações (Fi) que provoca redução da eficiência de transferência de calor o funcionamento irregular do equipamento (VASSILEV et al., 2012); média taxa de escória ou índice de viscosidade (S_R), que em função do baixo teor de enxofre minimiza este problema (R_s) tornando o índice de escória baixo. Além disso, os frutos terão severo risco de corrosão (AI) (maior vulnerabilidade de corrosão das peças) em função do seu alto teor de potássio e baixo poder calorífico por unidade de massa, ao contrário do comportamento da madeira.

Tabela 6 - Índices de deposição dos frutos de *A. tessmannii* com e sem amêndoa.

Índice/Taxa	FCA	FCA	FSA	FSA
B/A	1,47		1,41	
B/A+P	1,70	Alta	1,59	Alta
FI	63,31	Severa	55,90	Severa
R_s	0,06	Baixa	0,04	Baixa
S_R	75,53	Médio	72,65	Médio
AI	0,46	Severo	0,39	Severo

Legenda: B/A = tendência de escória/incrustação; B/A+P= tendência de escória/incrustação + fósforo; FI = Índice de incrustação; R_s = Índice de escória; S_R = Taxa de escória ou índice de viscosidade; AI = quantidade de óxidos alcalinos por unidade de energia do combustível (Kg/GJ).

Tendo em vista, as maiores concentrações de óxido de potássio, dióxido de silício, óxidos de sódio e magnésio, a biomassa estudada apresentaria diversos problemas nos equipamentos de queima. Lembrando que, as deposições podem gerar áreas de incrustação e corrosão que irão acelerar o desgaste das superfícies de transferência de calor e até mesmo da estrutura da caldeira (VASSILEV et al., 2012).

Importante ressaltar que os elementos de baixa temperatura de fusão reagem mais

rapidamente no processo de combustão, desta forma, os mesmos se condensam nas paredes, tubos e juntamente com as partículas de cinzas causando incrustações e escórias (BRAND et al., 2021). Isso implica na necessidade de manutenções periódicas e mais frequentes nos equipamentos de queima, resultando em maior custo neste processo.

Quanto à composição química imediata dos frutos (Tabela 7), o teor de cinzas foi a única propriedade que variou em função da presença da amêndoa, apresentando maior teor de cinzas em comparação com os frutos sem amêndoa. As cinzas das biomassas são compostas por elementos inorgânicos minerais que não degradam durante a combustão, como demonstrado na Tabela 5, os frutos apresentam altas concentrações de sílica e potássio que restarão nas cinzas ao final da combustão. O maior teor de cinzas já é esperado para biomassas não madeireiras e agroindustriais, como por exemplo, o epicarpo do pinhão manso (*Jatropha curcas*) (TOMELERI et al., 2017) e coco do babaçu (*Orbignya phalerata*) (REIS et al., 2015). afetando diretamente em seu poder calorífico (são inversamente proporcionais), conforme observado na Tabela 6. O teor de cinzas de *Dipteryx odorata* variou entre 1,55 e 1,82% (ZAU et al., 2014); *Apuleia leiocarpa* com média de 1,37% (BATISTA et al., 2021), o que influencia em um aumento em poder calorífico.

Tabela 7 - Valores médios para análise química imediata dos frutos de *A. tessmannii* com e sem amêndoa.

Biomassa	TC (%)	TCF (%)	TMV (%)	PCS (Kcal/Kg)	PCL ^{1 e} ² ((Kcal/Kg)
FCA	2,63 (8,32) b	21,47 (2,68) a	75,90 (0,96) a	4853 (0,41) a	3726 (0,45) a
FSA	3,001 (7,0) a	22,44 (5,17) a	74,56 (1,39) a	4705 (1,39) b	3604 (1,54) b
CV (%)	7,62	4,17	1,19	1,01	1,11

Legenda: FCA: Fruto com amêndoa; FSA: Fruto sem amêndoa; TCF: teor de carbono fixo; TMV: Teor de materiais voláteis; TC: Teor de cinzas; PCS: Poder calorífico superior; PCL: Poder calorífico líquido. ¹ O poder calorífico inferior necessário para o cálculo do poder calorífico inferior foi determinado utilizando-se os valores de teor de hidrogênio determinados na análise da composição química orgânica: Frutos com amêndoa = 6,57% de H e Fruto sem amêndoa = 6,5% de H. ² O poder calorífico líquido foi calculado considerando do teor de umidade médio dos frutos (15,15%) apresentado na Tabela 5. Valores médios seguidos de valores entre parenteses representam o coeficiente de variação na análise. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (5%).

A presença da amêndoa não interferiu nos teores de carbono e materiais voláteis. Para a madeira, o teor de carbono fixo (TCF) varia entre 15 e 25% (BRAND, 2010), semelhantes aos encontrados neste estudo. Maiores teores de carbono fixo na biomassa resulta em uma queima mais lenta, requerendo um maior tempo de residência durante a combustão. O TCF médio de *A. tessmannii* foram superiores a média de outras espécies madeireiras de alta

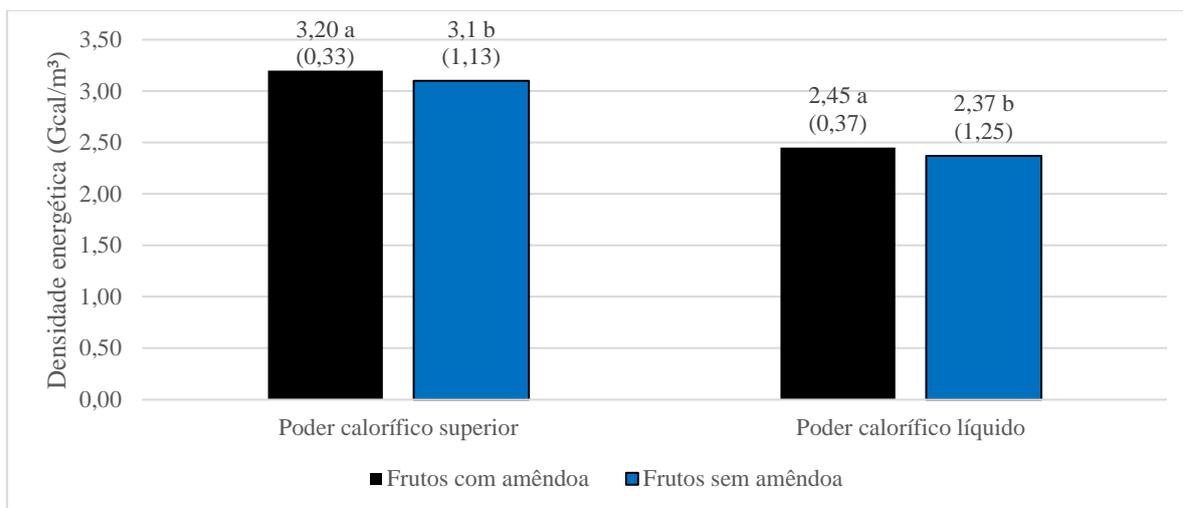
densidade aparente, como: *Dipteryx odorata* (16%) (SOUZA; VALE, 2016), *Bowdichia nitida* (15,13%) e *Euxylophora paraensis* (15,46%) (SILVA et al., 2017).

As biomassas madeireiras apresentam entre 75 e 85% de teor de materiais voláteis (TMV), os frutos de *A. tessmannii* apresentou valores médios inferiores a biomassas madeireiras de alta densidade aparente, como: *Dipteryx odorata* (83,60%) (SOUZA; VALE, 2016), *Bowdichia nitida* (84,45%) e *Euxylophora paraensis* (82,83%) (SILVA et al., 2017). O teor de materiais voláteis são formados por compostos orgânicos que volatilizam no processo de combustão se misturando com o oxigênio do ar, promovendo reações de combustão homogênea sendo importante na ignição da biomassa (BRAND, 2010). Como os valores médios encontrados neste estudo foram baixos, pode haver maior dificuldade de ignição dos frutos.

A presença de amêndoa interferiu positivamente em maiores valores médios de poder calorífico superior (PCS) e líquido (PCL). Para queima direta de lenha (madeira), é adotado um valor de 3.300 kcal/kg (BRAND, 2010). A espécie *A. tessmannii* apresentou PCS médio superior em ambos os tratamentos, comparados às de madeira de alta densidade aparente, como: *Manilkara huberi* (4881 kcal/kg) e *Apuleia leiocarpa* (4709 kcal/kg) (NOBRE et al., 2014). O poder calorífico está relacionado a quantidade de energia contida no material por unidade de massa, quanto maior for o PCS, maior será o potencial de rendimento energético da biomassa, portanto, maiores valores são recomendados para sua utilização na queima direta.

A densidade energética (Figura 4) foi influenciada pela presença da amêndoa, havendo um ganho energético. A densidade energética considera a energia contida em um dado volume de biomassa. Normalmente, quanto maior a densidade da biomassa, maior será a quantidade de energia disponível por unidade de volume. Dessa forma, os frutos de *A. tessmannii* apresentaram densidade energética média semelhantes à madeiras de alta densidade aparente, tais como: *Pseudopiptadenia psilostachya* (2,09 Gcal/m³); *Hymenaea sp.* 3,602 (Gcal/m³); *Manilkara sp.* (3,58 Gcal/m³); *Pouteria sp.* (2,55 Gcal/m³) e *Peltogyne sp* (2,75 Gcal/m³) (PEREIRA et al., 2020).

Figura 4 - Densidade energética dos frutos de *A. tessmannii* com e sem amêndoas.

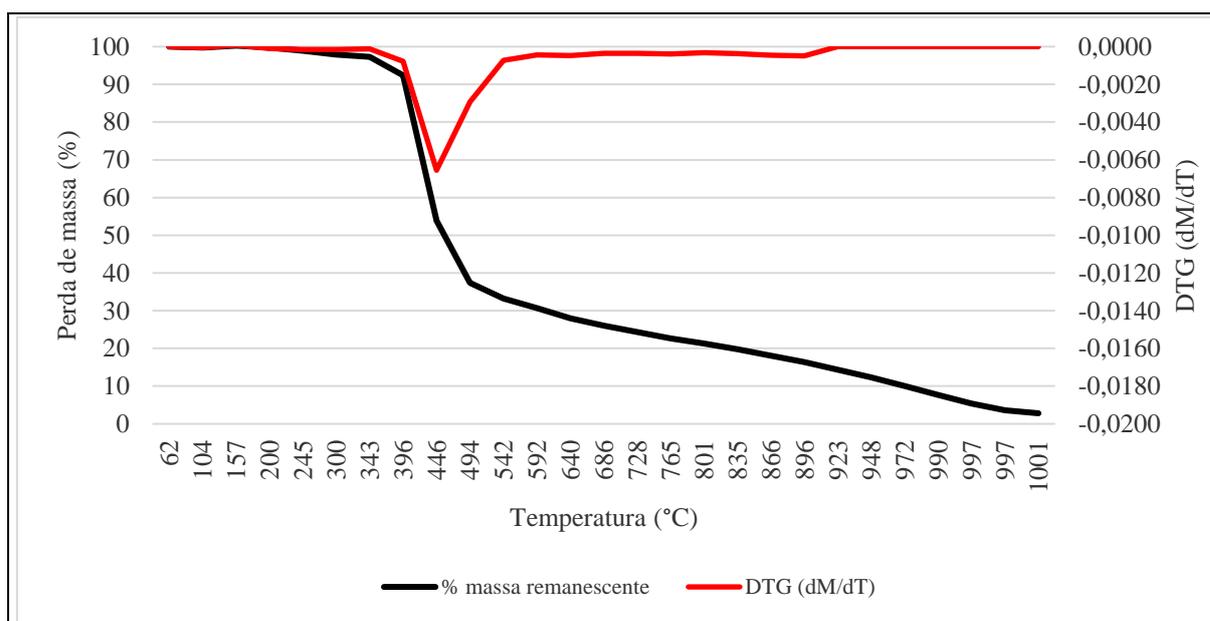


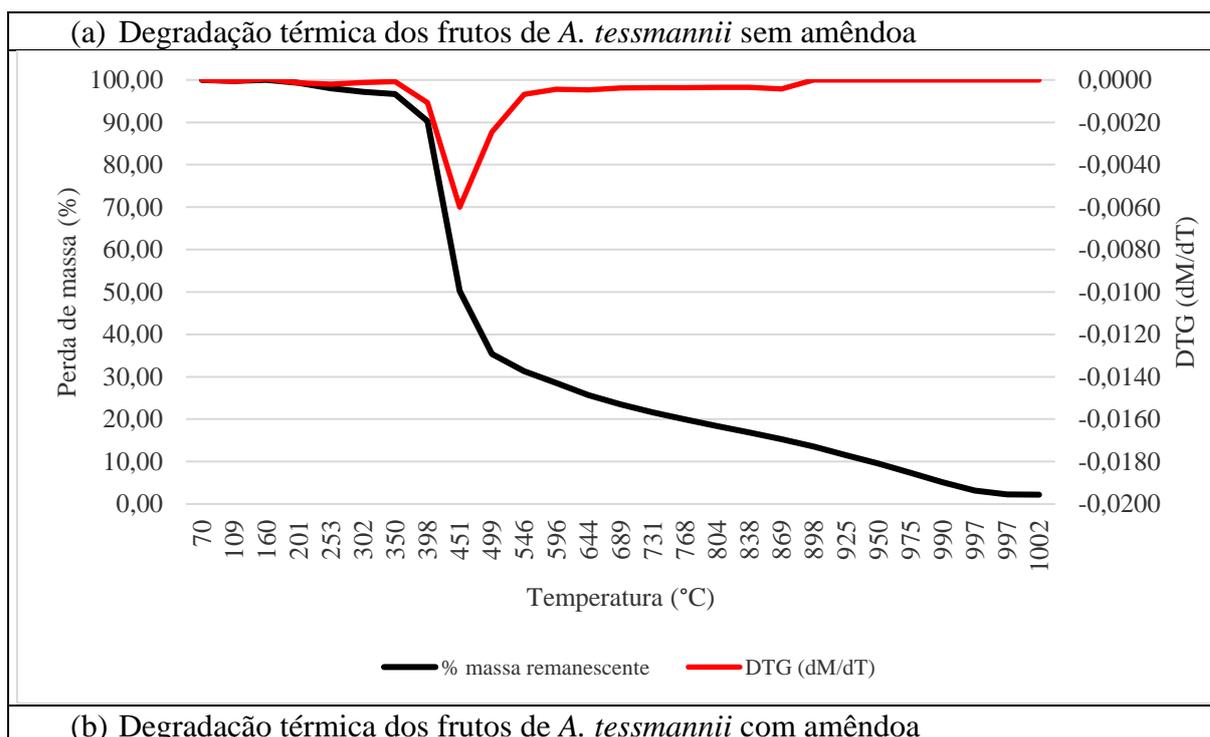
Médias seguidas da mesma letra são significativamente iguais pelo teste de Tukey (5% de significância).

Fonte: elaborado pela autora (2022).

A análise termogravimétrica dos frutos com e sem amêndoa (Figura 5 e Tabelas 9, 10 e 11) demonstrou que a presença da amêndoa não afetou o comportamento da degradação térmica. Devido ao maior teor médio de carbono fixo, a biomassa apresenta maior estabilidade térmica, realizando o processo de combustão mais lentamente. O maior pico de perda de massa ocorreu na etapa de degradação dos materiais voláteis entre 444 e 500°C.

Figura 5 - Degradação térmica dos frutos de *A. tessmannii* em função da presença ou ausência da amêndoa.





Fonte: elaborado pela autora (2022).

Tabela 9 - Variações nas temperaturas de degradação térmica dos frutos em função das curvas de Termogravimetria.

Tratamento	Temperatura início da perda de massa (°C)	Temperatura de emissão e ignição dos voláteis (°C)	Temperatura de início da queima dos voláteis (°C)	Temperatura de início de degradação do carbono fixo (°C)	Temperatura de estabilização da massa (°C)
FCA	154 a	372 a	450 a	498 a	1001 a
FSA	200 a	342 a	421 a	493 a	1003 a
CV (%)	26,59	7,30	5,86	0,36	0,18

Legenda: FCA: Fruto com amêndoa; FSA: Fruto sem amêndoa; CV: Coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (5%).

Tabela 10 - Variações nas massas remanescente de degradação térmica dos frutos em função das curvas de Termogravimetria.

Tratamento	Massa do início da perda de massa (%)	Massa na temperatura de emissão e ignição dos voláteis (%)	Massa na temperatura de início da queima dos voláteis (%)	Massa na temperatura de início de degradação do carbono fixo (%)	Massa na temperatura de estabilização da massa (%)
FCA	99,46 a	93,50 a	50,59 a	35,65 a	2,64 a
FSA	99,74 a	97,50 a	74,05 a	37,94 a	3,14 a
CV (%)	0,17	3,43	32,37	1,74	6,76

Legenda: FCA: Fruto com amêndoa; FSA: Fruto sem amêndoa; CV: Coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (5%).

Tabela 11 - Variações de temperatura nas velocidades de pico de perda de massa em função da Curva DTG.

Tratamento	Temperatura no primeiro pico (°C)
FCA	450 a
FSA	444 a
CV (%)	0,50

Legenda: FCA: Fruto com amêndoa; FSA: Fruto sem amêndoa; CV: Coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (5%).

Em espécies de exploração madeireira que apresentam alta densidade aparente média, a uma taxa de aquecimento de 10°C/min, o comportamento térmico foi diferente, com maior pico de velocidade de perda de massa (%) em temperaturas menores do que as observadas para *A. tessmannii*, tais como: *Dipteryx odorata* (250 a 400°C) e *Mezilaurus itauba* (250 a 375 °C) (POLETTO, 2016); *Mimosa tenuiflora* e *Bauhinia cheilantha* (240 a 380°C) (CARNEIRO et al., 2013). Explicado pela diferença na composição química dos componentes orgânicos entre as biomassas.

1.4 CONCLUSÃO

Quanto às propriedades físicas, química e energéticas dos frutos:

- O teor de umidade dos frutos coletados e armazenados ao ar foi baixo, favorecendo o uso energética deste recurso de biomassa;
- A densidade a granel dos frutos é alta, superior a outras biomassas o que o torna um biocombustível potencial para queima direta;
- A presença da amêndoa nos frutos afeta o teor de cinzas e poder calorífico dos frutos, reduzindo o teor de cinzas e aumentando o poder calorífico superior;
- A densidade energética dos frutos é alta e maior para os que possuem amêndoas;
- Os maiores teores de potássio e sílica nos frutos implica no agravamento dos problemas de deposição nos equipamentos de queima direta; ou seja, terão severa propensão a incrustações (F_i), média taxa de escória ou índice de viscosidade (S_R). Além disso, os frutos terão severo risco de corrosão (AI) ao contrário do comportamento da madeira.
- A análise termogravimétrica dos frutos com e sem amêndoa demonstrou que a presença ou não da amêndoa não afetou o comportamento de queima.

CAPÍTULO II: CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL OBTIDO DOS FRUTOS DE *Attalea tessmannii*

2.1 INTRODUÇÃO

Na florestal tropical Amazônica há uma predominância considerável de palmeiras nos remanescentes florestais que são utilizados para diversos fins, dentre eles a bioenergia. Estas espécies fazem parte da complementação de renda das famílias tradicionais extrativistas e as cadeias de bioenergia podem ser incluídas nos planos de manejo das reservas extrativistas, abrindo possibilidades de se produzir óleos, álcool, pellets e carvão vegetal, por exemplo.

O carvão vegetal pode ser utilizado para diversos fins, e no contexto da produção extrativista, a mesma está voltada para a maior demanda regional, que em sua maioria é para cocção de alimentos, abastecendo inclusive os próprios moradores, escolas e comércios locais.

Grande parte do carvão vegetal brasileiro, tanto para uso industrial como para uso doméstico, é produzido em fornos artesanais (mesmo em escala industrial), produzindo material heterogêneo e de qualidade duvidosa, tendo em vista que não há controle sobre as condições durante a carbonização (oxigênio, temperatura e pressão), alterando as propriedades físicas, químicas e energéticas do carvão (ROSA et al., 2012; CARNEIRO et al., 2013).

A maior produção de carvão vegetal brasileira é obtida se utilizando madeira, seja ela nativa ou plantada. No entanto, diversos estudos têm apresentado espécies não madeireiras e agroindustriais que podem ser utilizadas e apresentam potencial energético semelhante ou até melhor que a madeira em alguns aspectos (REIS et al., 2015; EVARISTO et al., 2016; PADILLA, 2018; PEREIRA, GROTO, 2018; DIONÍZIO et al., 2019). Diversas espécies da família botânica Arecaceae têm sido mencionadas como potenciais para a produção de carvão vegetal, tais como: palmeiras do gênero *Attalea* como: *A. tessmannii* (cocão, coco-palmeira) (SOUSA et al., 2022), a *A. brejinhoensis* (ouricuri) e a *A. funifera* (piaçaveira) (GUIMARÃES e SILVA, 2012); *A. speciosa* (babaçu) (VENTURIERI et al., 2017); *Acrocomia aculeata* (macaúba) (EVARISTO et al., 2016). Porém, alguns fatores como disponibilidade, produtividade e qualidade da biomassa, ainda são limitantes para inserção destes produtos em mercados de maior demanda.

O padrão de qualidade do carvão vegetal destinado a cocção de alimentos ainda não é regulamentado por nenhuma legislação vigente. Apenas o Estado de São Paulo apresentou a resolução nº 40/2015, nominada “Selo Premium de Carvão vegetal” de adesão voluntária aos

comerciantes. Na Europa existe a norma EN n° 1860/2005, atribuindo requisitos mínimos para as propriedades do produto para que este apresente uma qualidade adequada para comercialização de carvão vegetal destinado à cocção de alimentos (AFNOR, 2005; SÃO PAULO, 2015).

Desta forma, a necessidade de utilizar biomassas alternativas e resíduos com complemento à aplicação da madeira para produção de carvão vegetal de uso doméstico, e a importância de se determinar aspectos relacionados à qualidade do carvão vegetal levam ao desenvolvimento de pesquisas nesta área.

Portanto, o objetivo geral deste capítulo está centralizado em caracterizar o carvão vegetal da espécie *A. tessmannii* produzido pela cooperativa COOPERMOGNO, no estado do Acre e produzido em laboratório.

Os objetivos específicos foram:

- Correlacionar as propriedades físicas, químicas e energéticas do carvão produzido na cooperativa com o carvão produzido em laboratório.
- Avaliar a influência a presença das amêndoas na qualidade do carvão do vegetal;
- Analisar a qualidade do carvão vegetal comparativamente ao carvão de madeiras utilizadas na mesma região de estudo para a produção de carvão vegetal.
- Determinar a qualidade do carvão para uso na cocção de alimentos.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 - MATERIAL ESTUDADO

Para produção do carvão vegetal *A. tessmannii*, na COOPERMOGNO, os frutos foram coletados diretamente do solo pelos extrativistas e encaminhados ao local de armazenamento. Após isso, os frutos são cortados ao meio e retiradas as amêndoas usadas para produção de óleo.

Os resíduos são encaminhados para o forno do tipo “rabo-quente”, com capacidade de 5 toneladas de frutos, onde a carbonização é controlada por meio da observação visual da densidade e coloração da fumaça liberada pelos orifícios. O tempo de produção do carvão vegetal de *A. tessmannii* demora em torno de oito a dez dias considerando o tempo de enchimento e a retirada do carvão vegetal. Para a carbonização são três dias, variando de acordo com as condições ambientais do local. Cinco a sete dias para o processo de resfriamento do forno. mas geralmente demora em torno de três dias para a retirada.

Após esse processo, o carvão vegetal é retirado do forno manualmente, com auxílio de pás, ensacados em sacos próprios para armazenamento de carvão e armazenados em galpão, seco, arejado e acima do solo (Figura 6).

Figura 6 - Armazenamento dos sacos de carvão vegetal de *A. tessmannii* em cima de *pallets*.



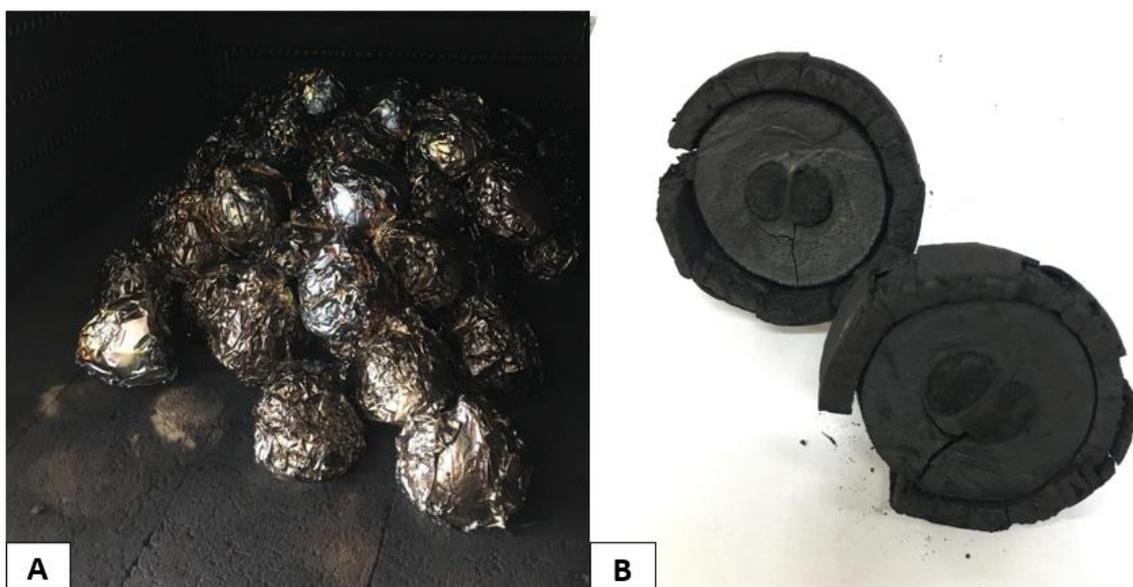
Fonte: a autora (2022).

Oriundos deste procedimento, foram coletados 10 sacos de carvões vegetais (totalizando 50 kg) transportados até o Departamento de Engenharia Florestal da UDESC –

Centro de Agroveterinárias, campus de Lages para realização das análises. Ficando armazenados em câmara de climatização.

Para obtenção do carvão vegetal produzido em laboratório (Figura 7), os frutos cortados ao meio foram carbonizados em mufla com taxa de aquecimento de $1,67^{\circ}\text{C}/\text{min}$ até a temperatura final de 450°C , com 30 minutos na temperatura final.

Figura 7 - Saída da carbonização do carvão vegetal de *Attalea tessmannii* em forno mufla (A) e o fruto carbonizado (B).

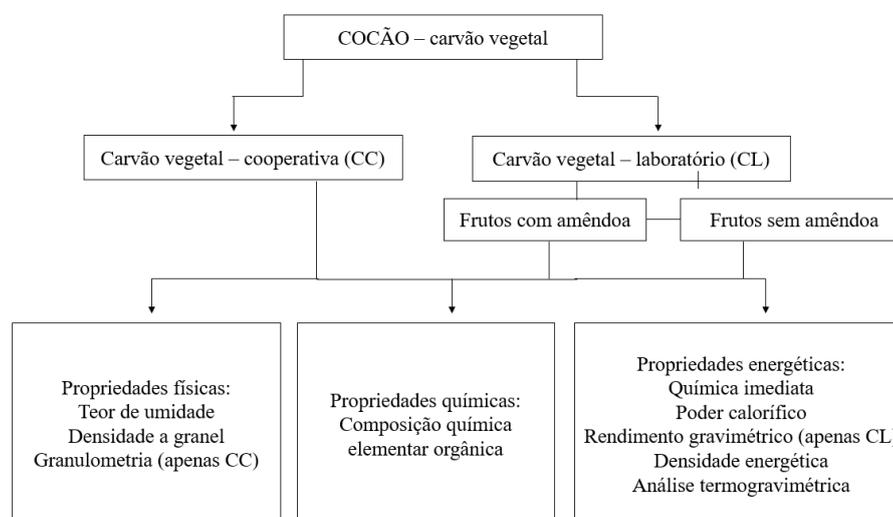


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

2.1.1 Análises laboratoriais

Na Figura 8, está representado o fluxograma de análises realizadas com o carvão vegetal de *A. tessmannii*.

Figura 8 - Fluxograma de análises realizadas no carvão vegetal de *A. tessmannii* produzido pela cooperativa COOPERMOGNO e no laboratório.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

2.2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E ENERGÉTICAS DO CARVÃO VEGETAL

Foram realizadas as análises para caracterização das propriedades físicas, químicas e energéticas do carvão vegetal de *A. tessmannii* (Tabela 12)

Tabela 12: Análises e normas para a determinação das propriedades físicas, químicas e energéticas no carvão vegetal de *Attalea tessmannii*.

Propriedades	Análises (Normas utilizadas)
Propriedades Físicas	Teor de umidade (NBR 14929/2017) Densidade a granel* Granulometria (EN 15149-1/2010)
Propriedades Químicas	Composição química elementar orgânica (PO-GT-6012; PO-GT-3012; PO-GT-6013)**
Propriedades Energéticas	Composição química imediata (ASTM D1762/2013) Poder calorífico superior e poder calorífico líquido (DIN 51900/2000) Rendimento gravimétrico* Densidade energética* Análise termogravimétrica*

Legenda: *Metodologias descritas no texto; ** PO-GT-6012 (Determinação de enxofre no equipamento S-832); PO-GT-3012 (Determinação do teor de cloro (Cl) por ataque com bomba calorimétrica); PO-GT-6013 (Determinação de carbono, hidrogênio e nitrogênio). Procedimentos do Laboratório de análises químicas da Associação Brasileira de Cimento Portland** Análises cujas metodologias estão descritas no texto. Fonte: elaborado pela autora (2022).

O teor de umidade foi obtido de três amostras de cada um dos dez sacos de carvão vegetal produzidos pela cooperativa, e três amostras do carvão vegetal produzido em laboratório. Foram submetidos a secagem em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ até que o carvão atingisse a massa constante.

Para a determinação da densidade a granel do carvão vegetal de *A. tessmannii*, adaptou-se a metodologia indicada por Protásio et al. (2011). A densidade a granel do carvão vegetal produzido na cooperativa e no laboratório (Figura 9), conhecida também por densidade a granel (“bulk density”) foi obtida por meio da pesagem do material contido em um recipiente com dimensões 12,5 x 26 x 25cm e pesadas em balança de precisão.

O resultado da densidade a granel foi obtido da relação entre a massa e o volume do recipiente, conforme equação 9:

$$DG = \frac{P1 - P2}{V} \quad (9)$$

Onde: P1: Peso da amostra + recipiente (g) P2: Peso do recipiente (g) V: Volume do recipiente (cm^3).

Figura 9 – Acomodação do carvão vegetal de *A. tessmannii* produzido pela cooperativa (A) e em laboratório (B).



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A granulometria foi realizada somente para o carvão da cooperativa. Tendo em vista que, os carvões vegetais produzidos em laboratório não sofreram danos físicos por não passar pelas etapas de ensacamento, armazenamento e transporte. A análise foi realizada de acordo com a EN 15149-1 (2010), com ajustes. Foi utilizada peneira de 3,25 mm ao invés de 3,15 mm conforme especificado na norma. Com o carvão produzido em laboratório obteve-se o rendimento gravimétrico médio em carvão vegetal resultado da carbonização, conforme a equação 10:

$$RG = \frac{\text{Massa do carvão vegetal}}{\text{Massa da biomassa in natura(0\% de umidade)}} \times 100 \quad (10)$$

A densidade energética (DE) foi calculada pelo produto entre o poder calorífico superior (PCS) e a densidade a granel média (DG) do carvão vegetal produzido pela cooperativa e no laboratório (com e sem amêndoa). Dentre as propriedades energéticas, a análise termogravimétrica (TGA) foi realizada para determinar o comportamento térmico do material. A análise foi realizada em uma balança termogravimétrica, TGA 2000 da marca NAVAS Instruments. Foi utilizada massa entre 0,7 a 0,9g de material para cada repetição e com granulometria entre 40 e 60 mesh. A combustão foi conduzida sob condição de ar atmosférico, taxa de aquecimento de 20 °C/min, desde a temperatura ambiente até 1000 °C, até massa residual constante. As curvas termogravimétricas (TG), para a perda de massa, foram definidas em função da temperatura.

Para avaliar a qualidade do carvão vegetal produzido na cooperativa e no laboratório foram estabelecidos os critérios estabelecidos pela Resolução de São Paulo nº40/2015 e a norma europeia EN nº1860/2005, conforma Tabela 13.

Tabela 13 - Parâmetros de qualidade do carvão vegetal estabelecidos pelas normativas nº 40 (Brasil) e nº 1860 (Europa).

Parâmetros	Resolução nº40 (Selo Premium de Carvão Vegetal – Brasil)	Normativa Europeia nº 1860
Aspecto	Cor preta brilhante, não pode apresentar pedaços de madeira semi-carbonizada e resíduos de madeira ou cinzas, e preferencialmente isento de poeira	Produto sólido de carbonização de madeira ou outro material vegetal que não tenha sido quimicamente tratado
Densidade aparente	>200kg/m ³	>130kg/m ³

Tamanho da partícula (<12 mm)	≤ 5 % do total deve ser < 12 mm	De 0 mm a 150 mm, onde <10 % pode exceder 80 mm; pelo menos 80 % deve ser > 20 mm e 7 % < 10 mm.
Teor de umidade	< 5 %	≤ 8 %
Teor de materiais voláteis	-	-
Teor de carbono fixo	> 73 %	≥ 75 %
Teor de cinzas	< 2 %	≤ 8 %

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

2.2.2 PROCESSAMENTO DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram tabulados e processados no software Microsoft Office Excel® 365 Pro Plus. Para todas as propriedades analisadas foram obtidas as médias e coeficiente de variação. Foram analisados três tratamentos: CCA: carvão de laboratório com amêndoas, CSA: carvão de laboratório sem amêndoas e CC: carvão produzida pela cooperativa, onde foi aplicada a ANOVA. Para a análise das variações entre médias foi aplicado o teste de Tukey (5%).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento gravimétrico e as propriedades físicas do carvão vegetal dos frutos de *A. tessmannii* podem ser observados na Tabela 14. O carvão vegetal com a presença da amêndoa apresentou maior rendimento gravimétrico. O teor de carbono e hidrogênio, assim como a densidade da biomassa conferem maior resistência na degradação térmica (influenciado também pelo teor de lignina) durante o processo de carbonização (CASTRO, 2011; SANTOS et al., 2012). Estes fatores contribuem para maior rendimento gravimétrico do carvão vegetal.

Tabela 14 – Propriedades físicas do carvão dos frutos de *Attalea tessmannii*.

Biomassa	RG (%)	TU (%)	DG (kg/m ³)
CC	-	6,04 b (3,55)	465,81 a (4,68)
CSA	34,95 b (1,13)	12,83 a (22,53)	277,33 b (10,43)
CCA	35,82 a (2,45)	11,66 a (22,85)	280,78 b (6,57)
CV (%)	1,93	22,34	6,88

Legenda: CC: Carvão da cooperativa; CSA: Carvão produzido em laboratório sem amêndoa; CCA: Carvão produzido em laboratório com amêndoa; RG: Rendimento gravimétrico do carvão vegetal; TU: Teor de umidade na base úmida; MEA: DG: Densidade a granel do carvão. Valores médios seguidos de valores entre parênteses representam o coeficiente de variação na análise. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (5%).

O rendimento gravimétrico dos tratamentos (CCA e CSA) são considerados altos, estando acima de 30%. Valores semelhantes de rendimento gravimétrico para espécies madeireiras amazônicas (carbonização em temperatura final de 500°C): *Handroanthus serratifolius* (34,04%) e *Hymenolobium petraeum* (34,0%) (SILVA et al., 2020). Importante ressaltar que em condições ambientais controladas o rendimento gravimétrico é maior do que em fornos artesanais, como por exemplo, o forno do tipo “rabo quente” com valores entre 20 e 28% (OLIVEIRA, 2012).

O tratamento CC (carvão oriundo da cooperativa) em condições de armazenamento na cooperativa, descrita na metodologia, apresentou menores valores de teor de umidade (Tabela 14). Os maiores valores foram obtidos para os carvões produzidos em laboratório (CSA e CCA), não havendo diferença em relação à presença da amêndoa. Estes valores são justificados pelo seu armazenamento em câmara climatizada, com controle de temperatura e umidade que condicionam o material a permanecer em 12% de TU.

Elevados teores de umidade não são desejados para o carvão vegetal. Tendo em vista, a redução do poder calorífico útil e também, maior tempo gasto na primeira etapa da combustão (evaporação e eliminação da água) (BRAND, 2010). Em estudo desenvolvido por Sousa et al. (2022) foi encontrado valor médio 4,22% de TU do carvão vegetal da mesma espécie produzido na mesma cooperativa menor do que neste estudo, podendo ser justificado pelo período de armazenamento do carvão vegetal

Valores médios semelhantes ao TU do carvão da cooperativa, foram encontrados nas espécies madeireiras amazônicas: *Ceiba pentandra* (6,91%) (FORTALEZA et al., 2019) e *Apuleia leiocarpa* (8%) (SCHONINGER; ZINELLI, 2012). Valores médios semelhantes ao TU nos carvões de laboratório, foi encontrado em *Hymenaea courbaril* (11,27%) (SCHONINGER; ZINELLI, 2012).

Quanto ao TU, o carvão vegetal produzido na cooperativa se enquadrou apenas na normativa europeia nº 1860/2005 e os carvões CSA e CCA não se enquadraram em nenhuma das duas normativas de comparação utilizadas neste estudo.

A densidade a granel do carvão vegetal (Tabela 14) do tratamento CC foi superior ao carvão CCA e CSA. Esta discrepância pode ser explicada pelo fato do carvão produzido na cooperativa ser oriundo majoritariamente de frutos inteiros, que não passaram pelo processo de extração de amêndoas por serem um lote de frutos velhos, já em processo de degradação. Já o carvão produzido em laboratório foi produzido com frutos cortados ao meio, dificultando a acomodação no recipiente de análise (Figura 9), pela irregularidade geométrica das peças componentes das amostras. A presença da amêndoa não influenciou na densidade a granel do carvão produzido em laboratório.

Normalmente, quanto maior a densidade da biomassa, maior será a densidade do carvão vegetal produzido. Esta propriedade influencia na resistência mecânica do carvão vegetal, aspecto positivo durante o transporte já que o carvão não quebrará tanto quanto um carvão vegetal com densidade inferior (FORTALEZA et al., 2019). Do ponto de vista econômico, os custos são menores ao transportar carvão vegetal com maiores densidades já que ocupam volumes menores (BRAND, 2010).

No estudo realizado por Sousa et al. (2022) com carvão vegetal de *A. tessmannii* produzido pela cooperativa, os autores encontraram valores médios para densidade a granel de 330 kg/m³, inferiores aos encontrados neste estudo em CC (Tabela 14). Justificado pela mistura entre frutos inteiros e cortados ao meio. Valores inferiores aos carvões produzidos em laboratório (CSA e CCA) (Tabela 15) foram encontrados para resíduos madeireiros para as espécies amazônicas: *Manilkara huberi* (227,5 kg/m³), *Cedrela* sp. (114,7 kg/m³), *Hymenaea*

sp. (184,1 kg/m³), *Handroanthus* sp. (203,3 kg/m³), *Ocotea cinerea* (131,7 kg/m³), *Dinizia excelsa* (216,6 kg/m³) e *Hymenolobium excelsum* (165,5 kg/m³) (MORAIS, 2018).

A densidade a granel dos carvão vegetais de *A. tessmannii* produzidos na cooperativa e no laboratório se enquadraram tanto para a normativa brasileira nº 40/2015, quanto para a normativa europeia nº 1860.

Quanto à granulometria (Tabela.15) realizada somente no carvão vegetal de *A. tessmannii* produzido pela cooperativa, após as etapas de transporte e armazenamento, a maior parte da granulometria foi acima de 16 mm. O teor de finos foi alto (10,56%), demonstrando que o material não apresentou boa resistência física, ainda que possua alta densidade.

Tabela 15 – Granulometria do carvão vegetal de *A. tessmannii* produzido na cooperativa.

Distribuição granulométrica das partículas	CC (%)
16mm	89,44 (3,04)
8mm	6,20 (33,69)
3,35mm	1,71 (31,49)
1,40mm	0,63 (15,49)
Abaixo de 1,40 mm	2,02 (16,11)
	10,56

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para o carvão vegetal comercializado no Estado do Mato Grosso - Brasil, oriundo de resíduos madeireiros, com diferentes marcas, o teor de finos variou entre 0,6 e 8,4% (COSTA et al., 2017). O carvão vegetal do estado do Mato Grosso é produzido com resíduos de serraria, as espécies exploradas são, em sua maioria, semelhantes as da região deste estudo.

O teor de finos do carvão vegetal de *A. tessmannii* (Tabela 15) não se enquadrou no parâmetro estabelecido pela normativa brasileira nº40/2015 e nem pela normativa europeia nº1860/2005.

Quanto à composição elementar orgânica do carvão vegetal de *A. tessmannii* (Tabela 16), o teor de carbono presente no carvão vegetal quase dobrou em relação à biomassa (Tabela 5). Os valores entre os tratamentos foram próximos entre si. Estes valores são esperados devido a transformação química em função da degradação térmica que ocorre no processo de carbonização. Já que quanto maior o teor de carbono, melhor será a qualidade do carvão vegetal. Três marcas de carvões vegetais comercializados no Estado do Pará, oriundos de resíduos de serraria, apresentou teor de Carbono variando entre 77 e 84% e Hidrogênio variando entre 2,93

e 3,26% (OLIVEIRA et al., 2019).

Tabela 16 – Composição química orgânica do carvão vegetal de *A. Tessmannii* produzido pela cooperativa e em laboratório.

Composição química orgânica				
Elemento químico	Fórmula química	CC	CSA	CCA
Carbono	C	78,47	78,70	77,80
Hidrogênio	H	3,15	3,52	3,80
Nitrogênio	N	0,70	0,54	0,61
Enxofre	S	0,02	0,06	0,06
Cloreto	Cl	0,02	0,02	0,01

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os teores de Nitrogênio, Enxofre e Cloro (Tabela 16) são baixos, tendo como aspecto positivo, já que os gases emitidos podem fazer mal a saúde humana quando comparados a teores maiores destes elementos. Três marcas de carvões vegetais comercializados no Estado do Pará, oriundos de resíduos de serraria, apresentou teor de nitrogênio variando entre 1,18 e 1,24% superiores aos encontrados em todos os tratamentos deste estudo e enxofre variando entre 0,05 e 0,09% (OLIVEIRA et al., 2019), superior ao CC e semelhantes aos tratamentos CCA e CSA.

A Tabela 17 apresenta os resultados referentes à composição química imediata e poder calorífico do carvão vegetal de *A. tessmannii*. A modificação das variáveis de carbonização e a presença ou não da amêndoa não influenciaram na composição química imediata.

Tabela 17 - Composição química imediata do carvão dos frutos de *A. tessmannii*.

Biomassa	TCF (%)	TMV (%)	TC (%)	PCS (Kcal/Kg)	PCL ¹ ² (Kcal/Kg)
CC	66,93 a (0,46)	29,01 a (0,86)	4,06 a (2,74)	7371 a (3,21)	6730 a (3,36)
CSA	68,61 a (6,27)	27,70 a (15,15)	3,69 a (8,02)	7002 b (1,74)	6120 b (0,65)
CCA	68,40 a (0,57)	27,87 a (1,20)	3,74 a (4,37)	7315 a (0,63)	5947 (1,80)
CV (%)	3,67	8,64	5,37	1,56	1,63

Legenda: CC: Carvão da cooperativa; CL: Carvão produzido em laboratório; TCF: teor de carbono fixo; TMV: Teor de materiais voláteis; TC: Teor de cinzas; PCS: Poder calorífico superior; PCL: Poder calorífico líquido. ¹ O poder calorífico inferior necessário para o cálculo do poder calorífico inferior foi determinado utilizando-se os valores de teor de hidrogênio determinados na análise da composição química orgânica: Carvão da cooperativa = 3,15% de H e carvão produzido no laboratório: CSA: 3,52 e CCA = 3,80 de H² O poder calorífico líquido foi calculado considerando do teor de umidade médio do carvão da cooperativa (6,06%) e do carvão produzido em laboratório: CCA (12,83%) e CSA (11,66%). Valores entre parenteses representam o coeficiente de variação na análise.

O TCF corresponde à quantidade de carbono, o qual depende do teor de lignina da biomassa. Seu teor influencia diretamente na estabilidade e resistência térmica do carvão vegetal, quanto maior for seu teor melhor será a qualidade do carvão vegetal (PROTÁSIO et al., 2013). Valores médios similares foram encontrados para a espécie madeireira amazônica: *Ceiba pentandra* (65,27%) (FORTALEZA et al., 2019), e inferiores aos observados para *Handroanthus serratifolius* (83,11%) e *Hymenolobium petraeum* (80,85%) (SILVA et al., 2020). Os valores encontrados de TCF para o carvão vegetal de *A. tessmannii* não se enquadraram no parâmetro estabelecidos pelas normativas nº40/2015 (brasileira) e nº1860 (europeia).

Quanto ao teor de materiais voláteis (TMV) (Tabela 17), é composto pelas substâncias orgânicas que restaram no carvão vegetal. Seu baixo teor é desejado, considerando que maiores teores ocasionam muita fumaça e menor eficiência energética (FREDERICO, 2009). Em se tratando do carvão vegetal das espécies madeireiras, este valor é bem variável, como por exemplo, as espécies: *Ceiba pentandra* (33,77%) (FORTALEZA et al., 2019), *Handroanthus serratifolius* (16,04%) e *Hymenolobium petraeum* (18,32%) (SILVA et al., 2020) podendo ser superiores ou inferiores aos observados neste estudo.

Quanto ao teor de cinzas do (TC) (Tabela 17), é composto pelos elementos minerais que não se degradaram durante a carbonização, seu teor baixo é desejado em decorrência da diminuição do valor calórico combustível (PROTÁSIO et al., 2013). Devido às biomassas não madeireiras e agroindustriais absorverem maior quantidade de minerais, é esperado que seu teor de cinzas seja maior do que em espécies madeireiras. Como por exemplo, as espécies: *Ceiba pentandra* (0,97%) (FORTALEZA et al., 2019), *Handroanthus serratifolius* (0,84%) e *Hymenolobium petraeum* (0,83%) (SILVA et al., 2020) comprovam esta tendência quando comparadas com o carvão vegetal de *A. tessmannii*.

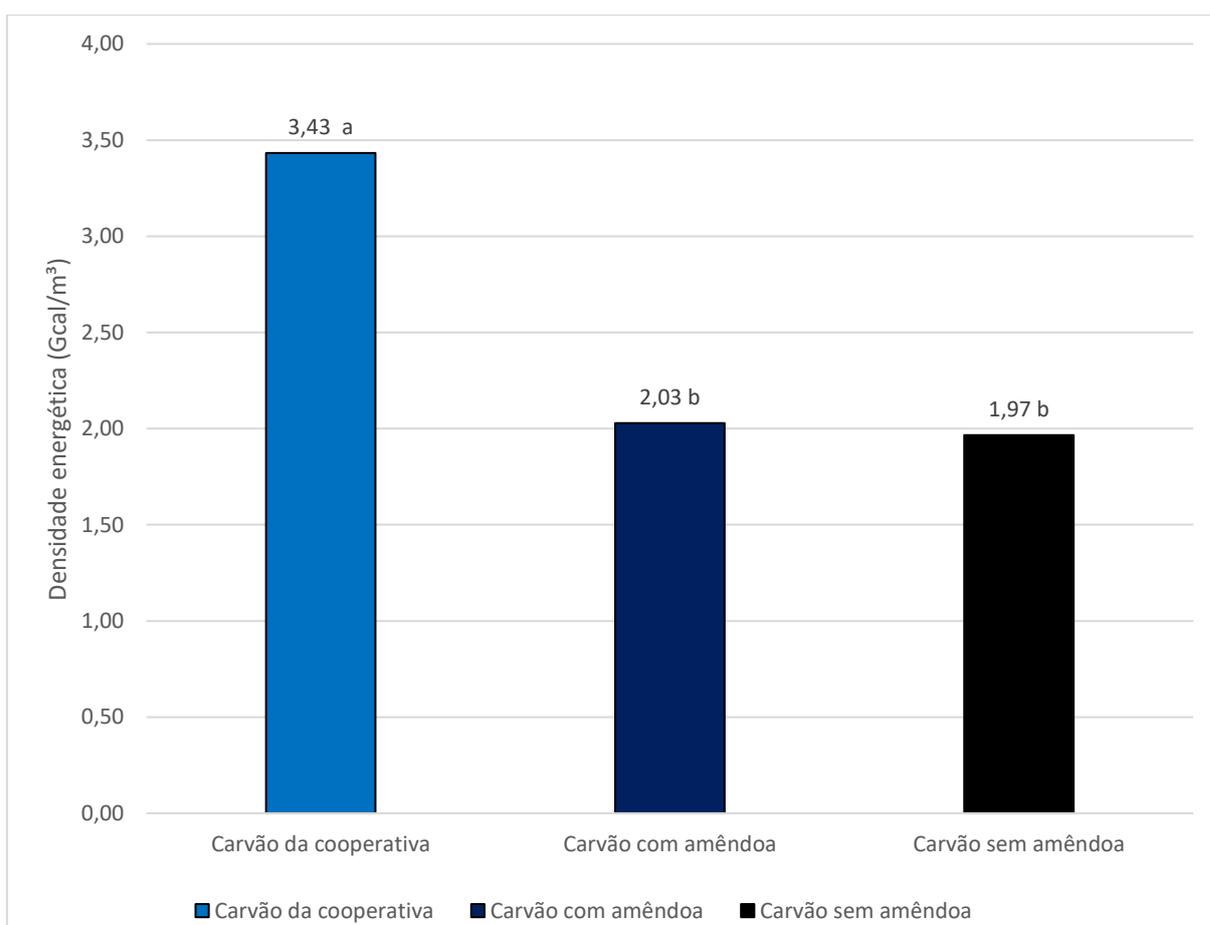
O teor de cinzas do carvão vegetal de *A. tessmannii* se enquadrou apenas no parâmetro estabelecido pela normativa europeia nº1860/2005.

O Poder calorífico superior (Tabela 17) apresentou melhores resultados para os tratamentos CC e CCA, provavelmente em decorrência da presença da amêndoa nos mesmos. Estes valores são considerados altos, semelhantes ao encontrado por Sousa et al. (2022) com a mesma biomassa produzida na cooperativa (PCS médio de 7.323,40kcal/kg). O poder calorífico do combustível tem relação direta com o teor de carbono fixo (CHAVES et al., 2013). Sendo influenciado também por outras propriedades: teor de lignina, densidade, teor de carbono fixo e teor de materiais voláteis. Todas as variáveis estando favoráveis, em conjunto contribuem para maior qualidade do carvão vegetal.

Valores semelhantes de PCS também foram encontrados em carvões vegetais de espécies madeireiras amazônicas: *Handroanthus serratifolius* (7.510 kcal/kg), *Hymenolobium petraeum* (7.340 kcal/kg) (SILVA et al., 2020), *Manilkara huberi* (7.043 kcal/kg), *Cedrela* sp. (7.111 kcal/kg), *Hymenaea* sp. (7.309 kcal/kg), *Handroanthus* sp. (7.378 kcal/kg), *Ocotea cinerea* (7.330 kcal/kg), *Dinizia excelsa* (7.072 kcal/kg) e *Hymenolobium excelsum* (7.453 kcal/kg) (MORAIS, 2018).

A Figura 10 apresenta os resultados de densidade energética do carvão vegetal de *A. tessmannii* produzido pela cooperativa e pelo laboratório. A diferença observada entre CC e CCA/CSA foi o mesmo observado para a densidade a granel. Este comportamento ocorre devido o tamanho do carvão vegetal interferindo em sua acomodação no compartimento, como já discutido anteriormente.

Figura 10 – Densidade energética do carvão vegetal de *A. tessmannii* produzido em cooperativa e em laboratório.

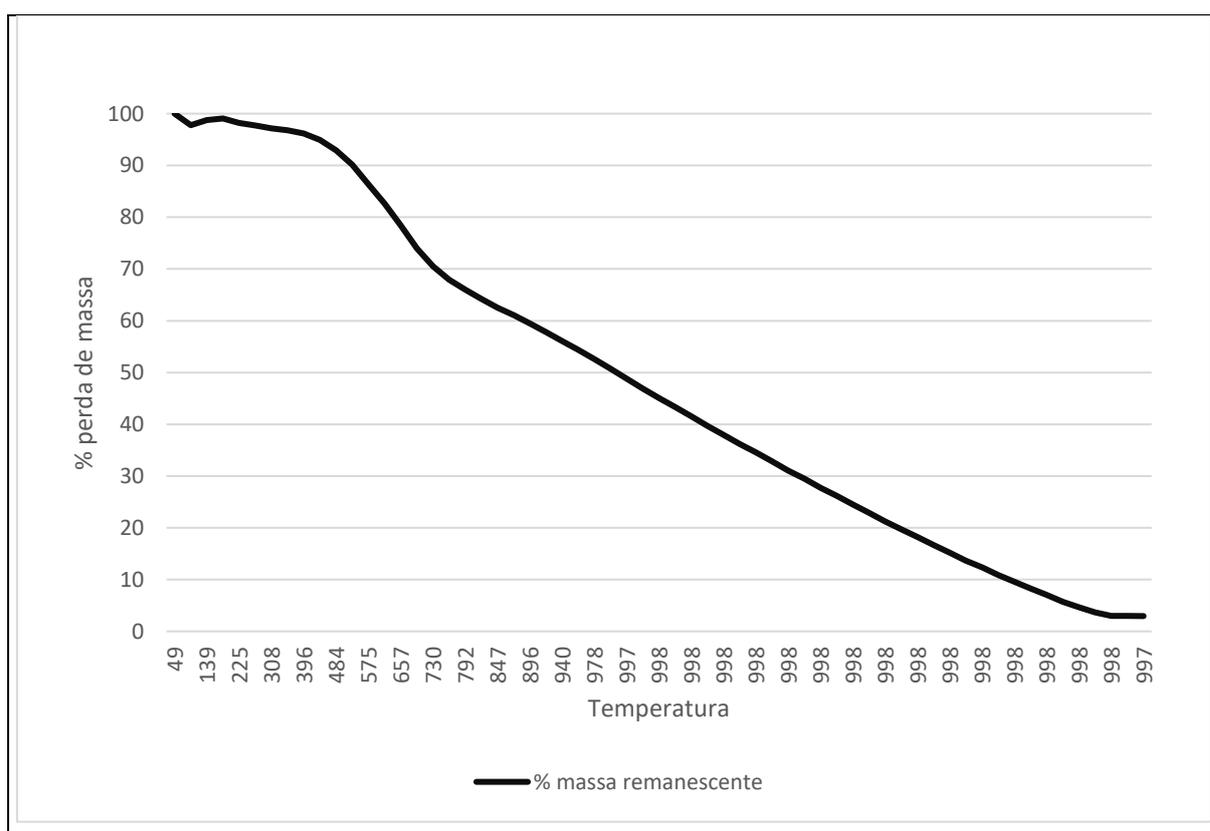


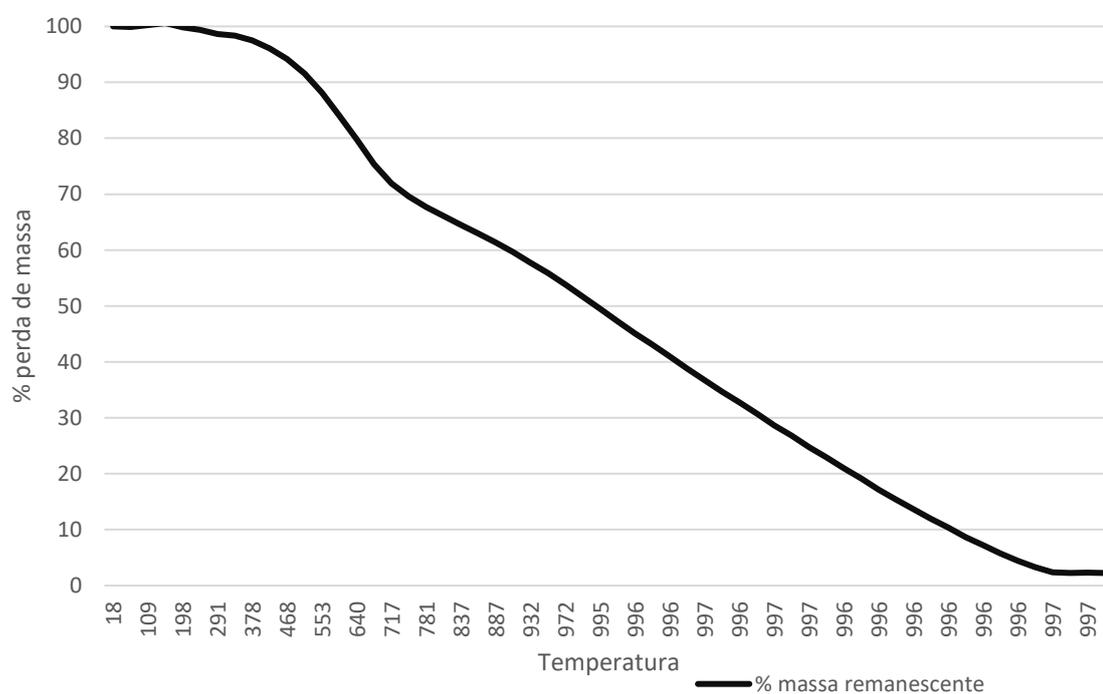
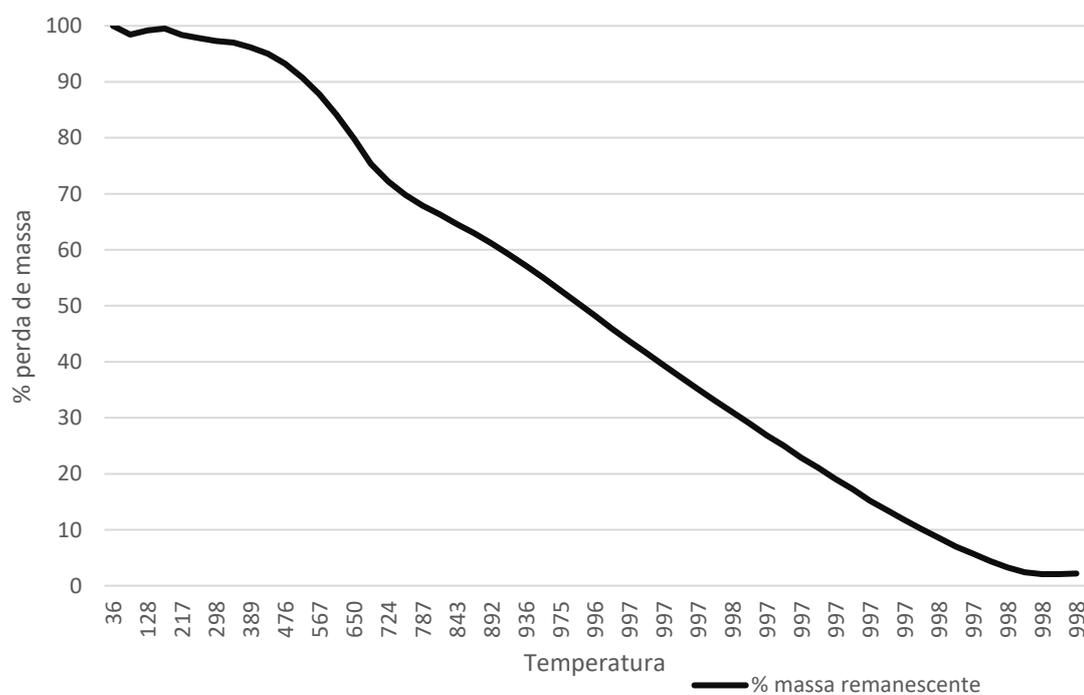
Fonte: elaborado pela autora (2022).

A densidade energética avalia a quantidade de energia armazenada em um determinado volume de um material (DELATORRE et al., 2020). Dessa forma, quanto maior a densidade energética, melhor será a qualidade do carvão vegetal. O carvão da cooperativa demonstrou densidade energética pouco mais semelhante a algumas espécies madeireiras amazônicas, como: *Dinizia excelsa* (4,39 Gcal/m³), *Pouteria* sp. (3,13 Gcal/m³), *Manilkara elata* (3,99 Gcal/m³) e *Couratari guianensis* (2,94 Gcal/m³) do que o carvão produzido em laboratório.

A análise termogravimétrica do carvão vegetal de *A. tessmannii* produzido na cooperativa e em laboratório (com e sem amêndoa) (Figura 11 e Tabelas 18 e 19) demonstrou que apenas a temperatura do início de perda de massa houve diferença entre os tratamentos, sendo maior para o carvão sem a amêndoa. A presença da amêndoa nos tratamentos CC e CCA iniciaram a perda de massa em temperaturas menores.

Figura 11 – Degradação térmica no carvão vegetal de *A. tessmannii* produzido na cooperativa e laboratório (com e sem amêndoa).



(a) Degradação térmica do carvão vegetal de *A. tessmannii* produzido pela cooperativa.(b) Degradação térmica do carvão vegetal de *A. tessmannii* sem amêndoa produzido em laboratório.(c) Degradação térmica do carvão vegetal de *A. tessmannii* com amêndoa produzido em laboratório.

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Tabela 18 – Variações nas temperaturas de degradação térmica do carvão dos frutos de *A. tessmannii*.

Tratamento	Temperatura início da perda de massa (°C)	Temperatura de emissão e ignição dos voláteis (°C)	Temperatura de início da queima dos voláteis (°C)	Temperatura de início de degradação do carbono fixo (°C)	Temperatura de estabilização da massa (°C)
CC	89 b (2,90)	297 a (15,20)	441 a (0,39)	777 a (2,09)	997 a (0,20)
CSA	208 a (9,23)	299 a (5,75)	408 a (6,19)	771 a (6,48)	997 a (0,06)
CCA	145 ab (48,87)	275 a (14,12)	419 a (9,47)	770 a (3,73)	998 a (0,0)
CV (%)	21,79	12,32	6,43	4,47	0,12

Legenda: CC: Carvão produzido pela cooperativa; CSA: Carvão sem amêndoa; CCA: carvão com amêndoa. Valores médios seguidos de valores entre parênteses que representam o coeficiente de variação; CV: Coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (5%).

Tabela 19 – Variações nas massas remanescente de degradação térmica do carvão dos frutos de *A. tessmannii*.

Tratamento	Massa início da perda de massa (%)	Massa na temperatura de emissão e ignição dos voláteis (%)	Massa na temperatura de início da queima dos voláteis (%)	Massa na temperatura de início de degradação do carbono fixo (%)	Massa na temperatura de estabilização da massa (%)
CC	97,95 b (0,27)	97,23 b (0,36)	94,68 b (0,53)	66,17 a (0,85)	2,27 a (33,59)
CSA	99,68 a (0,18)	98,56 a (0,09)	96,41 a (0,79)	67,99 a (4,73)	1,97 a (15,38)
CCA	98,98 a (0,60)	98,25 a (0,43)	95,82 ab (1,25)	70,03 a (2,32)	2,02 a (8,19)
CV (%)	0,39	0,33	0,91	3,10	23,18

Legenda: CC: Carvão produzido pela cooperativa; CSA: Carvão sem amêndoa; CCA: carvão com amêndoa. Valores médios seguidos de valores entre parênteses que representam o coeficiente de variação; CV: Coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (5%).

Com base na Figura 11, todos os tratamentos tiveram comportamentos térmicos bem semelhantes, enquanto na Tabela 19, nota-se a diferença entre eles. Influenciado pelo método utilizado para carbonização entre os carvões vegetais produzido na cooperativa (artesanalmente) e em laboratório. A partir do início de degradação do carbono fixo, ambos os tratamentos tiveram o mesmo tratamento térmico. Tendo em vista que o carvão possui elevado teor de carbono fixo, a sua degradação térmica será mais lenta, com maior tempo de queima para cocção de alimentos.

2.4 CONCLUSÃO

- As diferenças no processo produtivo do carvão vegetal da cooperativa em relação ao produzido em laboratório não afetou a qualidade do produto;
- A presença da amêndoa interferiu em melhoria na qualidade das propriedades: poder calorífico superior e rendimento gravimétrico;
- Em comparativo com os carvões vegetais de madeiras amazônicas, o carvão vegetal de *A. tessmannii* demonstrou qualidade semelhante em diversas características, demonstrando que pode competir com o carvão vegetal de resíduos madeireiros, em termos de qualidade de produto comercializado;
- A comparação com os parâmetros das normas brasileira e europeia de qualidade do carvão vegetal destinado à cocção de alimentos, propriedades como: teor de finos, teor de carbono fixo, cinzas e umidade não se enquadram. Sendo necessário alguns ajustes de produção, manejo, armazenamento e transporte para contornar estes aspectos.
- Este estudo proporciona a cooperativa produtora do carvão vegetal de *A. tessmannii* informações técnicas a respeito da qualidade do produto. Há perspectivas para melhorias do processo produtivo e também de um desenvolvimento do *marketing* do produto na região para proporcionar popularização do produto, podendo assim, gerar maior renda para as famílias tradicionais que o utilizam como complementação de renda, e quanto maior o incentivo de desenvolvimento de produtos não madeireiros, mais conservada estará a floresta.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDUS-SALAM, N.; IKUDAYISI, VA Preparação e caracterização de compósitos sintetizados de carvão vegetal goethita e goethita-tamareira. **Ife Journal of Science** , v. 19, n. 1, pág. 99-107, 2017.
- ALLEN, P. H. **Palms in Middle América**. Principes, v. 9, p. 44-48, 1965.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **D1762:2013** – Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. American Society for Testing and Materials, 2013.
- ANDERSON, A. **Reconnaissance trip to Brasil**. Manuscript. (Memo to Jack Ewel from author, University of Florida, Gainesville). 8p. 1979.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Normas Técnicas. **NBR. Madeira: determinação do teor de umidade de cavacos-Método por secagem em estufa**. ABNT NBR, v. 14929, p. 2017, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14660: Madeira - Amostragem e preparação para análise**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 7p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7989: Pastas celulósicas e madeira - Determinação de lignina insolúvel em ácido**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003b. 5p
- BALICK, M. J. Useful plants of Amazonia: a resource of global importance. In G.T. Prance and T.E. Loveloy (eds.). *Key Environments: Amazonia*, pp. 339-368. **Oxford: Pergamon Press**. 1985.
- BATISTA, L.; STANGERLIN, D. M.; MELO, R. R.; SOUZA, A. P.; SILVA, E. S.; PARIZ, E. Resistência mecânica e composição química de madeiras amazônicas deterioradas em ensaios de campo. **Madera y bosques**, v. 27, n. 1, 2021.
- BONDAR, G. Rumos da lavoura no estado do Espírito Santo e Culturas tropicais na Bahia. **Tipografia naval**, 1942.
- BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010, 131p.
- BRAND, M. A., HENNE, R. A., SCHEIN, V. A. S., & PEREIRA, E. R. Mapeamento dos problemas associados à geração e tratamento das cinzas na combustão da biomassa florestal em caldeira. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 1167-1192, 2021.
- BENSON S.A. , HARB J.N. **Fuel minerals, fouling, and slagging**. *Energy Fuels*, 7 (1993), pp. 743-745. <https://doi.org/10.1021/ef00042a007>
- CARNEIRO, A. C. O., SANTOS, R. C., CASTRO, R. V. O., CASTRO, A. F. N. M., PIMENTA, A. S., PINTO, E. M., ALVES, I. C. N. Estudo da decomposição térmica da madeira de oito espécies da região do Seridó, Rio Grande do Norte. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1153-1163, 2013.

CASTRO, A. F. N. M. Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal. 2011. Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal (**Dissertação**) – Universidade Federal de Viçosa. 2011.

CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. **Relatório final do convênio STIMIC/CETEC**. Belo Horizonte, 1983. 2 v.

CHAVES, A. M. B.; VALE, A. T. , MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p

COUTINHO, A. DOS R.; FERRAZ, E. S. B. Determinação da friabilidade do carvão vegetal em função do diâmetro das árvores e temperatura de carbonização. **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais**, Piracicaba, 38, 33-37. 1988.

COSTA, A. C. S.; OLIVEIRA, A. C.; FREITAS, A. J.; LEAL, C. S.; PEREIRA, B. L. C. Qualidade do carvão vegetal para cocção de alimentos comercializado em Cuiabá – MT. **Nativa**, Sinop, v.5, n.6, p.456-461, nov./dez. 2017

DELATORRE, F. M.; MAYRINCK, G. F. C.; SANTOS JUNIOR, A. J.; SILVA, A. M.; DIAS JÚNIOR, A. F.; SILV EIRA, M. P. R. *Insights* acerca do uso de finos de carvão vegetal para geração de bioenergia. **ACSA**, Patos-PB, v.16, n.2, p.138-144, Agosto-Setembro, 2020.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 51900: Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value**. Berlim, 2000.

DIONIZIO, A. F.; VALE, A. T.; MOREIRA, A. C. O.; GALVÃO, L. G. O.; CHAVES, B. S.; COSTA, M. A. Agregação de valor a resíduos agroindustriais para fins energéticos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, 528-538p. 2019.

DOS SANTOS, A. J.; HIDELBRAND, E.; PACHECO, C. H. P.; PIRES, P. T. L.; ROCHADELLI, R. Produtos não madeireiros: conceituação, classificação, valoração e mercados. **Floresta**, v. 33, n. 2, 2003.

DUARTE, B. B.; LAHR, F. A. R.; CURVELO, A. A. S. Caracterização física-mecânica e composição química da madeira de Cumaru (*Dipteryx odorata*). **Engenharia Industrial Madeireira: Tecnologia, Pesquisa e Tendências, Editora Científica Digital**, 2020.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - CEN. **EN 1860-2: Appliances, solid fuels and firelighters for barbecuing**. Part 2. Barbecue charcoal and barbecue charcoal briquettes: requirements and test methods. CEN, Brussels, Belgium. 2005.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION e CEN. **EN 15149-1, Solid Biofuels e Determination of Particle Size Distribution e Part 1: Oscillating Screen Method Using Sieve Apertures of 1 Mm and above**. Brussels, 2010, p. 13.

EVARISTO, A. B.; MARTINO, D. C.; FERRAREZ, A. H.; DONATO, D. B.; CARNEIRO, A. C. O.; GROSSI, J. A. S. Potencial energético dos resíduos do fruto da macaúba e sua utilização na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, abr/jun, 2016.

- FERNANDES, K. D. N. **Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2010.
- FIEDLER, N. C.; SOARES, T. S.; DA SILVA, G. F. Produtos florestais não madeireiros: importância e manejo sustentável da floresta. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 10, n. 2, p. 263-278, 2008.
- FORTALEZA, A. P.; NASCIMENTO FILHO, J.J. P.; CERETTA, R. P. S.; BARROS, D. S.; SILVA, S. S. Biomassa de espécies florestais para produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1436-1451, jul./set. 2019.
- FREDERICO, P. G. U. Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal. 2009. Programa de Pós-graduação (**Dissertação**) – Universidade Federal de Viçosa. 2009.
- GOVAERTS, R.; DRANSFIELD, J. **World checklist of palms**. United King: Royal Botanic Gardens, Kew. 2005
- GUIMARÃES, C. A. L.; SILVA, L. A. M. Piaçava da Bahia (*Attalea funifera* Martius): do extrativismo à cultura agrícola. **Editus**, Ilhéus, 262 p., 2012.
- GUPTA, R. P.; WALLA, T.F; KAJIGAYAB, I.; MIYAMAEB, S.; TSUMITAB, Y. Computer-controlled scanning electron microscopy of minerals in coal—implications for ash deposition. **Progress in Energy and Combustion Science**, California, v. 24, n. 6, p. 523-543, 1998.
- LIMA, E.; FELFILI, J. M.; MARIMON, B. S.; SCARIOT, A. Diversidade, estrutura e distribuição espacial de palmeiras em um cerrado sensu stricto no Brasil Central – DF. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 3, p. 361-370, 2003.
- LORENZI, H. J. **Flora brasileira: 'Arecaceae' (palmeiras)**. Instituto Plantarum, 2010.
- MASIÁ, A. A. T.; BUHRE, B. J. P.; GUPTA, R. P.; WALL, T. F. Characterising ash of biomass and waste. **Fuel Processing Technology, Western Australia**, v. 88, n. 11-12, p. 1071-1081, 2007.
- MANTILLA, E. V.; PEREIRA, N. C. S.; ALVES, R. C. Estimativa da densidade aparente, resistência à compressão e módulo de elasticidade da madeira por meio do resistógrafo. **Construindo**, 2013.
- MEDEIROS, D. T.; MELO, R. R.; CADEMATORI, P.H. G.; BATISTA, F. G.; MASCARENHAS, A. R. P Caracterização da madeira de espécies da Amazônia. **Madera y bosques**, v. 27, n. 2, 2021.
- MIRANDA, M., PAULA, M., MOREIRA, D. A. ., MELO, C. . Propriedades físicas da madeira de ipê (*Handroanthus serratifolius* (vahl) s. grose) a partir de isotermas de dessorção de água. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, 2015.
- MORAIS, W. W. C. Potencial de resíduos madeireiros gerados em Roraima para a produção de energia e carvão vegetal. 2018. Programa De Pós-Graduação Em Recursos Florestais (**Tese**) – Universidade de São Paulo. 2018.

NOBRE, J. R. C.; TRUGILHO, P. F.; BIANCHI, M.; ZANUNCIO, A. J.V. NAPOLI, A.; AMORIM, T. S. F. Determinação do poder calorífico superior de resíduos da indústria madeireira da Amazônia e dos carvões sob diferentes temperaturas de carbonização. **Anais... XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**. 2014.

NUNES, L. J. R.; GODINA, R.; MATIAS, J. C. O.; CATALÃO, J. P. S. Evaluation of the utilization of woodchips as fuel for industrial boilers. **Journal of cleaner production**, Brno, v. 223, p. 270-277, 2019.

OLIVEIRA, A. C. Sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal. 2012. Programa de Pós-graduação em ciência florestal (**Dissertação**) – Universidade Federal de Viçosa. 2012.

OLIVEIRA, R. S.; SILVA, L. F. F.; ANDRADE, F. W. C.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. P.; GOULART, S. L. Qualidade do carvão vegetal comercializado no sudeste Paranaense para cocção de alimentos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62, 2019.

PADILLA, E. R. D. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: caracterização físico – química e produção de carvão para energia. 2018. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais (**Dissertação**) – Universidade Federal de São Carlos. 2018.

PADILLA, E. R. D.; BELINI, G. B. NAKASHIMA, G. T.; WALDMAN, W. R.; YAMAJI, F. M. Potencial energético da casca de coco (*Cocos nucifera* L.) para uso na produção de carvão vegetal por pirólise. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 2, p. 334-345, 2018.

PEREIRA, E. N. **Carvão do caroço de açaí (Euterpe oleracea) ativado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo**. Projeto de pesquisa. Moju, Pará. 2013.

PEREIRA, A. A.; LIMA, M. D. R.; PATRÍCIO, E. P. S.; NUMAZAWA, S.; GOULART, S. L.; PROTÁSIO, T. P. Agrupamento de resíduos madeireiros do manejo florestal sustentável visando à geração de bioenergia. **Scientia Forestalis**, v. 48, p. 127, 2020.

PEREIRA, D. H.; GROTO, C. G. L. Produção e análises de combustíveis sólidos alternativos obtidos a partir de resíduos agroindustriais. **Revista Desafios**, v. 5, n. Especial, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2018v5nEspecialp196>.

POLETTI, M. Thermal degradation and morphological aspects of four wood species used in lumber industry. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.40, n.5, p.941-948, 2016

PRONOBIS, M. Evaluation of the influence of biomass co-combustion on boiler furnace slagging by means of fusibility correlations. **Biomass and Bioenergy**, Birmingham, v. 28, n. 4, p. 375-383, 2005.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n.66, p. 113–122, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, M.; MIRMEHDI, M.; TRUGILHO, P. F.; Combustion of biomass and charcoal made from babassu nutshell. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 1-10, 2017.

REIS, A. A.; PROTÁSIO, T. P.; MELO, I. C. N. A.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. C. O. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Brazilian Journal of Forest Research/Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, 2012.

REIS, A. R. S.; REIS, J. S. F.; DA SILVA, J. R.; CARVALHO, J. C.; SOUZA, D. V.; REIS, L. P. Comparação entre carvão de coco babaçu e carvão de resíduos madeiros comercializados em Altamira-PA. **Revista Ciência da Madeira**, v. 6, n. 2, 2015.

ROSA, R. A.; ARANTES, M. D. C.; PAES, J. B.; ANDRADE, W. S. P.; MOULIN, J. C. Qualidade do carvão vegetal para uso doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.3, n.2,p.41-48, 2012.

SÁ, A. C.; VIDAL, J. W. B.; FIGUEIREDO, H. B. **Coco de Babaçu**. Brasília: Ministério da Indústria e Comércio/ Secretaria de Tecnologia Industrial (MIC/STI). 1977.

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**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 143-151, jan./mar. 2012

SÃO PAULO: Secretaria de Agricultura e Abastecimento. **Resolução nº 40 SAA**, de 14 de dezembro de 2015.

SCHONINGER, E. C.; ZINELLI, M. R. Análise qualitativa dos carvões de *Apuleia leiocarpa* e *Hymenaea courbaril* produzidos numa carvoaria de Matupá, no estado do Mato Grosso. **Revista de Ciências Agro-ambientais**, Alta Floresta, v.10, n.2, 2012

DA SILVA, L. F. F.; CASTRO, A. R. S.; OLIVEIRA, R. S.; SILVA, S. S.; PAMPLONA, V. M. S.; BARROS, D. S.; NOBRE, J. R. C.; NUMAZAWA, S. Seleção de espécie, temperatura e tempo de carbonização na produção de carvão vegetal com resíduos madeiros da Amazônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 40, 2020.

SILVA, L. F. F., DA SILVA NUNES, F., LOBATO, C. C. S., JÚNIOR, D. H. G., DA SILVA, M. C., & NAGAISHI, T. Y. R. Caracterização química de espécies amazônicas para utilização energética. **Anais ... I Fórum de Anatomistas de Madeira da Amazônia**. 2017.

SILVA, S. P.; COSTA, A. S. V.; SANTOS, S. L. B.; LAIA, M. L. A Importância da Biomassa na Matriz Energética Brasileira. **Pensar Acadêmico**, v. 19, n. 2, p. 557-583, 2021.

SOUZA, F.; VALE, A. T. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 36, n. 88, p. 405-413, 2016.

SOUSA, A. N. S., PEREIRA, K. R. M., DIAS JÚNIOR, A. F., FLORIANI, M. B., & BRAND, M. A. Charcoal produced from *Attalea tessmannii* Burret. fruit wastes. **Scientia Forestalis**, 50, e3730. <https://doi.org/10.18671/scifor.v50.01>. 2022.

TOMELERI, J. O. P.; VALENTIM, L. B.; SILVA, J. P.; YAMAJI, F. M.; PÁDUA, F. A. Caracterização química e energética de epicarpo residual do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e briquete produzido. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 3, p. 942-952, 2017.

VALERIANO, C. A Piassaveira. **Bahia Rural**, v. 1, n. 10, p. 293-296. 1934.

VASSILEV, S.V.; BAXTER, D.; ANDERSEN, L. K.; VASSILEVA, C. G.; MORGAN, T. J. An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass Fuel, **Rhode Island**, v. 94, p. 1-33, 2012.

VENTURIERI, A.; HOMMA, A. K. O.; NASCIMENTO JR, J. D. B.; FRAZÃO, J. M. F.; MARTORANO, L. G.; SILVA, L. G. T.; TOLEDO, M. M. Possibilidades e limitações para a inserção da agricultura familiar no desenvolvimento e produção de bioenergia derivada da palma-de-óleo no estado do Maranhão. **Embrapa**, São Luís, 2017.

VIVIAN, M. A.; MODES, K. S.; ITAKO, A. T.; CRUZ, P. C. P. da; GROSSKOPF, ÉVELYN J.; NUNES, G. C. Durabilidade natural das madeiras de *Apuleia leiocarpa*, *Astronium lecointei* e *Enterolobium schomburgkii* ao fungo apodrecedor *Trametes versicolor*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

ZAU, M. D. L.; VASCONCELOS, R. P.; GIACON, V. M.; LAHR, F. A. R. Painéis aglomerados Produzidos com Resíduo de Madeira da Amazônia-Cumaru (*Dipteryx odorata*) e Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona. **Polímeros**, v. 24, n. 6, p. 726-732, 2014.

APÊNDICE A

Composição química orgânica			
Elemento químico	Fórmula química	FCA	FSA
Carbono	C	42,89	40,74
Hidrogênio	H	6,57	6,5
Nitrogênio	N	n.d	n.d
Enxofre	S	0,04	0,03
Cloreto	Cl	0,01	0,02
Composição química inorgânica			
Elemento químico	Fórmula química	FCA	FSA
Óxido de sódio	Na ₂ O	9,9	1,0
Óxido de magnésio	MgO	7,0	8,0
Óxido de alumínio	Al ₂ O ₃	4,0	2,0
Dióxido de silício	SiO ₂	31,8	34,8
Pentóxido de fósforo	P ₂ O ₅	8,3	6,8
Trióxido de enxofre	SO ₃	1,6	2,2
Óxido de potássio	K ₂ O	33,1	38,7
Óxido de cálcio	CaO	2,0	2,9
Óxido de titânio	TiO ₂	0,4	0,7
Óxido de Vanádio	V ₂ O ₅	Tr	**
Óxido de manganês	MnO	0,2	0,2
Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃	1,3	2,2
Óxido de níquel	NiO	Tr	Tr
Óxido de cobre	CuO	Tr	Tr
Óxido de zinco	ZnO	Tr	0,1
Óxido de Cromo	Cr ₂ O ₃	Tr	Tr
Óxido de Bário	BaO	0,1	**
Óxido de Chumbo	PbO	**	**
Óxido de estrôncio	SrO	Tr	Tr
Óxido de zircônio	ZrO ₂	Tr	Tr
Cinza		2,19	1,93

