



Universidade Federal do Pará
Universidade Federal de Pelotas
Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação

Mauricio Salles da Conceição

Potencial Energético de Espécies Amazônicas: Cascas de Angelim pedra *Hymenolobium petraeum* e Angelim vermelho *Dinizia excelsa* na Produção de Briquetes

ALTAMIRA - PA

2024

Mauricio Salles da Conceição

**Potencial Energético de Espécies Amazônicas: Cascas de Angelim pedra
Hymenolobium petraeum e Angelim vermelho *Dinizia excelsa* na Produção de
Briquetes**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Biodiversidade e Conservação. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação – PPGBC, da Universidade Federal do Pará.

Área de concentração: Tecnologia e aproveitamento de recursos florestais.

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Patrícia Soares Bilhalva dos Santos.

ALTAMIRA - PA

2024

**Potencial Energético de Espécies Amazônicas: Cascas de Angelim pedra
Hymenolobium petraeum e Angelim vermelho *Dinizia excelsa* na Produção de
Briquetes**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Biodiversidade e Conservação. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação – PPGBC, da Universidade Federal do Pará.

Área de concentração: Tecnologia e aproveitamento de recursos florestais.

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Patrícia Soares Bilhalva dos Santos.

APROVADA EM:

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr. Alisson Rodrigo Souza Reis

Prof^a. Dr^a. Silvia Helena Fuentes da Silva

Prof^a. Dr. Liderlânio de Almeida Araújo

Prof^a. Dr. Fabio Miranda Leão

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, pela possibilidade de cursar a pós-graduação e realizar essa conquista acadêmica;

À Coordenação de Pessoal de Nível Superior - CAPES/CNPq pela concessão da bolsa de estudos;

À minha orientadora Dra. Patrícia Soares Bilhalva dos Santos pela paciência, excelentes conselhos e acompanhamento na produção deste trabalho;

À minha amiga mestranda Nataly Matos da Silva pelos inúmeros aprendizados construídos ao longo desses anos, fundamentais para a minha vida acadêmica e pessoal;

Aos membros da banca pela disponibilidade em avaliar e pelas contribuições para as melhorias desta pesquisa;

Aos integrantes do Laboratório de Engenharia Madeireira da Universidade Federal de Pelotas – RS, que foram e são fundamentais para a promoção de momentos memoráveis e a conclusão do projeto;

A todos os meus familiares e amigos, pelo apoio incondicional, em especial a minha mãe e meu pai, que nunca mediram esforços e estiveram comigo sempre, vocês são minha fortaleza;

A todos aqueles que foram importantes na conclusão desta etapa, meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Considerações sobre o uso de biomassas na Amazônia.....	11
2.2. Os resíduos gerados através da extração de madeiras.....	13
2.3. Angelim.....	14
2.4. Hymenolobium excelsum Ducke.....	15
2.5. Dinizia excelsa Ducke.....	16
2.6. A briquetagem como proposta sustentável em processos de biorrefinaria.....	18
3. OBJETIVO GERAL.....	19
4. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	20
REFERÊNCIAS DA REVISÃO.....	
ARTIGO.....	

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Granulometria	
FIGURA 2 - Prensa hidráulica Bovenau, modelo P15 ST 15 Ton.....	
FIGURA 3 - Briquetes - Amostras e teor.....	
FIGURA 4 - Teste de fogo.....	
FIGURA 5 - Teste de fogo – finalizado.....	
TABELA 1 - Caracterização das espécies de Angelim.....	
TABELA 2 - Resumo das análises de variância realizadas para a expansão volumétrica e densidade aparente dos briquetes (Angelim vermelho)	
TABELA 3 - Resumo das análises de variância realizadas para a expansão volumétrica e densidade aparente dos briquetes (Angelim-pedra)	

RESUMO

A aplicação de tecnologias para melhorar o rendimento da indústria de produtos florestais se faz necessário no Brasil. Buscando o melhor aproveitamento das biomassas, é preciso ter o conhecimento de todos os aspectos desse material, não só a extração da polpa, mas também a caracterização da lignina, açúcares e outros compostos de forma a explorar potencialidades. Após a análise das cascas de Angelim Pedra (*Hymenolobium petraeum*) e Angelim Vermelho (*Dinizia excelsa*) para avaliar seu potencial em processos de briquetagem, observou-se uma alta quantidade de materiais voláteis, indicando uma propensão significativa à liberação de gases durante a combustão. Isso sugere oportunidades para a produção de bioenergia e bioprodutos gasosos. Além disso, ao avaliar o desempenho dos briquetes em diferentes tratamentos, verificou-se que as proporções de taninos têm um papel crucial. O tratamento 4, que inclui 50% de taninos, demonstrou eficiência na produção de briquetes com maior poder calorífico superior, menor expansão volumétrica e maior resistência ao fogo. Esses briquetes também foram capazes de manter brasas por períodos prolongados, indicando possíveis aplicações em processos industriais que demandam controle térmico. Os resultados também revelaram que os taninos são um fator determinante para o tempo de ignição, com maiores cargas de tanino resultando em tempos de ignição mais longos. Esses achados corroboram estudos anteriores, destacando a importância dos taninos no processo de briquetagem. Em suma, os resíduos madeireiros investigados apresentam potencial para serem aproveitados como bioprodutos, substituindo satisfatoriamente a lenha tradicional e promovendo a valorização dos resíduos florestais e agrícolas por meio da briquetagem para fins energéticos.

Palavras-chave: Biomassas, Briquetagem, tecnologias, poder calorífico.

ABSTRACT

The application of technologies to improve the yield of the forest products industry is necessary in Brazil. Seeking the best use of biomass, it is necessary to have knowledge of all aspects of this material, not only the extraction of the pulp, but also the characterization of lignin, sugars and other compounds in order to explore its potential. After analyzing the peels of Angelim Pedra (*Hymenolobium petraeum*) and Angelim Vermelho (*Dinizia excelsa*) to evaluate their potential in briquetting processes, a high amount of volatile materials was observed, indicating a significant propensity to release gases during combustion. This suggests opportunities for the production of bioenergy and gaseous bioproducts. Furthermore, when evaluating the performance of briquettes in different treatments, it was found that the proportions of tannins play a crucial role. Treatment 4, which includes 50% tannins, demonstrated efficiency in producing briquettes with higher calorific value, lower volumetric expansion and greater fire resistance. These briquettes were also capable of maintaining embers for prolonged periods, indicating possible applications in industrial processes that require thermal control. The results also revealed that tannins are a determining factor for ignition time, with higher tannin loads resulting in longer ignition times. These findings corroborate previous studies, highlighting the importance of tannins in the briquetting process. In short, the wood residues investigated have the potential to be used as bioproducts, satisfactorily replacing traditional firewood and promoting the valorization of forestry and agricultural residues through briquetting for energy purposes.

Keywords: Biomasses, Briquetting, Biotechnology.

1. INTRODUÇÃO

A gestão responsável dos resíduos florestais é crucial no cenário contemporâneo, caracterizado pela busca incessante por soluções ambientalmente sustentáveis e pela necessidade premente de reduzir nossa pegada de carbono. Diante dos desafios ambientais e econômicos enfrentados, a busca por alternativas energéticas sustentáveis tornou-se uma necessidade urgente. Este despertar para a sustentabilidade levanta questões cruciais sobre a relação entre a humanidade e os recursos naturais, exigindo uma reflexão profunda sobre nossas práticas e os impactos no meio ambiente (Da Conceição, 2021).

Nesse cenário, a biomassa florestal emerge como uma alternativa promissora e viável para a diversificação da matriz energética. Os resíduos provenientes da exploração e manejo de florestas, como galhos, folhas, serragem e aparas de madeira, essa matéria abundante disponível têm o potencial de ser transformada em energia por meio de processos de conversões eficientes e sustentáveis (Santos, 2023).

A utilização da biomassa florestal como fonte de energia apresenta diversas vantagens. Em primeiro lugar, trata-se de uma fonte renovável, uma vez que as florestas podem ser manejadas de forma sustentável, garantindo a reposição dos recursos utilizados. Além disso, a queima da biomassa florestal para a geração de energia libera dióxido de carbono (CO_2), mas este carbono foi recentemente retirado da atmosfera pelas próprias plantas durante seu crescimento, tornando o processo neutro em termos de emissões de carbono, desde que, a gestão florestal seja feita de maneira sustentável (Hansted, 2022).

Outra vantagem significativa da biomassa florestal é sua versatilidade de uso. Ela pode ser empregada na produção de eletricidade em centrais termelétricas, na cogeração de calor e energia em indústrias e em sistemas de aquecimento residencial e comercial. Além disso, a biomassa pode ser convertida em biocombustíveis sólidos, líquidos ou gasosos, proporcionando uma ampla gama de aplicações nos setores de transporte, agricultura e indústria, contribuindo assim, para a geração de energia limpa e renovável. (Paranatinga, 2022).

Dentro deste contexto desafiador, a briquetagem se apresenta como uma alternativa já consolidada para o aproveitamento dos resíduos provenientes de atividades florestais. A briquetagem, ao compactar a biomassa em briquetes, pode substituir a lenha na cerâmica, olaria, na indústria alimentícia e em outras indústrias que precisam de vapor, tornando a utilização dos recursos naturais mais sustentáveis (Albuquerque, 2024).

A versatilidade do processo permite a utilização de diversas biomassas, como por exemplo, a serragem gerada durante do desdobro da madeira, promovendo a gestão sustentável de florestas e incentivando a transição para uma economia mais verde. Visto que, com essa prática é possível reduzir o volume de resíduos orgânicos resultantes do desdobro. Por outro lado, o consumidor dos briquetes economiza em armazenamento, transporte na redução das emissões de gases de efeito estufa (Zago, 2020). A briquetagem, assim, representa uma ferramenta valiosa na busca por soluções sustentáveis para as demandas energéticas e ambientais (Batista *et al.*, 2023).

Na Amazônia, existem espécies extremamente consolidadas para a indústria madeireira, e que podem receber um melhor gerenciamento quanto a utilização de seus resíduos florestais, dentre elas o Angelim (Marafon, 2020). O Ministério do Meio Ambiente, detentor dos Registros Florestais (RF), identificou que no período de 2007 a 2012, a espécie *D. excelsa* ocupou a quarta posição entre as mais transacionadas em tora e madeira serrada, totalizando um volume de extração de 2.030.805,72 m³ (MMA, 2024). Dentro as vinte espécies mais exploradas, destacam-se pelo menos três pertencentes ao gênero *Hymenolobium*. Entre elas, *H. petraeum* registrou uma retirada de 558.173,16 m³, *Hymenolobium spp.* contribuiu com 471.725,64 m³ e *H. excelsum* atingiu 456.266,27 m³ (Paranatinga, 2022).

Alguns dos principais detritos lignocelulósicos empregados na compactação são resíduos provenientes de milho, serragem, pó de madeira (eucalipto, pinheiro, seringueira entre outros), e sobras de compensado (especialmente de pinheiro), casca de arroz e resíduo de cana-de-açúcar (Do Monte *et al.*, 2023).

Nessa nova área de investigação, tem grande relevância a produção de blocos compactos, os quais podem ser confeccionados através da prensagem de

resíduos lignocelulósicos, uma alternativa utilizada dentro do ambiente florestal e rural visando à eliminação de resíduos com capacidade de combustão (Ruthes, 2023).

A briquetagem a partir de sobras da indústria madeireira está em sintonia com os princípios da economia circular, ao eliminar sobras e contaminação, possibilitando que esses materiais sejam reutilizados até o final de sua vida útil (Nakashima, 2013). Em relação à criação de briquetes, fatores como granulometria das partículas e tecnologias necessárias são aspectos relevantes a serem considerados.

A compressão eficaz dos blocos compactos permite a redução do volume de armazenamento, otimizando o espaço nas instalações (Quirino, 2014). Além disso, os blocos compactos proporcionam um poder calorífico uniforme e superior a outras fontes de energia, tornando seu uso mais conveniente e eficaz (Barros, 2014). Após a queima dos blocos compactos, resta a avaliação dos resíduos gerados. Em comparação com outras fontes de energia, a quantidade de resíduos produzida pelos blocos compactos é relativamente pequena, devido à sua baixa umidade. Esses resíduos podem ser reutilizados, desde que em quantidades controladas, sem comprometer a qualidade do produto final (Ferragutti, 2012).

Como o aproveitamento é derivado de uma determinada biomassa, um parâmetro que deve ser levado em conta é o teor de umidade, o que segundo Quirino (2014) engloba um teor de umidade de 10 a 12% no processo de compactação. Contudo, a umidade da biomassa influencia na geração de calor por unidade de massa, assim quanto menor for o teor de umidade, maior será o poder calorífico do material (Ruthes, 2023).

Mesmo assim, o procedimento de concentração de energia é bastante eficaz, a compactação pode resultar em valor de 5 vezes mais de energia do que na forma não compactada (Carneiro, 2024). O resultado acontece pela redução do espaço de volume inicial e pelo aumento de massa para alcançar o mesmo volume inicial, assim consequentemente o teor de carbono disponível para a queima. Outro fator de importante análise para a criação de blocos compactos é a granulometria do material, que pode influenciar na sua compactação, gerando

valores diferentes da resistência máxima suportada pelo material (Castro Filho, 2022).

A fim de conceber uma solução benéfica tanto para o meio ambiente quanto para a sociedade, e buscando harmonizar sustentabilidade e impulsionar o desenvolvimento socioeconômico em um dos biomas mais ricos e heterogêneos, a floresta amazônica, o propósito fundamental deste estudo consiste em utilizar a casca das espécies de angelim vermelho e angelim pedra para gerar recursos com o auxílio da briquetagem.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Considerações sobre o uso de resíduos florestais na Amazônia

A Amazônia, com sua vasta biodiversidade e ecossistemas únicos, enfrenta desafios significativos no seu desenvolvimento econômico e social. No Estado paraense, aproximadamente 63% das comunidades rurais carecem do fornecimento por meio das linhas de transmissão de energia elétrica, o que impossibilita a valorização de seus produtos, resultando em prejuízos para seu progresso econômico. Alguns desses locais utilizam geradores alimentados pela queima de combustíveis fósseis, contribuindo negativamente para o meio ambiente (Rodrigues *et al.*, 2002).

Esses desafios têm estimulado a busca por novas fontes de energia que atendam às necessidades dessas comunidades, tanto ribeirinhas quanto rurais, reduzam os níveis de poluição ao máximo e proporcionem oportunidades de crescimento econômico e desenvolvimento social. A utilização de resíduos de biomassa provenientes das atividades agrícolas, sistemas agroflorestais e silviculturais surge como uma alternativa promissora para resolver os problemas energéticos no interior do Pará (Romão, 2022).

As dificuldades na implementação desses processos na Amazônia são multifacetadas. Questões logísticas, como a vastidão da região e a infraestrutura limitada, podem representar obstáculos significativos. Além disso, a necessidade de mão-de-obra especializada e o desenvolvimento de cadeias de suprimentos eficientes são aspectos cruciais a serem abordados. A garantia de que essas práticas sejam implementadas de maneira sustentável, respeitando os princípios

sustentáveis, também é imperativo para evitar impactos negativos nos ecossistemas amazônicos (Farias, 2020).

No entanto, os desafios não podem obscurecer a grande importância de desenvolver a prática do uso de resíduos de biomassas na Amazônia. A região possui um potencial extraordinário para se tornar uma líder na produção de bioprodutos, contribuindo não apenas para a economia regional, mas também para a mitigação das mudanças climáticas em nível global. A utilização eficiente da biomassa amazônica e seus resíduos podem reduzir a pressão sobre as florestas, tradicionalmente exploradas para madeira e outros recursos, e direcionar a economia para práticas mais sustentáveis (Fearnside, 2022).

Desenvolver processos sustentáveis na Amazônia não é apenas uma oportunidade econômica, mas uma necessidade imperativa diante dos desafios ambientais e sociais enfrentados pela região. A diversificação da matriz econômica e energética, a geração de empregos sustentáveis e a preservação dos recursos naturais são metas alcançáveis por meio da implementação cuidadosa dessas práticas de utilização de resíduos. Além disso, ao integrar comunidades locais no desenvolvimento dessas iniciativas, é possível construir um modelo de desenvolvimento inclusivo e sustentável, levando em consideração as particularidades culturais e sociais da região (Santana Júnior, 2020).

Em síntese, o uso de resíduos florestais na Amazônia representa uma estratégia essencial para conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental. Apesar das dificuldades, os benefícios em longo prazo, tanto para a região quanto para o planeta, fazem desse esforço uma prioridade urgente e promissora (Da Silva, 2023).

2.2.Os resíduos gerados através da extração de madeiras

A economia da indústria madeireira na Amazônia é significativa, refletida pelo número de ocupações e empresas na região. De acordo com o SFB e IMAZON (Serviço Florestal Brasileiro; Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2010), em 2009, o setor gerou aproximadamente 204 mil empregos com cerca de duas mil empresas distribuídas em 71 núcleos madeireiros, sendo mil delas no estado do Pará (IMAZON, 2010).

A Região Metropolitana de Belém destaca-se como um dos principais centros madeireiros do estado, consumindo mais de 697 mil m³/ano de madeira em tora, gerando 13 mil empregos diretos e indiretos em 31 empresas, empregando aproximadamente 2.540 trabalhadores. Além disso, os núcleos de Paragominas, Breves e Tomé-Açu também se destacam na região (IMAZON, 2010).

Historicamente, até o final da década de 50, a exploração madeireira no Pará era esporádica e concentrava-se nas florestas de várzea às margens dos rios. No entanto, a partir dos anos 80, houve uma intensificação da exploração com o aprimoramento da infraestrutura viária, facilitando o acesso às vastas áreas de reservas florestais. Esse cenário, combinado com o esgotamento das florestas da Ásia e do sul e sudeste do Brasil, tornou a exploração madeireira na Amazônia uma atividade de grande importância socioeconômica, embora tenha enfrentado problemas socioambientais devido à rápida degradação florestal (IMAZON, 2010).

Um desses problemas é a gestão inadequada dos resíduos gerados pela indústria. No Brasil, estima-se que sejam produzidas cerca de 30 milhões de toneladas de resíduos de madeira anualmente, com 91% gerados nas empresas madeireiras. A maior parte desses resíduos é proveniente do processamento primário da madeira. Na Amazônia, estima-se que mais de 8 milhões de metros cúbicos de resíduos sejam gerados, com cerca de 4 milhões de m³ no Pará, indicando um cenário de baixa tecnologia e aproveitamento inadequado da madeira (Medeiros *et al.*, 2021).

Na Região Metropolitana de Belém, por exemplo, as perdas chegam a 48% em serrarias locais, devido ao depósito inadequado de resíduos nos pátios das empresas ou em áreas próximas. Esse desperdício prejudica a geração de renda (Locks *et al.*, 2019).

No entanto, a madeira desempenha um papel crucial no desenvolvimento econômico e cultural da região amazônica. Utilizada de forma sustentável, pode impulsionar o crescimento econômico e preservar tradições culturais, como a produção de artesanato por comunidades indígenas (Elbakidze, 2022). O manejo florestal responsável, incluindo práticas como corte seletivo e reflorestamento, é

essencial para garantir a exploração sustentável da madeira na Amazônia, preservando a biodiversidade e agregando valor aos produtos madeireiros no mercado global (Stragliotto *et al.*, 2020).

Em suma, equilibrar o desenvolvimento baseado na madeira com a preservação ambiental é fundamental. A adoção de práticas de manejo florestal responsável e políticas que incentivem o uso sustentável da madeira na Amazônia é crucial para garantir um futuro sustentável para a região (Da Silva Carneiro, 2019).

2.3. Angelim

A família Fabaceae está entre as maiores do grupo das angiospermas, com três subfamílias – Caesalpinioideae, Mimosoideae, e Faboideae ou Papilionoideae. Possui catalogadas aproximadamente 19.325 espécies a nível mundial, vindo de 727 gêneros. Apresenta uma grande distribuição nas áreas tropicais e subtropicais com vastas variações, além de representar um importante meio de fornecimento de recursos da região Amazônica (Miguéis *et al.*, 2015).

As plantas da família possuem características variadas, com grande potencial econômico, tendo em vista que apresentam diversas possibilidades de manejo pela sociedade. Os frutos e sementes são fontes de alimentos, além de produzir em algumas espécies óleos essenciais e oleorresinas que são utilizadas na medicina tradicional, para a produção de tintas, e possui uma essência aproveitada em perfumes por industriais. Outra característica mais utilizada é a produção de madeiras nobres e extremamente valiosas usadas na marcenaria e construções em geral (Paranatinga, 2022).

Devido à vasta forma de ser utilizada, as Fabaceae são reconhecidas como extremamente importantes economicamente. No Brasil existem cerca de 1.500 espécies. Há levantamentos que mostram que as espécies sofrem variações à medida que as distinções do território onde abrigadas vão mudando, tanto pela abundância como pela ocorrência (Mourão, 2021).

Entre as espécies encontradas no Brasil, as mais conhecidas são chamadas de angelim, nome popular que funciona para sua comercialização e exploração. No Pará, as espécies comercializadas como “angelim” são reconhecidas em suas

principais em sete espécies: *Amshoff*, *Dinizia excelsa Ducke*, *Andira surinamensis (Bondt) Splitg*, *Hymenolobium petraeum Ducke*, *Hymenolobium excelsum Ducke*, *Hymenolobium pulcherrimum Ducke*, *Vatairea paraensis Ducke* e *Hymenolobium modestum Ducke* (Costa, 2009).

No Estado do Norte do Brasil, as espécies *D. excelsa*, *H. excelsum*, *V. sericea* são as que mais ocorrem na exploração ilegal de madeira, por esse motivo a importância do estudo sobre essas espécies pode melhorar a vulnerabilidade cotidiana que ela vem sofrendo (Polícia Federal, 2024).

2.4.Hymenolobium petraeum Ducke

Popularmente conhecido como angelim, apresenta uma ampla variedade de nomes no Brasil, tais como angelim amarelo, angelim pedra, angelim do Pará, angelim-fava, angelim rosa e mirarema (ITTO, 2024). Esta espécie é comumente encontrada em florestas primárias, onde as árvores emergem no dossel superior e possuem um porte significativo. Suas cascas são caracterizadas pela presença de lenticelas e pela resina pegajosa com tonalidades variadas de vermelho a mel, além de um odor adocicado (ITTO, 2024).

As folhas do *H. petraeum* são pequenas, variando de 0,5 a 2,5 cm de comprimento e de 3,0 a 8,0 mm de largura, apresentando pelos curtos na base e espaçados na parte superior. Sua frutificação ocorre ao longo do ano, enquanto a floração se concentra de junho a novembro (ITTO, 2024).

Quanto à sua distribuição natural, a espécie é amplamente encontrada nos estados do Pará e Amazonas, sendo endêmica das florestas de terra firme, com um ciclo de vida estimado em no mínimo 90 anos (Lima et al., 2015, CNCFlora, 2012). Exemplares de *H. petraeum* são relatados em diversos locais, incluindo Amapá, Serra do Navio; Amazonas, Parintins; e várias regiões do Pará, como a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Alcobaça, Belém, Bragança, Tapajós, Paragominas, Santarém, entre outros (CNCFlora, 2012).

A madeira do *H. petraeum* é amplamente utilizada na construção civil e naval, o que tem contribuído para uma exploração intensa da espécie,

principalmente no Pará. Essa alta demanda levou a espécie a figurar na lista de espécies ameaçadas, mesmo em áreas de conservação (CNCFlora, 2012).

2.5. Dinizia excelsa Ducke

Pertencente à família Fabaceae Lindl, é popularmente conhecida como angelim-vermelho, angelim-pedra-verdadeiro, angelim-ferro, faveira, faveira-dura, faveira-ferro, faveira-carvão e faveira-preta no Brasil; Kuraru e parakwa na Guiana. Este gênero monoespecífico foi descrito por Adolpho Ducke em 1922, inicialmente classificado entre as subfamílias Mimosoideae e Caesalpinioideae (APG II, 2003 apud Paranatinga, 2022).

A *D. excelsa* é reconhecida por seu imponente porte arbóreo, atingindo até 60 m de altura e mais de 2 m de diâmetro, destacando-se como uma das maiores árvores da floresta amazônica. Suas características incluem um tronco cilíndrico e reto, com ritidoma desprendendo-se em placas grandes e lenhosas, e uma copa frondosa e bem distribuída. As folhas são espiraladas, compostas, bipinadas, aromáticas e hermafroditas ou unissexuais, com estames livres e densamente distribuídos (Mesquita; Ferraz e Camargo, 2009 apud Paranatinga, 2022).

Quanto à sua distribuição natural, a *D. excelsa* é endêmica da Amazônia, ocorrendo em diversos estados brasileiros, como Acre, Rondônia, Amazonas, Pará, Roraima, Amapá e Maranhão, além de um registro único no sul da Guiana. Embora não seja uma das espécies mais abundantes, é considerada dominante, representando cerca de 25% da dominância total da floresta amazônica. Sua ocorrência está associada a solos argilosos ou sílico-argilosos, principalmente em áreas de terra firme (Paranatinga, 2022).

A *D. excelsa* desempenha um papel importante na floresta Amazônica, contribuindo para o aumento da biomassa. Com características pioneiras e oportunistas, ela se desenvolve em clareiras naturais causadas pela queda ou morte de outras árvores, sendo parte essencial da sucessão florestal na região (Paranatinga, 2022).

2.6. A briquetagem como proposta sustentável em processos de biorrefinaria

Os briquetes surgiram para substituir a lenha em diversas indústrias, tais como cerâmica, olaria, alimentícia, entre outras, que demandam vapor. Eles também são empregados em fornalhas, fornos e caldeiras de estabelecimentos como restaurantes, pizzarias e padarias. A briquetagem é o processo de compactação de um material particulado por meio da aplicação de temperatura e pressão, podendo ou não ser utilizadas resinas artificiais. No caso da madeira, não é necessário adicionar ligantes, uma vez que as ligninas funcionam como aglutinante das partículas de madeira (Zago, 2020).

Uma das principais vantagens da briquetagem é a redução do volume de resíduos orgânicos, como serragem, cascas de arroz, bagaço de cana-de-açúcar, entre outros. Ao compactar esses materiais em briquetes, não apenas se facilita o armazenamento e o transporte, mas também se evita a decomposição rápida, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa associados ao processo de decomposição orgânica (Santana, 2019).

A técnica de briquetagem também influencia positivamente as propriedades físico-químicas dos resíduos, proporcionando benefícios como: aumentar a densidade dos resíduos, melhorando seu armazenamento, aumentando a eficiência energética devido à pressão de compactação, resultando em um aumento no poder calorífico da biomassa e a melhoria no manuseio do resíduo e redução da sujeira nos equipamentos (Rodrigues, 2002).

Além disso, a prática oferece uma solução eficaz para a geração de energia limpa e renovável. Os briquetes resultantes podem ser utilizados como biocombustíveis em diversas aplicações, como aquecimento residencial, produção de vapor industrial e geração de eletricidade. Esse uso sustentável da biomassa contribui para a redução da dependência de combustíveis fósseis, mitigando os impactos ambientais associados à sua extração e queima (Nepomuceno, 2019).

O processo de briquetagem também é altamente versátil, permitindo a utilização de uma variedade de biomateriais. Essa flexibilidade facilita a incorporação de resíduos agrícolas, florestais e industriais no processo, transformando materiais anteriormente considerados como subprodutos em fontes valiosas de energia renovável (Marques, 2019).

Além de seu papel na geração de energia, a briquetagem contribui para a gestão sustentável de florestas. Ao incentivar o uso de resíduos de madeira provenientes de práticas de manejo florestal responsável, a briquetagem promove a utilização integral dos recursos florestais, evitando o desperdício e reduzindo a pressão sobre as florestas nativas (De Godoy Fernandes, 2020).

No contexto da transição para uma economia mais verde, a briquetagem destaca-se como uma solução eficiente e acessível. Sua aplicação não apenas aprimora a gestão de resíduos, mas também impulsiona a utilização sustentável de biomassa, contribuindo para a redução das emissões de carbono e para a promoção de práticas mais equilibradas e ecologicamente responsáveis (Marafon, 2020).

OBJETIVO GERAL

Produção de briquetes da casca de Angelim pedra *Hymenolobium petraeum* e Angelim vermelho *Dinizia excelsa* para determinar o potencial energético.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 4.1. Caracterização térmica;
- 4.2. Briquetagem das espécies de Angelim pedra *Hymenolobium petraeum* e Angelim vermelho *Dinizia excelsa*
- 4.3. Determinação do teor de umidade (TU %), teor de materiais voláteis (TMV %), teor de cinzas (TC%), por diferença Teor de carbono fixo;

REFERÊNCIAS DA REVISÃO

- 1 SANTOS, Jéssyka Ribeiro. **Casca de maracujá como matéria-prima para biorrefinarias**. 2023.
- 2 HANSTED, Felipe Augusto Santiago et al. **Potencial de reciclagem de resíduos de madeira e cinza de caldeira de biomassa em um material composto cimentício**. Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, 2022.d

3 DA CONCEIÇÃO, Willian Silva et al. **Caracterização estereométrica da madeira de Dinizia excelsa Ducke da Floresta Amazônica utilizando microscopia de força atômica**. *Microscopy Research and Technique*, v. 84, n. 7, p. 1431-1441, 2021.

4 ALBUQUERQUE, CARLOS EDUARDO C.; ANDRADE, AZARIAS. **Briquetagem-Visão histórica e perspectiva futura**. *Floresta e Ambiente*, v. 4, p. 104-109, 2024.

5 ZAGO, Elio Sandro et al. **O processo de briquetagem como alternativa de sustentabilidade para as indústrias madeireiras do município de Aripuanã-MT**. *Revista TechnoEng-ISSN 2178-3586*, v. 2, 2020.

6 BATISTA, Jorge Luiz et al. **Projeto conceitual de uma planta de produção para fabricação de briquetes/pelets a partir de resíduos de carvão vegetal e serragem/maravalha de madeira**. 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

7 MARAFON, A. C. et al. **Reciclagem das cascas de coco verde no contexto da economia circular: briquetagem e pirólise**. 2020.

8 BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 01**, de 08/03/1990 Acesso: 03/01/2024.

9 PARANATINGA, Iasmin Laís Damasceno. **Modelagem da distribuição potencial de espécies de angelim (Fabaceae) na Amazônia para a conservação e uso dos recursos genéticos**. 2022.

10 DO MONTE, Judson Rangell Rodrigues; DE SOUZA CARDOSO, Francinaldo; DO MONTE, Leiliane Trindade de Almeida. **Aproveitamento do epicarpo de babaçu extraídos em caxias-ma para a produção de briquetes**. *Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo*, v. 8, n. 3, p. 217-244, 2023.

11 RUTHES, Heloiza Candeia. **Uso de propriedades colorimétricas na estimativa das propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais**. 2023.

12 NAKASHIMA, G. T. **Produção de briquetes a partir de resíduos vegetais. 18 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Florestal).** Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2013.

13 BARROS, J. L. **Caracterização de blendas e briquetes de carvões vegetal e mineral.** 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2014.

14 FERRAGUTTI, A. C.; YAMAJI, F. M.; SILVA, D. A.; QUADROS, T. M. C.; PIRES, A. A. F. **Efeito da granulometria na compactação da biomassa de capim elefante.** In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira - EBRAMEM, 8., 2012.

15 QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais.** Disponível em: . Acesso em 09/10/2014.

16 CARNEIRO, Francimary da Silva et al. **Resiliência florestal pós-colheita na Amazônia oriental brasileira.** Tese de Doutorado. UFRA-Campus Belém e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, 2024.

17 CASTRO FILHO, Carlos Alberto Pires de. **Estimativa de biomassa na região amazônica utilizando técnicas de aprendizado de máquina.** 2022.

18 RODRIGUES, Leonardo Dantas, SILVA, Ivete Texeira da, ROCHA, Brígida Ramati Pereira da *et al.* **Uso de briquetes compostos para produção de energia no estado do Pará.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas.

19 ROMÃO, Debora Cristina de Freitas. **Estudo das potencialidades dos resíduos de biomassa da Amazônia Legal para aproveitamento tecnológico, social e ambiental.** 2022.

20 FARIAS, Bruno Maués et al. **Investigação cinética da pirólise de biomassa amazônica por termogravimetria.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 7, p. 49400-49418, 2020.

21 FEARNSIDE, Philip M. **Uso da terra na Amazônia e as mudanças climáticas globais.** FLORESTA AMAZÔNICA, v. 10, n. 2, p. 21, 2022.

22 SANTANA JÚNIOR, Cláudio Carneiro. **Utilização de biomassas lignocelulósicas da Amazônia Legal para produção de bioprodutos em um contexto econômico e socioambiental.** 2020.

23 DA SILVA, Jéssica Sueli Pereira et al. **Manejo de Mínimo Impacto para a Produção de Açaí na Amazônia: Efeitos sobre a Estrutura Horizontal e o Estoque de Biomassa Lenhosa em Ecossistema Alagável.** Biodiversidade Brasileira, v. 13, n. 1, 2023.

24 MEDEIROS, Dayane Targino de et al. **Caracterização da madeira de espécies da Amazônia.** Madera y bosques, v. 27, n. 2, 2021.

25 LOCKS, Charton Jahn; MATRICARDI, Eraldo Aparecido Trondoli. **Estimativa de impactos da extração seletiva de madeiras na Amazônia utilizando dados LIDAR.** Ciência Florestal, v. 29, p. 481-495, 2019.

26 ELBAKIDZE, Marine et al. **Conservação da biodiversidade por meio da certificação florestal: fatores-chave que moldam os processos nacionais de desenvolvimento de padrões do Forest Stewardship Council (FSC) no Canadá, na Suécia e na Rússia.** Ecology and Society, v. 27, n. 1, 2022.

27 STRAGLIOTTO, Michelly Casagrande; PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi; OLIVEIRA, Aylson Costa. **Indústrias madeireiras e rendimento em madeira serrada na Amazônia Brasileira.** Engenharia florestal: desafios, limites e potencialidade, p. 499-518, 2020.

28 DA SILVA CARNEIRO, Francimary et al. **Resiliência do volume de madeira de espécies comerciais em diferentes áreas experimentais na Amazônia Oriental.** Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 10, n. 6, p. 15-31, 2019.

29 MIGUÉIS, G. S.; GOMIDES, N. A. M. T. P.; GUARIM NETO, G. **Espécies Fabacea Papilionoideae ocorrentes no estado de mato-grosso.** Biodiversidade, v.14, n.3, p. 94-116, 2015.

30 MOURÃO, G. H. O. **Distribuição espacial de árvores emergentes na Amazônia a Partir de dados oriundos de escaneamento laser**

aerotransportado. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 85p., 2021.

31 COSTA, C. C.; SILVA, R. C. V. M.; SANTO, J. U. M. **Levantamento das espécies de leguminosae (Caesalpinioideae: tribo cassieae) no estado do Pará.** Anais do 7º Seminário de Iniciação Científica da UFRA e 13º Seminário de Iniciação Científica da EMBRAPA 01 a 04 de dezembro de 2009.

32 BRASIL MAIS – **Polícia Federal, Secretaria Nacional de Segurança Pública e Ministério da Justiça e Segurança Pública.** Disponível em: <https://plataforma-pf.scon.com.br/#/>. Acesso em: 31/01/2022.

33 ITTO - **The International Tropical Timber Organization. Angelim da mata (Hymenolobium excelsum).** Disponível em: <http://www.tropicaltimber.info/specie/angelim-da-matahymenolobium-excelsum/>. Acesso em: 02 fev. 2024.

34 LIMA, H. C. **Hymenolobium in Lista de Espécies da Flora do Brasil, 2015.** Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, [2015]. Disponível em: <https://dados.gov.br/dataset/floradobrasil>. Acesso em: 02 fev. 2024.

35 CNCFlora. **Hymenolobium excelsum** in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012. Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em. Acesso em 04 fev 2024.

36 APG II – **Grupo de Filogenia de Angiospermas. 2003. Sociedade Linneana de Londres.** Botanical Journal of the Linnean Society. 141:399-436. 2003.

37 MESQUITA, M. R.; FERRAZ, I. D. K.; CAMARGO, J. L.C. **Angelim-vermelho Dinizia excelsa Ducke Fabaceae.** Manual de Sementes da Amazônia. (Fascículo 8) Dinizia excelsa Ducke, 2009.

38 DICK, C.W.; ETCHELECU, G.; AUSTERLITZ, F. **Pollen dispersal of tropical trees (Dinizia excelsa: Fabaceae) by native insects and African**

honeybees in pristine and fragmented Amazonian rainforest. *Molecular Ecology*, v.12, p. 753-764, 2003.

39 FERREIRA, G. C.; GOMES, I. J.; HOPIKNS, G. J. M. **Estudo anatômico das espécies de Leguminosae comercializadas no Estado do Pará como “angelim”.** *Acta Amazônica*, v.34, n.3, p.71-76, 2004.

40 EMBRAPA - Embrapa Amazônia Oriental. **Espécies arbóreas da Amazônia no. 6: Angelim-vermelho, Dinizia excelsa.** Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA. 6p. 2004.

41 JARDIM, F.C.S.; HOSOKAWA, R.T. **Estrutura da Floresta equatorial úmida da estação experimental de silvicultura Tropical do INPA.** *Acta Amazônica*, v.16/17, n. único, p. 411- 508, 1986/87.

42 LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F.; ALENCAR, J.C. **Essências madeireiras da Amazônia.** Manaus: INPA/SUFRAMA, U.A, 1979. 245p.

43 RIBEIRO, J.E.L.S.; HOPKINS, M.J.G.; Vicentini, a.; Sothers, c.a.; Costa, m.a.s.; Brito, j.m.; Souza, m.a.d.; Martins, L.h.p.; Lohmann, l.g.; Assunção, p.a.c.l.; Pereira, e.c.; Silva, c.f.; Mesquita, m.r.; Procópio, l.c. 1999. **Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra firme na Amazônia Central.** INPA-DFID. Midas Printing Ltd. China. 816p.

44 SUDAM. 1979. **Pesquisa e informações sobre espécies florestais da Amazônia.** Departamento de Recursos Naturais - Tecnologia da Madeira. Belém-PA. 111p.

45 BARBOSA, R.I. **Análise do setor madeireiro do estado de Roraima.** *Acta Amazônica*, v. 20, p. 193-209, 1990.

46 FERREIRA, G. C.; GOMES, I. J.; HOPIKNS, G. J. M. **Estudo anatômico das espécies de Leguminosae comercializadas no Estado do Pará como “angelim”.** *Acta Amazônica*, v.34, n.3, p.71-76, 2004.

- 47 FERREIRA, G.C.; HOPKINS, M.J.G. **2004. Manual de identificação botânica e anatômica – Angelim.** Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PA. 101p.
- 48 LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.
- 49 SANTANA, Elaine Robaldo et al. **Caracterização e briquetagem de resíduos florestais.** 2019.
- 50 NEPOMUCENO, Gabriela Nakamura; MAGALHÃES, Washington Luiz Esteves. **Briquetagem de resíduos de sistema agroflorestal e projeto de forno para sua carbonização.** Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E), 2019.
- 51 MARQUES, Leonardo da Cunha; STEFANUTTI, Ronaldo. **A briquetagem a partir de resíduos lignocelulósicos como alternativa para redução da emissão de gases de efeito estufa.** 2019.
- 52 DE GODOY FERNANDES, Pedro Henrique et al. **Propriedades físico-mecânicas de briquetes produzidos com palha de cana-de-açúcar em alta temperatura.** Revista Virtual de Química, v. 12, n. 4, 2020.

Uso de resíduos *Hymenolobium petraeum* e *Dinizia excelsa* para produção de biocombustíveis sólidos

Use of Hymenolobium petraeum and Dinizia excelsa waste for solid biofuels production

M. S. Conceição¹; N. M. Silva²; C. F. L. Silva³; P. O. Schmitt³; D.A. Gatto⁴;
P. S. B. Dos Santos^{5*}

¹Prog. de pós-graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Pará, 68370-000, Altamira/PA, Brasil.

²Prog. de pós-graduação de ciências ambientais, Universidade Federal de Pelotas, 96010-290, Pelotas/RS, Brasil

³Laboratório bioenergia, Centro de Engenharia, Universidade Federal de Pelotas, 96010-290, Pelotas/RS, Brasil.

⁴Laboratório de propriedades físicas e mecânicas da madeira, Centro de Engenharia, Universidade Federal de Pelotas, 96010-290, Pelotas/RS, Brasil.

⁵Laboratório Tec. e Processos de Biorrefinaria, Centro de Engenharia, Universidade Federal de Pelotas, 96010-290, Pelotas/RS, Brasil.

*patricia.santos@ufpel.edu.br

(Recebido em dia de mês de ano; aceito em dia de mês de ano)

A aplicação de tecnologias para melhorar o rendimento da indústria de produtos florestais se faz necessário no Brasil. Buscando o melhor aproveitamento da biomassa, é preciso ter o conhecimento de aspectos desse material, não só a extração da polpa, mas também a caracterização da lignina, açúcares e outros produtos de forma a explorar potencialidades. A pesquisa analisou as cascas de *Hymenolobium petraeum* e *Dinizia excelsa* para avaliar seu potencial em processos de briquetagem. Os resultados mostraram diferenças das biomassas, destacando-se a alta quantidade de materiais voláteis, o que sugere uma maior liberação de gases durante a combustão, abrindo possibilidades para a produção de bioenergia e bioprodutos gasosos. Os briquetes produzidos a partir dessas cascas em diferentes tratamentos mostraram que o uso do tanino como aglutinante desempenha um papel importante. O tratamento com 50% de tanino apresentou briquetes com maior poder calorífico superior, menor expansão volumétrica e resistência ao fogo, indicando aplicações potenciais em processos industriais que requerem controle térmico. Compreender as potencialidades e características de cada espécie é essencial para otimizar seu uso sustentável, contribuindo para a transição para fontes de energia mais limpas e renováveis.

Palavras-chave: biomassa, briquetes, Angelim

The application of biotechnology to improve the yield of the forest products industry is necessary in Brazil. Seeking the best use of biomass, it is necessary to have knowledge of all aspects of this material, not only the extraction of the pulp, but also the characterization of lignin, sugars and other products in order to explore its potential. The research analysed the peels of *Hymenolobium petraeum* and *Dinizia excelsa* to evaluate their potential in briquetting processes. The results showed differences in the chemical properties of biomass, highlighting the high amount of volatile materials, which suggests a greater release of gasses during combustion, opening up possibilities for the production of bioenergy and gaseous bioproducts. Briquettes produced from these peels in different treatments have shown that the use of tannins plays an important role. The treatment with 50% tannins presented briquettes with higher calorific value, lower volumetric expansion and fire resistance, indicating potential applications in industrial processes that require thermal control. Understanding the specific chemical characteristics of each species is essential to optimize their sustainable use, contributing to the transition to cleaner and more renewable energy sources.

Keywords: biomass, briquettes, Angelim

1. INTRODUÇÃO

O acelerado processo de urbanização global gera pressão em diversos setores, incluindo o energético. Nesse contexto, a participação da biomassa na matriz energética do Brasil e do mundo tem crescido nos últimos anos, apresentando grande potencial para liderar entre as fontes renováveis, principalmente devido à sua ampla disponibilidade.

A biomassa florestal engloba todos os resíduos provenientes de plantações florestais, serrarias de beneficiamento de madeira, indústrias de papel e celulose, fabricação de painéis, entre outras atividades. No entanto, a geração de resíduos nesses processos representa um desperdício potencial, pois nem sempre são convertidos em uma nova fonte de receita. Além disso, resíduos mal manejados e descartados de maneira inadequada podem constituir um passivo ambiental significativo. Em 2010, a Lei nº 12.305 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (1), estabelecendo princípios, objetivos e diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. Desde então, as empresas geradoras desses resíduos são obrigadas a buscar alternativas ambientalmente adequadas para o seu manejo.

O processo de densificação dos resíduos, como a produção de briquetes, apresenta como vantagens principais a redução de volume, alto valor calorífico por volume, menor custo logístico e de transporte, além de facilitar o armazenamento e manuseio, proporcionando uma homogeneização eficaz do combustível.

Possuindo catalogadas aproximadamente 19.325 espécies a nível mundial, vindo de 727 gêneros, a família Fabaceae está entre as maiores do grupo das angiospermas, apresentando uma grande distribuição nas áreas tropicais e subtropicais e representando uma importante fonte de fornecimento de recursos da região Amazônica (2).

A madeira de angelim-pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) é extremamente utilizada na construção, tanto civil quanto naval, motivo que leva a alta exploração da espécie, principalmente no Pará, levando a compor a lista de espécies ameaçadas, mesmo nas unidades de conservação (3).

A de angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) é muito conhecida por seu porte arbóreo, atingindo até 60 m de altura e mais de 2 m de diâmetro está entre as maiores árvores da floresta amazônica. Endêmica da região, a espécie ocorre no Brasil, nos estados do Acre, Rondônia, Amazonas, Pará, Roraima, Amapá e Maranhão (4). Seu principal uso é na construção naval e civil, sua madeira é intensamente explorada, o que a coloca entre as espécies madeireiras mais importantes da região, responsável por cerca de 50% das madeiras vendidas na Amazônia Central (5).

A matéria-prima lenhosa empregada na fabricação de briquetes e pellets é considerada promissora devido à sua disponibilidade, e não afeta a produção de alimentos e rações. A tecnologia de briquetagem consiste na conversão da biomassa em

biocombustíveis sólidos, concentrando energia e reduzindo significativamente o volume de resíduos que são inadequadamente descartados no meio ambiente, como nos lixões a céu aberto e nos rejeitos agroflorestais.

No Brasil, são utilizados em padarias, restaurantes, pizzarias e em fábricas que possuem fornos a lenha, como as olarias. Caracterizam-se por apresentar uma estrutura regular e homogênea, sendo de fácil manuseio e transporte, além de possuírem menor teor de umidade e maior densidade energética. Podem ser produzidos a partir de diversos materiais residuais, tais como madeira, serragem, cascas de arroz, café, coco e banana, além de bagaços de cana-de-açúcar e outros resíduos agrícolas e florestais em geral.

Este trabalho teve como objetivo fornecer informações acerca do potencial das espécies angelim-pedra e angelim-vermelho para serem utilizadas em processo de briquetagem, contribuindo assim para a construção de um futuro mais resiliente e ecologicamente equilibrado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados ritidoma (cascas) de Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke), Angelim-pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) que foram coletadas no ano de 2019 e armazenadas após secagem em potes que foram guardados nas dependências do Laboratório de Engenharia Madeireira da Universidade Federal de Pelotas – RS em temperatura ambiente, para posterior análises e utilização. Os materiais são provenientes do manejo florestal sustentável da Reserva Extrativista (RESEX) Ipaú-Anilzinho, localizada no município de Baião/Pará. Esta pesquisa possui autorização para atividades com finalidades científicas, junto ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) no Ministério do Meio Ambiente, sob inscrição 62671-1. C.

O tanino comercial foi doado pela empresa TANAC S.A. e, conforme a ficha técnica do produto disponibiliza pelo fabricante, as amostras de tanino da acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild), na forma de pó aniônico, possui coloração bege, é higroscópico, com pH médio de 5,0 (em solução aquosa 20% p/v), pureza maior que 93,5% e densidade de 1,47 g.L⁻¹ conforme ficha técnica.

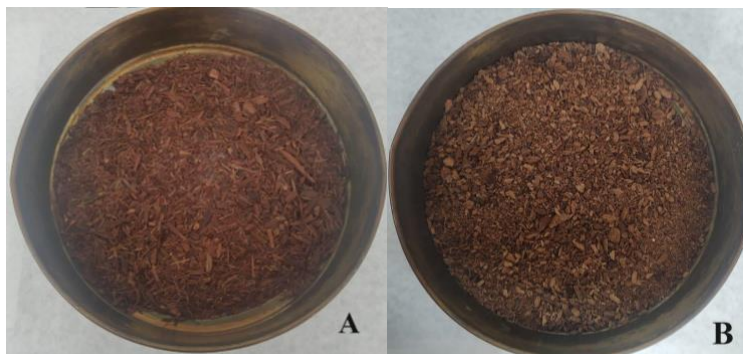


Figura 1 – Biomassa em estudo, ritidoma das espécies A: Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) e B: Angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) Fonte: Autor (2024).

2.1. Caracterização do material

Após a moagem, determinou-se para todas as biomassas de teor de umidade (TU %), teor de materiais voláteis (TMV %), teor de cinzas (TC%), por diferença Teor de carbono fixo (TCF %), de acordo com a norma - ASTM D 1762 – 1984 (1). Esses ensaios foram realizados em triplicata.

A densidade a granel dos resíduos foi realizada de acordo com a ABNT NBR 6922 (7) adaptada, considerando o teor de umidade da amostra no momento do ensaio.

2.2. Confeção dos briquetes

A confecção de briquetes foi realizada com um molde cilíndrico de 35 mm de diâmetro e 50 mm de altura (48 mm³). Os briquetes de cada tratamento foram confeccionados em quadruplicatas, totalizando 16 amostras por espécie, conforme observamos na Tabela 1.

Espécies	Tratamento	Composição e proporção de resíduos	Abreviação
Angelim vermelho (<i>Dinizia excelsa</i>)	1	100 % casca	AVT1
	2	75% de casca e 25% de tanino	AVT2
	3	65% de casca e 35% de tanino	AVT3
	4	50% de casca e 50% de tanino	AVT4
Angelim pedra (<i>Hymenolobium petraeum</i>)	1	100 % casca	APT1
	2	75% de casca e 25% de tanino	APT2
	3	65% de casca e 35% de tanino	APT3
	4	50% de casca e 50% de tanino	APT4

Fonte: Autores (2023)

Tabela 1: Composição e proporção de casca de angelim para a briquetagem.

Para a confecção dos briquetes foi realizada a mistura a proporção de tanino de cada tratamento com 10ml de água e a cascas das diferentes espécies proporções peso/peso e homogeneizadas com o auxílio de espátulas, resultando em um material uniforme, com uma consistência que permitisse a formação dos briquetes (8).

Durante a fabricação de cada briquete, o volume total do molde foi preenchido com o material homogeneizado, sendo que a massa deste volume de resíduos correspondeu à respectiva massa do briquete. A compactação foi em uma prensa hidráulica manual da marca Bovenau, modelo P15 ST de 15 toneladas. Para a prensagem dos materiais adotou-se a carga de 1200 kfg.cm² mantida por um período de três minutos em temperatura ambiente (entre a 25 – 30 °C). Após a prensagem, os briquetes foram secos ao ar, até atingirem a umidade de equilíbrio com o ambiente.

2.3. Caracterização dos briquetes

2.3.1. Teste de expansão

Após a compactação, foram mensurados, por meio de um paquímetro manual, a altura e o diâmetro de cada briquete. Essas medições foram realizadas a cada 24 horas até que a estabilidade fosse alcançada. Posteriormente, a altura e o diâmetro dos corpos de prova foram novamente aferidos, com o propósito de avaliar a taxa de expansão durante a fabricação dos briquetes em diferentes tratamentos. Essa taxa de expansão foi calculada utilizando as equações 1 e 2:

$$\text{Exp long.} = [(HF-H_i)/H_i] \times 100$$

(1)

$$\text{Exp. Dim.} = [(DF-D_i)/D_i] \times 100$$

(2)

Em que;

Exp long.= Expansão longitudinal
Exp. Dim.= Expansão dimensional
H_F = altura final do briquete

H_I = altura inicial do briquete
D_I = diâmetro inicial do briquete
D_F = diâmetro final do briquete

2.3.2. Densidade Aparente

A densidade aparente dos briquetes foi obtida por meio do método estereométrico. A massa de cada briquete foi medida em uma balança de precisão, e o volume foi calculado levando em consideração a forma cilíndrica dos briquetes.

2.4. Densidade energética

A densidade energética dos briquetes foi determinada multiplicando o poder calorífico superior pela densidade aparente (8). No cálculo da densidade energética dos briquetes, foi levada em consideração a densidade aparente após atingirem a umidade de equilíbrio com o ambiente (manifestando um peso constante) e a medida do poder calorífico superior.

2.5. Poder calorífico

A análise de poder calorífico superior (PCS) dos materiais foi realizada no Laboratório de Bioenergia do Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas – UFPEL. Na análise realizada, utilizou-se o calorímetro isoperibólico (PARR, 6200), usando 0,5 g de amostras. Os resultados de poder calorífico superior (PCS) foram expressos em kcal/kg, essa análise foi realizada com 2 repetições para cada amostra.

Para o cálculo de Poder Calorífico Inferior (PCI) foi considerado um valor de referência de 5% para teor de hidrogênio para biomassa de casca de diferentes espécies encontradas por Viana et al. 2017, para a casca de Jatobá, pois não foram encontrados valores de referência específicos para as espécies estudadas. A fórmula aplicada para PCI está representada na equação 3. A determinação do PCI considera o valor do PCS obtido no equipamento, menos o valor de 600 da constante de proporcionalidade e o teor de Hidrogênio (H), porém desconsiderando a quantidade de energia necessária para evaporar a água formada durante a combustão de acordo com (8).

$$PCI = PCS - (600 \times 9H/100) \quad (3)$$

Em que:

PCI= Poder Calorífico Inferior (kcal.g-1).

PCS= Poder Calorífico Superior (kcal.g-1).

H= Teor de Hidrogênio (%).

Analisando a equação 4 pode-se observar o cálculo do poder calorífico útil (PCU), também chamado de PCI em base úmida por ser em função da umidade, é expresso em kcal/kg, relação ao PCI considerando o teor de umidade e 600 a constante de proporcionalidade de acordo com **faltou o nome da pessoa** (8).

$$PCU = PCI \times [1 - (TU/100)] - 600 \times (TU/100) \quad (4)$$

Em que:

PCU = Poder Calorífico Útil (cal.g-1)

PCI = Poder Calorífico Inferior (cal.g-1)

TU=Porcentagem em massa de umidade na biomassa (%).

A densidade energética do briquete foi obtida de acordo com metodologia descrita por Protásio (8) adaptada, multiplicando-se a densidade aparente pelo poder calorífico superior (PCS) dos briquetes, determinando-se a máxima quantidade de energia por unidade de volume dos briquetes produzidos.

2.6. Ensaio em chama direta

Os ensaios de resistência à chama direta foram realizados de acordo com Tondi G. (9). As superfícies radiais das amostras foram expostas à chama de um bico Bunsen por 10 minutos, a uma distância de 7 cm entre a chama azul e a superfície do briquete, em uma capela sem sistema de exaustor. O tempo de ignição, chama e brasa foram determinados com um cronômetro e realizado em duplicata por tratamento, avaliou-se a resistência ao fogo do briquete em função da perda de massa de acordo com as especificações da norma ASTM D-3345-08(10).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização da biomassa

Na análise imediata das cascas de angelim vermelho e pedra, foram analisados o potencial de algumas propriedades para a exploração sustentável de seus potenciais energéticos. Os teores de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo são apresentados na Tabela 2 onde estão descritos os valores médios com seus respectivos desvios padrões, onde é possível observar que não houve diferença significativa, em nenhum dos ensaios, para as espécies estudadas.

Tabela 2: Caracterização das cascas das espécies de Angelim estudadas.

Espécies	Ensaio				
	Umidade (%)	Materiais voláteis (%)	Carbono fixo (%)	Cinzas (%)	Densidade a granel g/cm ³
Angelim vermelho	10,43(0,22)a	88,17(3,87)a	9,99(3,83)a	1,83(0,09)a	0,294 ^a
Angelim pedra	12,50(0,31)b	91,10(1,42)a	7,36(1,38)a	1,54(0,16)a	0,290 ^a

Fonte: Autor (2023)

Médias com letras diferentes para a mesma coluna são diferentes estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de significância.

Ao analisarmos os resultados dos testes, observou-se que, exceto pelo teor de umidade, não houve diferença estatística em relação às espécies estudadas para os demais ensaios de caracterização realizados.

A umidade na biomassa de Angelim estudada apresentou valores entre (10,4 % e 12,5 %). Para Lucena D. (11) as faixas de teores de umidade de até 12% é considerada ideal para a fabricação de briquetes. Esses dados têm implicações importantes nos processos de biorrefinaria, de acordo com Macedo (12) baixos valores de umidade e cinza, demonstram que as biomassas apresentam potencial para serem aproveitadas em processos de biorrefinarias, pois com uma menor umidade sugere uma biomassa mais seca, contribuindo para um poder calorífico efetivo mais elevado durante a combustão. Menos energia é despendida na evaporação da água, aumentando a eficiência do processo (13). A relevância do teor de cinzas na determinação do poder calorífico é enfatizada por Protásio (8), indicando que uma maior concentração de cinzas se traduz em menor poder calorífico. As duas espécies apresentam teores de cinzas em uma quantidade estatisticamente aceitável para determinar uma boa qualidade energética, observando os valores estabelecidos pela norma de padrões mínimos de qualidade para carvão vegetal (Resolução SAA 10, de 11 de julho de 2003), quando destinado à siderurgia, teor de cinzas foi inferior a 1,5%, PMQ 3 – 03 para carvão vegetal (14).

A análise imediata demonstrou que as amostras de angelim vermelho e angelim pedra tiveram altos teores de voláteis e baixo conteúdo de carbono fixo. O teor de materiais voláteis encontrado no angelim vermelho e angelim-pedra foi de 88,17% e 91,10%, respectivamente, estando próximo aos valores encontrados na literatura, os quais estão entre 74,10% e 84,00%, para a casca de *Eucalyptus*

para resíduos madeireiros com potencial para serem utilizados em briquetagem (15). Também estão próximos aos valores dos briquetes produzidos com palha de cana-de-açúcar (16) Segundo Macedo e Rambo (12), os teores de carbono fixo e materiais voláteis são utilizados como indicativos do potencial energético. Porém, Garcia R. (17) explica que, a facilidade de queima do material, devido ao teor de materiais voláteis da biomassa, aumenta a reatividade e a velocidade da combustão, entretanto dificulta assim que sejam atingidas temperaturas elevadas (18).

Tendo em vista, os aspectos mencionados anteriormente, observando que neste estudo foi produzido briquetes, oriundos de resíduos de produtos florestais não madeireiros, os dados de qualidade energética não são comparáveis diretamente com carvão vegetal, pois a densidade a

granel é inferior às de madeiras, porém observa-se que as características essenciais do “carvão vegetal” destacadas por **faltou o nome do autor** (19) para o uso na metal siderúrgicas são: densidade de 180 a 350kg/m³, umidade de 1 a 6%, cinzas de 0,5 a 4%, ambas foram cumpridas pelos tratamentos 2, 3 e 4 para ambas as espécies estudadas. Porém segundo o mesmo autor, os valores de carbono fixo encontrado neste estudo que diretamente proporcional aos valores de materiais voláteis não ficaram dentro do recomendado, que é de 70 a 80% de carbono fixo, 25 a 35% de materiais voláteis.

Por mais que para a qualidade de queima para a siderurgia, as biomassas estudadas não apresentaram características adequadas de materiais voláteis e carbono fixo, pois conforme os resultados obtidos para teor de carbono fixo, a queima das cascas do Angelim vermelho e pedra deverá se processar de modo mais rápido e com maior formação de chama que os carvões tradicionais, porém ao incorporar esses resultados nos processos de biorrefinaria, é possível explorar estrategicamente as características específicas de cada biomassa, otimizando a produção de bioprodutos gasosos e compostos químicos de alto valor, contribuindo para uma abordagem mais eficiente e sustentável.

3.2 Caracterização dos briquetes

Ao término da briquetagem, todos os briquetes do tratamento T1 para ambas as espécies estudadas, apresentaram baixa compactação e se desintegraram, enquanto os briquetes dos demais tratamentos permaneceram concisos. Desta forma, em relação à confecção dos briquetes observou-se, que é inviável a produção de briquetes T1 sem a presença de tanino, pois todas as amostras apresentaram-se instáveis, demonstrando que sem agente aglutinante (tanino) inviabiliza a produção de briquetes para as espécies estudadas. Para os tratamentos 2, 3 e 4 para ambas as espécies, apresentaram valores satisfatórios em relação a compactação e sua aglutinação aparente (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo das análises de expansão diamétrica e longitudinal para os briquetes produzidos da casca de angelim, nos diferentes tratamentos utilizados.

Espécies	Tratamento	Ensaio	
		Expansão Longitudinal (%)	Expansão diametral (%)
Angelim vermelho	1	*ne	*ne
	2	6,49(4,37) ^{ab}	-9,92(5,12) ^{ab}
	3	2,23(7,11) ^{ab}	-13,28(3,29) ^a
	4	-3,36(9,14) ^a	-1,14(12,14) ^{ab}
Angelim pedra	1	*ne	*ne
	2	3,615(0,04) ^{ab}	1,85(1,60) ^{ab}
	3	15,22(1,27) ^b	2,88(4,90) ^b
	4	4,38(1,88) ^{ab}	0(0,00) ^{ab}

Fonte: Autor (2023)

Médias com letras diferentes para a mesma coluna são diferentes estatisticamente pelo teste Tukey em 95% de significância;

*ne = não ensaiado, pois os briquetes não se estruturaram.

A partir da Tabela 4 é possível observar que o acréscimo de tanino como aglutinante para a produção de briquetes de cascas de Angelim pedra e vermelho, aumentou a densidade para os tratamentos estudados apresentando uma influência para cada tratamento. No Angelim vermelho

observou-se um aumento da densidade à medida que se introduziu o aglutinante. No angelim pedra ao chegar no T4 houve uma redução referente ao T3. A menor densidade apresentada foi para o tratamento **T** com uma menor concentração de tanino em ambas as espécies, com aumento do aglutinante ocorre uma maior compactação do briquete e conseqüentemente um aumento subsequente nos valores de densidade aparente (T3 e T4 – Angelim vermelho).

Tabela 4. Resumo das análises de caracterização de densidade aparente, densidade energética, poder calorífico superior, inferior e útil dos briquetes produzidos da casca de angelim, nos diferentes tratamentos

Espécies	Tratamento	Ensaio				
		Densidade aparente (g/cm ³)	PCS (kcal/kg)	PCi (kcal/kg)	PCU (kcal/kg)	Densidade energética (kcal/cm ³)**
Angelim vermelho	1	*ne	4381,3 (11,00)a	4142,11(284,5)a	3571,89(9,86)a	*ne
	2	0,568(0,19)a	4805,4 (69,25)a	4406,87 (67,5)a	3951,78(60,54)a	2,7295
	3	0,832(0,02)b	4681,08 (67,34)a	4233,47 (16,63)a	3840,41(21,34)a	3,8947
	4	0,895(0,07)b	4664,08 (69,17)a	4509,69 (20,20)a	3825,18(111,36)a	4,1750
Angelim Pedra	1	*ne	4466,11(284,56)a	4057,32 (11,0)a	3549,17(248,98)a	*ne
	2	0,55(0,09)a	4730,82(67,46)a	4481,41(67,6)a	3780,83(59,02)a	2,6019
	3	0,852(0,11)b	4557,40 (16,68)a	4357,08(23,8)a	3629,11(14,55)a	3,8829
	4	0,733(0,07)ab	4833,61 (20,19)a	4340,09 (124,3)a	3870,79(17,67)a	3,5430

Fonte: Autores (2023)

Médias com letras diferentes para a mesma coluna são diferentes estatisticamente pelo teste Tukey em 95% de significância;

*ne= não ensaiado, pois os briquetes não se estruturaram.

utilizados.

Referente aos resultados do poder calorífico superior, é possível observar que não existe uma variação significativa. O poder calorífico superior revelou que os briquetes produzidos apresentaram resultados com suas médias variando entre 4380 e 4830 kcal/kg, alinhados com os intervalos frequentemente citados na literatura. Silva D. (22) encontrou o valor aproximado de 4133 kcal/kg para briquetes de madeira, o qual apresenta um valor similar aos encontrados no presente estudo, o que demonstra que os resultados são promissores, demonstrando a possibilidade de utilização de resíduos de casca com taninos na produção de briquetes, agregando valor aos resíduos gerados na cadeia florestal.

Variações superiores a 300 kcal/kg no poder calorífico de biomassa são consideradas significativas para a produção de energia. (22), como se pode observar para ambas as espécies o T2 apresentou resultados na média do recomendado, o T4 (50% tanino) apresentou aumento expressivo no poder calorífico se comparado com T1 (0% de tanino), apesar que na análise estatística não apresentaram uma influência significativa. Esse resultado se deve a presença de tanino nas amostras que apresenta um incremento no poder calorífico superior.

Observa-se que angelim-pedra apresentou maior teor de umidade (12,5%), por mais que esteja próximo da umidade ideal para produção de briquetes, se observa que no resultado de PCI para T1, que a quantidade de calor necessário para evaporar a água dessa espécie se apresenta em média superior aos demais tratamentos da mesma espécie, e em comparação ao angelim vermelho, isso pode ser observado pela diferença entre P.C.S. e P.C.I., que demonstra a influência do teor de umidade no processo de combustão do briquete.

3.3. Teste de chama

Os testes de exposição a chama por curta duração simulam o acendimento do fogo (9). Na tabela 5, verifica-se os resultados das análises de chama direta durante 10 minutos.

Tabela 5. Resumo das análises de tempo de ignição, chama em chama direta por 10 minutos para os briquetes produzidos da casca de angelim, nos diferentes tratamentos utilizados.

Espécies	Tratamento	Tempo de Ignição (s)	Tempo de chama (s)
Angelim vermelho	1	*ne	*ne
	2	35,66(2,51)a	124,33(42,66)bc
	3	36,3333(19,29)a	187,67(52,77)bc
	4	64,00(10,58)ab	207,00(24,55)d
Angelim pedra	1	*ne	*ne
	2	21,67(9,50)a	23,00(9,54)a
	3	118,33(41,76)c	117,00(38,22)bc
	4	178,67(18,92)d	111,00(13,53)ab

Fonte: Autores (2023)

Médias com letras diferentes para a mesma coluna são diferentes estatisticamente pelo teste Tukey em 95% de significância;

*ne = não ensaiado, pois os briquetes não se estruturaram.

Observou-se que para o tempo de ignição, variando de 21,67 a 178,67 segundos, houve significância para ambos os fatores, tratamentos e espécies estudadas, com esses resultados identificamos que os taninos são um fator crucial para o atraso no tempo de ignição, conforme aumenta a carga de tanino maiores os tempos de ignição, dados que corroboram com estudos anteriores (9). Os tempos de chamas variaram de 23 a 207 segundos, que representa a manutenção da chama sobre a amostra mesmo após a extinção da chama externa, um fator que beneficia o uso dos briquetes, por mais que as biomassas estudadas apresentem elevado teor de material voláteis, esse processo de volatilização parece ser retardado com o uso dos taninos.

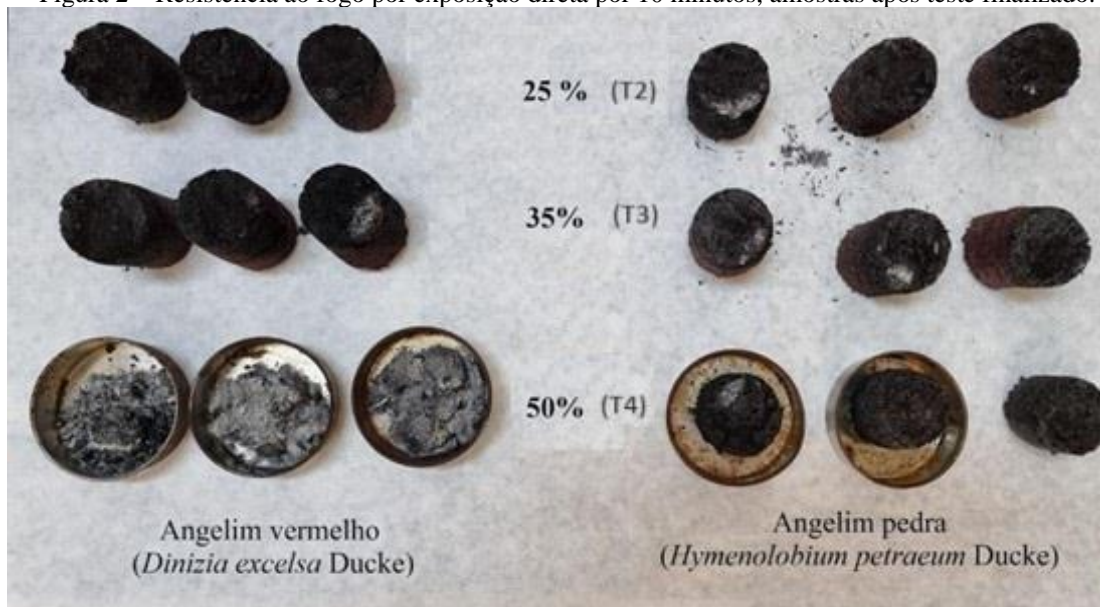
Para o tempo de brasa ardente, a qual refere-se à visualização da brasa na amostra mesmo após o afastamento da chama direta, no tratamento com 35% de tanino (T3) da espécie de angelim pedra, obteve-se um o período de 20 a 30 minutos em brasa, ao cessar esse tempo, todas as amostras apagaram por completo. No tratamento T4, com 50% de tanino, todas as amostras permaneceram por mais de 2 h, sendo que a amostra de angelim pedra, mantiveram-se em brasa por períodos até 4 horas e 15 minutos.

Para as amostras de angelim vermelho, os resultados demonstram-se semelhantes quanto às amostras de 25% (T2) e 35% (T3), no entanto, no tratamento T4 (50% de tanino) verificou-se o tempo final de brasa de até 3h e 54 minutos, como observado na tabela 5, os corpos de provas nos tratamentos T2 e T3 para ambas as espécies se mantiveram formados e pouco afetados pela chama, enquanto o tratamento T4, após um período de chama de 10 minutos, pode ser observada

que a prolongação do tempo de extinção brasa, resultou em corpos de provas decompostos pela ação do calor. Essa característica é crucial para determinar a viabilidade de uso dessas biomassas em processos de combustão controlada.

Esse resultado destaca a eficácia desse tratamento para as amostras T2, T3, T4 de briquetes com tanino para ambas as espécies, com o objetivo de manter uma combustão prolongada, necessitando de maiores estudos para entender a cinética de queima dos briquetes estudados. Observa-se que não foram encontrados testes similares na bibliografia para contrastar.

Figura 2 – Resistência ao fogo por exposição direta por 10 minutos, amostras após teste finalizado.



Fonte: Autores (2023)

4. CONCLUSÃO

Os resultados revelam que as cascas de Angelim Vermelho e Angelim Pedra possuem propriedades com potencial para aplicações e processos energéticos.

A alta quantidade de materiais voláteis nas cascas de Angelim sugere uma maior propensão à liberação de gases durante a combustão, o que abre oportunidades para a produção de bioenergia e bioprodutos gasosos. Ao avaliar o desempenho dos briquetes produzidos a partir dessas cascas em diferentes tratamentos, fica evidente que as proporções de taninos desempenham um papel crucial. O tratamento 4, que inclui 50% de taninos, mostrou-se eficiente na produção de briquetes com maior poder calorífico superior, menor expansão volumétrica e resistência ao fogo. Esses briquetes também demonstraram capacidade de manter brasas por períodos prolongados, sugerindo aplicações em processos industriais que requerem controle térmico.

Observou-se que para o tempo de ignição, houve significância para ambos os fatores, tratamentos e espécies estudadas, com esses resultados podemos concluir que os taninos são um fator crucial para o atraso no tempo de ignição, conforme aumenta a carga de tanino maiores os tempos de ignição, dados que corroboram com estudos anteriores

Em suma, os resíduos madeireiros ao serem investigados, se mostram promissores para serem aproveitados como bioprodutos, além de substituir satisfatoriamente a lenha (biomassa tradicional) e promover a valorização dos resíduos florestais e agrícolas por meio de briquetagem para fins energéticos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. L12305- Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010 Disponível em<: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>, acessado em:18/01/2024.
2. Miguéis GS, Gomides NAMTP, Neto GG. Espécies fabacea papilionoideae ocorrentes no estado de mato grosso. Biodiversidade - V.14, N3, 2015 - pag. 95
3. Centro Nacional de Conservação da Flora. CNCFlora. *Hymenolobium janeirensis* in Lista Vermelha da flora brasileira versão. 2012.
4. DICK CW, ETCHALECU G, AUSTERLITZ F. Pollen dispersal of tropical trees (*Dinizia excelsa*: Fabaceae) by native insects and African honeybees in pristine and fragmented Amazonian rainforest. *Mol Ecol* . (12):753–64. DOI: 10.1046/j.1365-294x.2003.01760.x
5. Barbosa RI. Análise do setor madeireiro do Estado de Roraima. *Acta Amaz*. 1990;20(0):193–209. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921990201209>
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 1762 – 84 Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal., 2007.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 6922 NBR6922 Carvão vegetal Ensaio. 2014.
8. Protásio, TP; Couto, AM; Reis, AA; Trugilho, PF; Godinho, Tp. Potencial siderúrgico e energético do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp aos 42 meses de idade. *Pesquisa Florestal Brasileira*, [S. l.], v. 33, n. 74, p. 137–149, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.74.448>.
9. Tondi G, Wieland S, Wimmer T, Thevenon MF, Pizzi A, Petutschnigg A. Tannin-boron preservatives for wood buildings: mechanical and fire properties. *Eur J Wood Prod*. 2012 Sep;70(5):689–96. <https://doi.org/10.1007/s00107-012-0603-1>
10. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3345-08 Standard Test Method for Laboratory Evaluation of Wood and Other Cellulosic Materials for Resistance to Termites.
11. Lucena DA, Medeiros RDD, Fonseca UT, Assis PS. Aglomeração de moinha de carvão vegetal e sua possível aplicação em alto-forno e geração de energia. *Tecnol. Metal. Mater*, 2008;4(4):1–6. <http://dx.doi.org/10.4322/tmm.00404001>
12. Macedo LPR, Rambo MKKD. Biorrefinarias. caracterização de biomassas residuais do tocantins por espectroscopia nir aliada a quimiometria visando a obtenção de insumos químicos e condicionadores de solo. *DRIUFT*. 2017;3(Especial):49–54. <https://doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2016v3nespp49>
13. Rendeiro G. Combustão e gasificação de biomassa sólida: soluções energéticas para a Amazônia. 1ª edição. Brasília: Ministério de Minas e Energia; 2008. 190 p. ISBN 978-85-98341-05-7.
14. São Paulo A. NORMA - PMQ 3-03 PARA CARVÃO VEGETAL, Define Norma de Padrões Mínimos de Qualidade para Carvão Vegetal, 2003; 4p.
15. Brito JO, Barrichelo LEG. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, IPEF*. 1978;(16):63–70.
16. Fernandes PHG, Nakashima G, Padilla E, Santos L, Yamaji F. Physico-Mechanical Properties of Briquettes Produced from Heated Sugarcane Straw. *Revista Virtual de Química*. 2020 Jan 1; 12:969–80. DOI: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200070>
17. García R, Pizarro C, Lavín AG, Bueno JL. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*. 2012 Jan 1;103(1):249–58. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.004>
18. Obernberger I, Thek G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass and Bioenergy*. 2004 Dec 1;27(6):653–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.07.006>
19. Picancio ACS, Isbaex C, Silva ML da, Salles TT, Rêgo LJS, Silva LF da. Controle do processo de produção de carvão vegetal para siderurgia. *Caderno de Administração* 2018,12(1).
20. Yamaji FM, Vendrasco L, Chrisostomo W, Flores W de P. Análise do comportamento higroscópico de briquetes. *energia na agricultura*. 2013 Apr 5;28(1):11–5. DOI:<https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2013v28n1p11-15>
21. Brasil DS, Martins MP, Nakashima GT, Yamaji FM. Use of sugarcane bagasse and candeia waste for solid biofuels production. *RF*. 2014 Sep 10;45(1):185. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v45i1.36502>
22. SILVA DA. Análise laboratorial para avaliação da qualidade de briquetes para fins energéticos para empresa Bripell. *Fupef Cutituba* 2007. 2007; DOI: https://doi.org/10.18677/EnciBio_2017A90