



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

JOYCE BATISTA COSTA AZEVEDO

**PROPRIEDADES DA MADEIRA DE ACACIA *MANGIUM* PARA PRODUÇÃO
DE ENERGIA**

LARANJAL DO JARI

2025

JOYCE BATISTA COSTA AZEVEDO

**PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *ACACIA MANGIUM* PARA PRODUÇÃO
DE ENERGIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Florestal do Instituto Federal do Amapá, Campus Laranjal do Jari, como requisito avaliativo para obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Florestal.

Orientadora: Dr^a. Prof.^a Bruna Duque Guirardi.

Coorientador: Eng. Florestal. Jackson Rodrigo de Lima Barbosa.

LARANJAL DO JARI

2025

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A987p Azevedo, Joyce Batista Costa
 Propriedades da madeira de Acacia mangium para produção de energia /
 Joyce Batista Costa Azevedo - Laranjal do Jari, 2025.
 38 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Laranjal do Jari,
Bacharelado em Engenharia Florestal, 2025.

Orientadora: Dra. Bruna Duque Guirardi .
Coorientadora: Jackson Rodrigo De Lima Barbosa.

1. Qualidade da madeira. 2. Poder calorífico. 3. queima direta. I. Guirardi
, Dra. Bruna Duque, orient. II. Barbosa, Jackson Rodrigo De Lima,
coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do IFAP
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

JOYCE BATISTA COSTA AZEVEDO

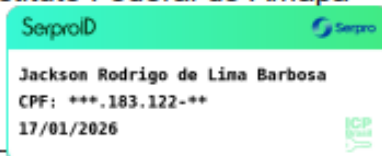
**PROPRIEDADES DA MADEIRA DE ACACIA *MANGIUM* PARA PRODUÇÃO
DE ENERGIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Florestal do Instituto Federal do Amapá, Campus Laranjal do Jari, como requisito avaliativo para obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Florestal.

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dr.^a. Bruna Duque Guirardi (Orientadora)
Instituto Federal do Amapá – IFAP



Eng. Florestal Jackson Rodrigo de Lima Barbosa (Coorientador)

Instituto Federal do Amapá – IFAP

Documento assinado digitalmente

gov.br NARA HELENA TAVARES DA PONTE
Data: 23/12/2025 11:02:28-0300
Verifique em <https://validar.if6.gov.br>

Profa. Dra. Nara Helena Tavares Da Ponte (Avaliador)
Instituto Federal do Amapá – IFAP

Documento assinado digitalmente

gov.br GUSTAVO MATTOS ABREU
Data: 14/01/2026 16:33:26-0300
Verifique em <https://validar.if6.gov.br>

Prof. Dr. Gustavo Mattos Abreu (Avaliador)
Universidade do Estado do Amapá – UEAP

Apresentado em: 18/12/2025

Conceito/Nota: 8,7

AGRADECIMENTOS

Ao encerrar esta jornada, meu coração se enche de gratidão e reconhecimento que nenhum passo foi dado sozinha.

Primeiramente, e acima de tudo, agradeço a Deus, Ele foi e é o meu ajudador, a presença constante que me amparou nos momentos mais difíceis. Em cada desafio, me guiou e sustentou, renovando minhas forças para continuar, e por me ensinar a ter autoconfiança, mas sempre me mostrando que os seus planos são muito melhores que os meus.

A minha família, em especial a minha mãe Maria Iris Bastos Batista, que sempre me ajudou e dizia para não desistir, ficou muitas das vezes com o meu filho para eu poder ir para a faculdade, aos meus pais Kelson Josimar Araujo Costa e Joaquim José Dib Azevedo por acreditarem em mim, e aos meus irmãos pelo apoio contínuo ao longo desta jornada.

Ao meu esposo e pai do meu filho, Alcidinei Castelo Monteiro, pela paciência, companheirismo e por sempre me ajudar e por acreditar na minha capacidade.

A minha orientadora, prof.^a Dra. Bruna Duque Guirardi, por ter aceitado me orientar com tanta atenção e comprometimento. Suas orientações foram essenciais para a realização deste trabalho. Foram momentos de aprendizado que levarei para a vida toda. Agradeço pela generosidade e pelo tempo dedicado.

Ao meu coorientador, Jackson Barbosa, pelas orientações, paciência, atenção e por sempre solucionar os problemas que surgiram ao longo do processo das análises, muito obrigada.

Aos meus colegas que contribuíram diretamente para a realização do projeto. Em especial, ao Meuksedek Alves, pela dedicação e auxílio na etapa de coleta das amostras. Ao Ramom Lima Ferreira e Camilly Alho da Silva, tornou possível a realização das análises desenvolvidas neste trabalho para o processo de preparo das amostras para as análise de dados no laboratório de floresta.

Registro também um agradecimento especial à minha dupla que a faculdade me deu, Luziene do Socorro dos Santos Muniz, que dividiu comigo vitórias e desafios que nos foram apresentados, deixando essa jornada mais leve.

Aos Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) e Laboratório de celulose e papel (LCP), do departamento de engenharia florestal, Universidade

Federal de Viçosa, pelas contribuições nas análises, e em especial ao Técnico de Laboratório Lawrence Pires de Oliveira.

Ao IFAP pela oportunidade em estagiar no laboratório de Floresta.

Também agradeço aos meus colegas de turma e professores que fizeram parte da minha formação e me ensinaram coisas muito além do contexto científico.

E finalmente, a todos que, de alguma forma, contribuíram para que este projeto se concretizasse, deixando ensinamentos e palavras de incentivo, contribuindo para o meu crescimento, deixo aqui o meu sincero agradecimento.

Encerrando este ciclo, deixo registrada a minha emoção e gratidão por cada passo dessa caminhada. Cada dificuldade superada e cada aprendizado adquirido me trouxeram até aqui, onde tenho certeza de que este é apenas o começo de um novo abençoado capítulo da minha história.

Dedico à minha família, em especial, ao meu
filho Pedro Gael, com todo o meu carinho.

RESUMO

Considerada uma espécie invasora a *Acácia mangium* vem ocasionando um desequilíbrio ecológico em algumas áreas, principalmente, em locais onde ocorreu algum tipo de perturbação e/ou degradação, o que dificulta o restabelecimento de espécies nativas nessas áreas. Sendo assim, visando uma alternativa de utilização dessa espécie, como forma de controle da disseminação da mesma, este estudo visa analisar o potencial energético da madeira de *A. mangium*, com foco em sua utilização como fonte de energia por meio da queima direta. Foi avaliadas propriedades anatômicas (relação cerne e alborno) e físicas (densidade básica e teor de umidade) em diferentes secções ao longo do fuste (0%, DAP, 25%, 50%, 75% e 100%, da altura comercial) de oito árvores. Nos discos retirados do DAP, ainda foram realizadas a análise química elementar (teores de H, O, N, C e S) e poder calorífico superior. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), instituindo-se como tratamentos, as diferentes posições ao longo do fuste, no sentido base-topo (0%, DAP, 25%, 50%, 75% e 100%, da altura comercial), sendo coletadas oito árvores, totalizando 48 unidades experimentais. Os resultados indicaram a adequação da exploração da *A. mangium* para energia, onde sua utilização implica em menor dispersão no município, e contribui para o controle de sua população. Essa utilização também tem benefício socioeconômico diversificando a matriz energética regional, conseqüentemente, menor exploração de espécies nativas para fins energéticos.

Palavras-chave: qualidade da madeira; poder calorífico; *Acacia mangium* e queima direta.

ABSTRACT

Considered an invasive species, *Acacia mangium* has been causing ecological imbalance in some areas, especially in places where some type of disturbance and/or degradation has occurred, which hinders the reestablishment of native species in these areas. Therefore, with a view to finding an alternative use for this species as a way of controlling its spread, this study aims to analyze the energy potential of *A. mangium* wood, focusing on its use as an energy source through direct burning. Anatomical (heartwood and sapwood ratio) and physical (basic density and moisture content) properties were evaluated in different sections along the trunk (0%, DBH, 25%, 50%, 75%, and 100% of commercial height) of eight trees. The discs removed from the DBH were also subjected to elemental chemical analysis (H, O, N, C, and S contents) and higher calorific value analysis. The experiment was conducted in a completely randomized design (CRD), establishing as treatments the different positions along the stem, from base to top (0%, DBH, 25%, 50%, 75%, and 100% of commercial height), with eight trees collected, totaling 48 experimental units. The results indicated the suitability of *A. mangium* for energy, where its use implies less dispersion in the municipality and contributes to the control of its population. This use also has socioeconomic benefits by diversifying the regional energy matrix, consequently reducing the exploitation of native species for energy purposes.

Keywords: wood quality; calorific value; *Acacia mangium* and direct burning.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	PROBLEMA DE PESQUISA	12
3	JUSTIFICATIVA	13
4	OBJETIVOS	14
4.1	Geral	14
4.2	Específicos	14
5	REFERENCIAL TEÓRICO	15
5.1	Sobre a espécie Acacia mangium	15
5.2	Qualidade da madeira para fins energéticos	15
6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
6.1	Área de Estudo	18
6.2	Amostragem	19
6.3	Análises	20
6.4	Análise de dados	21
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A uma crescente busca por fontes de energia renovável, principalmente em decorrência do aumento na demanda mundial por energia e dos impactos negativos do uso excessivo de combustíveis fósseis. Atualmente, 80% da matriz energética mundial ainda é composta por fontes fósseis, como petróleo, gás natural e carvão (IEA, 2024). No Brasil, entretanto, a matriz energética apresenta uma característica diferenciada, segundo o Balanço Energético Nacional 2025 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 43% da matriz energética brasileira já é composta por fontes renováveis, e mais de 80% da geração elétrica nacional provém de fontes limpas, principalmente hidrelétrica, biomassa e eólica (EPE, 2025).

Nesse contexto, a bioenergia é uma alternativa viável, sustentável e estratégica, principalmente para países com biomas tropicais como o Brasil, que possui uma vasta cobertura florestal e alta disponibilidade de matéria-prima (Nogueira; Capaz; Lora, 2021). Conforme argumentam Sanqueta *et al.* (2015), o uso de materiais lenhosos para energia acompanha o crescimento e desenvolvimento da humanidade desde os tempos primórdios.

A bioenergia utiliza materiais orgânicos, como a biomassa (madeira e resíduos florestais), para geração de calor e eletricidade. Dentre as formas de aproveitar essa biomassa, a queima direta se destaca por ser uma das mais utilizadas. Segundo o Balanço Energético Nacional 2025, cerca de 9% da matriz energética brasileira provém da queima direta de biomassa sólida (MME, 2025). Essa modalidade é favorecida pelo seu baixo custo e facilidade de aplicação, especialmente entre populações rurais e em regiões com infraestrutura limitada, quando comparada a processos mais complexos como a pirólise.

Globalmente, a relevância da queima direta se mantém: mais de 2,4 bilhões de pessoas ainda dependem da biomassa sólida para cocção e aquecimento doméstico (FAO e IEA, 2024). A eficiência da queima está ligada diretamente às características físico-químicas da madeira, como densidade básica, teor de umidade, voláteis, cinzas e poder calorífico. Estudos de Tonini *et al.* (2020) e análises da EMBRAPA Agroenergia (2021) demonstram que biomassa com baixo teor de umidade e cinzas, aliada a um alto poder calorífico e teor de carbono, garante maior rendimento térmico e menor emissão de poluentes.

O uso da biomassa como fonte de energia contribui não apenas na diminuição da dependência de combustíveis fósseis, mas também para amenizar impactos ambientais. Isso se torna interessante quando essa biomassa vem de resíduos florestais ou espécies exóticas, pois transforma materiais que antes seriam descartados e ignorados em recursos energéticos úteis e renováveis (Demirbas, 2001).

No município de Laranjal do Jari, no estado do Amapá, a espécie *Acacia mangium* tem apresentado comportamento invasor. Inicialmente introduzida no Brasil para fins comerciais e para a recuperação de áreas degradadas, a espécie passou a se dispersar de forma descontrolada, invadindo áreas de vegetação nativa e fragmentos florestais. Estudos realizados no sul do Amapá demonstram que a elevada abundância de *A. mangium* está associada à redução da riqueza de espécies nativas, evidenciando seu alto potencial competitivo e a necessidade de estratégias de manejo e controle (Silva; Matos, 2024). De forma semelhante, pesquisas conduzidas em savanas amazônicas indicam que a espécie é capaz de se estabelecer fora das áreas originalmente plantadas, caracterizando um processo de invasão biológica em ecossistemas naturais (Aguilar Jr. *et al.*, 2014). Além disso, estudos baseados no conhecimento ecológico local em terras indígenas do norte da Amazônia relatam a expansão da *A. mangium* para além das áreas de cultivo, destacando impactos ecológicos e sociais associados à sua disseminação (Souza *et al.*, 2018).

Estudos realizados por Morais e Montagner (2015) identificaram a infestação de *A. mangium* em sistemas silvipastoris após incêndios no Cerrado amapaense, evidenciando seu comportamento agressivo e capacidade de dominar áreas abertas. Esses dados são importante e ajudam a reforçam a necessidade de monitoramento e controle da espécie em regiões de alta biodiversidade, como o Amapá.

Estudos realizados por Tonini *et al.* (2018) apontam que a *A. mangium*, apesar dos impactos ambientais negativos causados por sua expansão descontrolada, a espécie possui madeira de rápido crescimento, boa densidade e características que podem ser aproveitadas energeticamente. Isso reforça que o seu uso como fonte de energia pode ser uma estratégia sustentável tanto para atender às necessidades da população quanto para ajudar no controle da espécie invasora.

A heterogeneidade das propriedades da madeira ao longo do fuste é um fator crítico para o seu desempenho energético. Visto que as características físico-químicas variam significativamente do nível da base ao topo da árvore (Vital, 1984; Castro *et al.*,

2011; Pereira *et al.*, 2012), é imprescindível que os estudos avaliem a madeira em diferentes seções longitudinais para otimizar o aproveitamento da biomassa.

Diante do exposto, surge a ideia de transformar esse problema em uma oportunidade. Este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da madeira da *A. mangium* em diferentes secções ao longo do fuste comercial, como fonte de energia para queima direta, além de apresentar para a população local uma alternativa de utilizar essa espécie abundante na região para fins energéticos, diminuindo a pressão na supressão de espécies nativas. Dessa forma, além de gerar energia para as famílias da região, o uso da *A. mangium* pode contribuir para o controle e manejo dessa espécie invasora, ajudando na preservação da floresta e evitando a pressão sobre espécies que fazem parte do ecossistema natural.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

Qual é o potencial energético da madeira da *Acacia mangium* proveniente de áreas invadidas no município de Laranjal do Jari, Amapá, para utilização como fonte de bioenergia por meio da queima direta?

3 JUSTIFICATIVA

A rápida expansão da *A. mangium* em áreas naturais, como no município de Laranjal do Jari, no estado do Amapá, tem despertado preocupações crescentes quanto aos seus impactos sobre a biodiversidade local. Introduzida inicialmente para fins silviculturais e de recuperação de áreas degradadas, essa espécie exótica encontrou condições ambientais favoráveis para seu estabelecimento e dispersão, passando a ocupar áreas de vegetação nativa de forma descontrolada. Estudos conduzidos na região sul do Amapá demonstram que a elevada abundância de *A. mangium* está negativamente associada à riqueza de espécies nativas, evidenciando seu potencial invasor e sua capacidade de alterar a composição florística de fragmentos florestais secundários (Silva; Matos, 2024).

Além disso, pesquisas realizadas em savanas amazônicas indicam que a espécie é capaz de se estabelecer fora das áreas originalmente plantadas, formando populações autossustentáveis e caracterizando um processo de invasão biológica em ecossistemas naturais (Aguiar Jr. *et al.*, 2014). Em assuntos sociambientais sensíveis, como no caso das terras indígenas no norte da Amazônia, a expansão da *A. mangium* também tem sido reconhecida por comunidades locais, que relatam impactos ecológicos e sociais associados à substituição da vegetação nativa e à alteração do uso tradicional do território (Souza *et al.*, 2018).

Diante desse cenário, salienta-se a importância de adoção de estratégias de manejo que não apenas visem conter a dispersão da espécie, mas também possibilitem o aproveitamento sustentável desse recurso. Transformar um passivo ambiental em um ativo energético é uma abordagem que pode reduzir os impactos negativos dessa espécie invasora, promovendo benefícios ecológicos e socioeconômicos. Nesse contexto, o uso da madeira da *A. mangium* para a geração de energia por meio da queima direta destaca-se como uma alternativa viável, especialmente em regiões com elevada disponibilidade da espécie e dependência de fontes tradicionais de energia.

4 OBJETIVOS

4.1 Geral

Avaliar a qualidade da madeira de *A. mangium*, para fins energéticos em processos de queima direta.

4.2 Específicos

- Caracterizar a propriedade anatômica de relação cerne/alburno em diferentes secções ao longo do fuste comercial, sendo nas posições de 0%, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, da espécie de *A. mangium*.
- *Determinar* as propriedades físicas de densidade básica e teor de umidade da madeira em diferentes secções ao longo do fuste comercial, sendo nas posições de 0%, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, da espécie de *A. mangium*.
- Quantificar a composição química elementar (teores de H, O, N, C e S), da espécie de *A. mangium*.
- Avaliar o poder calorífico superior da madeira, da espécie de *A. mangium*.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Sobre a espécie *Acacia mangium*

A *A. mangium* é uma árvore que faz parte da família das Leguminosas, mais especificamente do subgrupo Mimosoideae. Ela tem suas raízes no noroeste da Austrália, em Papua-Nova Guiné e nas ilhas do leste da Indonésia (Preece; Brook, 1996 apud Cortez; Lora; Gómez, 2008). Por crescer rapidamente e se adaptar facilmente às condições tropicais úmidas, ela foi introduzida em vários países, inclusive no Brasil. Sua utilização tem como objetivo tanto a exploração comercial quanto a recuperação de áreas degradadas (Rossi *et al.*, 2003).

A *A. mangium* se destaca por possuir alta capacidade de adaptabilidade às condições edafoclimáticas do Brasil, em virtude ao crescimento acelerado. Além disso, essa espécie apresenta alta capacidade de fixação biológica de nitrogênio, adequação a solos pobres em nutrientes e resistência a condições desfavoráveis. Essas características favorecem seu uso na recomposição florestal e na recuperação de áreas degradadas (Tonini *et al.* 2000). Contudo, seu comportamento de fácil dispersão e desenvolvimento em condições ambientais adversas têm contribuído para a expansão descontrolada em alguns ecossistemas, caracterizando-a como uma espécie exótica com potencial invasor, especialmente em áreas de floresta aberta e ambientes antropizados (Silva, 2016).

A silvicultura adotada no manejo da *A. mangium* contempla práticas como preparo do solo, controle de plantas competidoras, adubação de manutenção e monitoramento fitossanitário (Faria *et al.*, 1996; Cole *et al.*, 1996 apud Silva *et al.*, 2018). A condução apropriada proporciona maior produtividade, além de favorecer a qualidade da madeira, sendo determinante para seu aproveitamento bioenergético (Rossi *et al.*, 2003).

5.2 Qualidade da madeira para fins energéticos

Certos fatores, incluindo a relação cerne/alburno, o teor de umidade, a densidade básica e a composição química imediata, são consideradas essenciais na avaliação do potencial energético da madeira para combustão direta. A densidade básica é um dos principais fatores que determinam a qualidade da madeira usada para geração de energia, pois ela afeta diretamente a quantidade energética por volume.

Madeiras mais densas geralmente armazenam mais energia por metro cúbico, o que as torna mais eficientes na hora da queima direta. Além disso, o teor de umidade exerce uma significativa influência na eficiência do processo de combustão, quanto maior esse parâmetro, maior será o gasto de energia para evaporar a água durante a queima, o que acaba reduzindo o rendimento do processo (Trugilho, 2012).

A densidade básica da madeira é um fator diretamente ligado ao seu desempenho como fonte de energia. Pesquisas mostram que quanto maior esse valor, maior será a quantidade de energia armazenada, tornando a madeira mais eficiente para a geração de calor (Protasio *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2012). Por isso, espécies com densidade elevada são preferidas quando o objetivo é produzir energia de forma mais eficaz. A composição química elementar da biomassa diz respeito à porcentagem de cada elemento presente nela, levando em consideração a sua massa. Normalmente, analisam-se os teores de carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S), oxigênio (O), nitrogênio (N) e cinzas (A). Quando falamos de madeira, ela é composta principalmente por oxigênio, hidrogênio e carbono. Em média, o carbono corresponde a cerca de 50% da sua composição, o oxigênio 44%, e o hidrogênio em torno de 6%. No entanto, é importante lembrar que esses valores podem variar entre diferentes espécies de madeira e até mesmo dentro da mesma espécie, devido a fatores que influenciam sua composição química. Essa distribuição dos elementos na biomassa influencia diretamente em seu poder calorífico, visto que quanto maior o teor de carbono e hidrogênio, maior é a capacidade de gerar energia. Para uma queima completa, também é preciso considerar a quantidade de oxigênio necessária para que essa combustão seja total e eficiente (Vital *et al.*, 2013).

Na queima direta da madeira, recomenda-se que o combustível apresente maiores teores de carbono (C) e hidrogênio (H), uma vez que esses elementos estão diretamente associados ao aumento do poder calorífico Protasio *et al.*, (2013). Por outro lado, concentrações elevadas de nitrogênio (N) e enxofre (S) não são desejáveis, pois contribuem para a formação de gases poluentes, como óxidos de nitrogênio (NOx) e de enxofre (SOx), que intensificam o efeito estufa e favorecem a ocorrência de chuva ácida Leite *et al* (2015). A quantificação dos teores de C e H é, portanto, fundamental, já que a energia liberada no processo de combustão provém principalmente da oxidação desses elementos Carneiro *et al.*, (2014) Silva *et al.*, (2015).

O poder calorífico corresponde à quantidade de energia liberada durante a combustão de uma unidade de massa de combustível. Para fins energéticos, recomenda-se a

utilização de madeiras com elevado poder calorífico, pois garantem maior eficiência na geração de energia (Barros *et al.*, 2005; Chaves *et al.*, 2013; Nones *et al.*, 2015). Essa propriedade pode ser expressa de diferentes formas: Poder Calorífico Superior (PCS), inferior e líquido. O PCS, por exemplo, representa a energia térmica liberada pela combustão completa de 1 kg de combustível em condições específicas de uma bomba calorimétrica, incluindo o calor adicional proveniente da condensação da água formada no processo (Nhuchhen; Afzal, 2017). Embora os componentes inorgânicos da madeira sejam uma pequena parte da biomassa, eles têm um impacto importante nos processos de conversão de energia. De acordo com Carvalho *et al.* (2009), os minerais na madeira reduzem o seu poder calorífico, influenciando na quantidade de cinzas produzidas e a eficiência térmica nos sistemas de bioenergia.

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

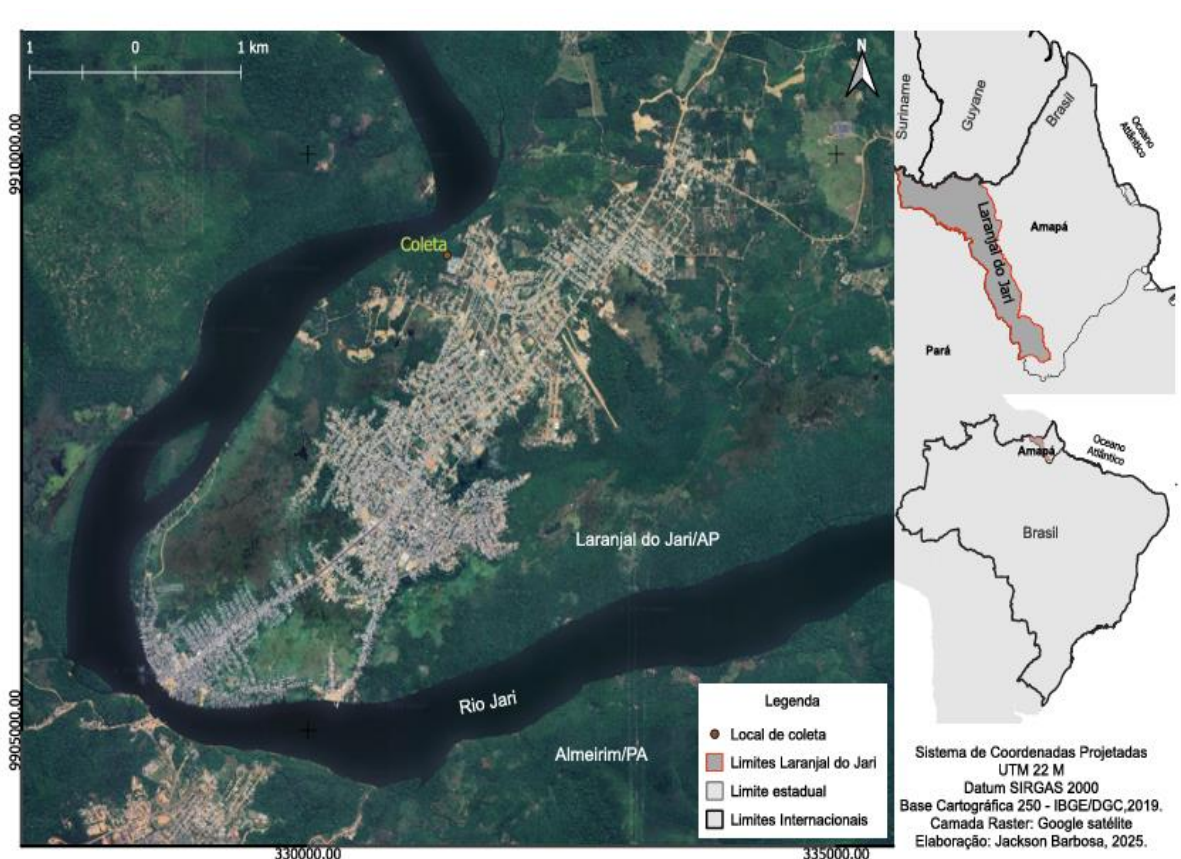
6.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado em um remanescente florestal localizado na Trilha Ecológica do Wajãpi, dentro das dependências do Instituto Federal do Amapá - IFAP, campus Laranjal do Jari, localizado no município de Laranjal do Jari, no estado do Amapá (Figura 1).

O clima da região é classificado como equatorial úmido, com altos índices pluviométricos que variam entre 1.998,2 mm e 2.347,7mm no período chuvoso, onde se estende de janeiro a junho. A média anual é 26,4 °C (Gomes Sobrinho *et al.*, 2012).

A vegetação da área estudada apresenta predominância da Floresta Ombrófila Densa, caracterizada pela alta biodiversidade e por espécies de grande porte (Ibge,2012). O solo da região é predominantemente latossolo vermelho-amarelo, típico da Amazônia, profundo e rico em ferro, mas com baixa fertilidade natural em decorrência ao intenso processo de lixiviação causado pelo clima úmido (Embrapa, 2018).

Figura 1 – Área de estudo



Fonte: Barbosa, 2025.

6.2 Amostragem

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), esses indivíduos estão se desenvolvendo sem qualquer tipo de manejo silvicultural ou cultivo direcionado, caracterizando uma população naturalizada na área de estudo.

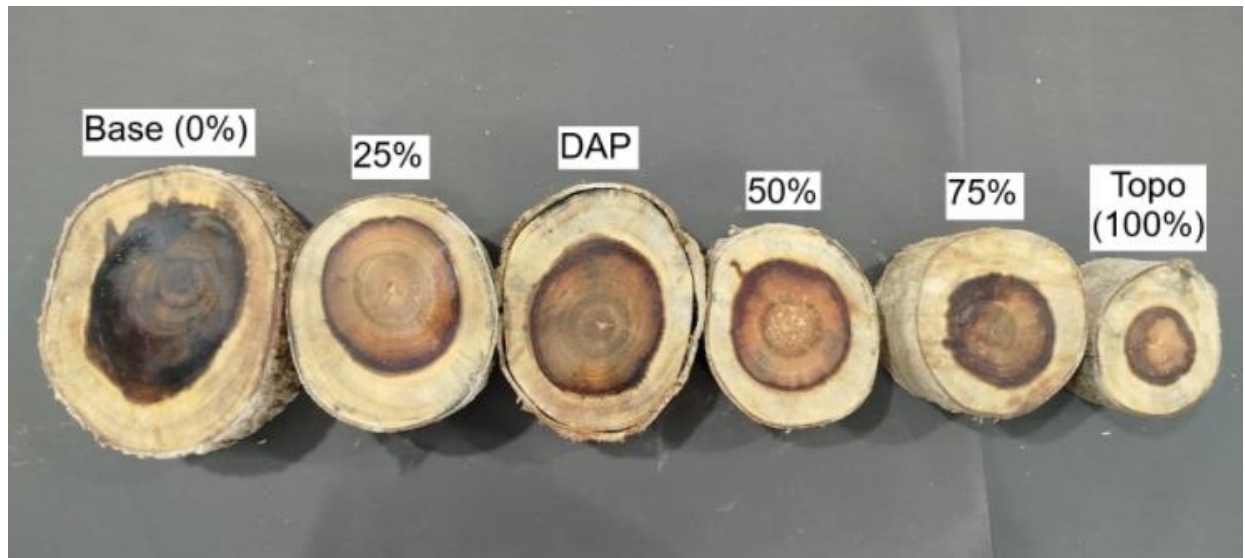
As árvores amostradas apresentaram variação quanto à altura total, refletindo a heterogeneidade estrutural do povoamento, com valores variando entre 4,00 m e 7,83 m. O diâmetro à altura do peito (DAP) foi mensurado a 1,30 m do solo, conforme procedimento padronizado. Essa informação é relevante para a correta interpretação das análises realizadas ao longo do fuste, considerando que as posições longitudinais representam proporções distintas em termos absolutos, em função das diferentes alturas dos indivíduos.

De cada árvore foram coletados discos em diferentes seções ao longo do fuste, no sentido base–topo, correspondentes à base (0%), 25%, DAP (1,30 m), 50%, 75% e 100% da altura comercial. Inicialmente, foi avaliada a relação cerne/alburno em todas as amostras (Figura 2). Em seguida, os discos foram seccionados em quatro cunhas, conforme as recomendações da norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003).

Duas cunhas opostas foram destinadas às análises de densidade básica e teor de umidade da madeira. Adicionalmente, nos discos coletados à altura do DAP foram realizadas as análises de química elementar e de poder calorífico superior (PCS), por representarem uma posição padrão amplamente utilizada em estudos de caracterização tecnológica da madeira.

Paras as análises de química elementar e poder calorífico, as amostras foram moídas no moinho de laboratório tipo Wiley, conforme a norma TAPPI 257 om-52 (TAPPI, 1998). Posteriormente foram classificadas em peneiras e selecionadas nas granulometria de 40/60 e 200/270 mesh, respectivamente, para PCS e química elementar.

Figura 2 - Discos das posições do fuste da árvore de *Acacia mangium*.



Fonte: Autora, 2025.

6.3 Análises

A relação cerne/alburno foi avaliada com medições em discos retirados ao longo do fuste, sentido base-topo. Nesse processo, foi considerado tanto os diâmetros completos quanto a área central, que representa o cerne. Com auxílio de régua 0.1 cm de precisão e caneta, foram traçadas retas perpendiculares que saiam de uma extremidade do disco, atravessou a medula e finalizou na extremidade oposta, para obtenção dos diâmetros médios. Posterior as medições relação cerne/alburno (C/A) foi calculada pela Equação 1.

$$C/A = \frac{Dc^2}{D^2 - Dc^2} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: C/A = relação cerne e alburno; Dc: Diâmetro do cerne (cm); D: Diâmetro do disco sem casca (cm).

O teor de umidade da madeira foi realizado de acordo com a NBR7190:2020. Já a densidade básica da madeira (DBM) foi calculada utilizando o método de imersão em água, conforme estipulado pela norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003).

O PCS, foi determinado conforme a norma ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984). Para isso, foi utilizado amostras de madeira, as quais foram classificadas com granulometria de 40/60 mesh, e secas em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até massa constante. As avaliações ocorreram em duplicatas, utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática IKA300.

Na análise da composição química elementar, as amostras foram moídas e selecionadas em peneiras com classificação granulométrica de 200/270 mesh. As amostras foram inseridas no equipamento TruSpec Micro CHN da marca LECO, com adição do módulo S, sendo analisada uma amostra por vez. No equipamento, as amostras foram incineradas a 1050°C , e posteriormente os gases formados foram direcionados à célula de leitura, utilizando-se gás hélio como gás de arraste. Para a detecção dos elementos carbono, hidrogênio e nitrogênio (CHN) foi utilizado o módulo TruSpec micro e para detecção do elemento enxofre (S), foi utilizado o módulo TruSpec S. O teor de nitrogênio (N) foi quantificado com N_2 por condutividade térmica. Por sua vez, o teor de carbono (C), hidrogênio (H) e enxofre (S) foram quantificados como CO_2 e H_2O , SO_2 respectivamente, por infravermelho. Quanto ao oxigênio, este foi calculado por diferença, somando-se os teores de carbono, nitrogênio, hidrogênio, enxofre, e cinzas e depois subtraindo esse total de 100 (Equação 2), conforme indicado na norma DIN EN 15296 (DIN, 2011).

$$\text{O (\%)} = 100 - \text{C (\%)} - \text{H (\%)} - \text{N (\%)} - \text{S (\%)} - \text{Cinzas (\%)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: O (%): teor de oxigênio da madeira; C (%): teor de carbono da madeira; H (%): teor de hidrogênio da madeira; N (%): teor de nitrogênio da madeira e S (%): teor de enxofre.

6.4 Análise de dados

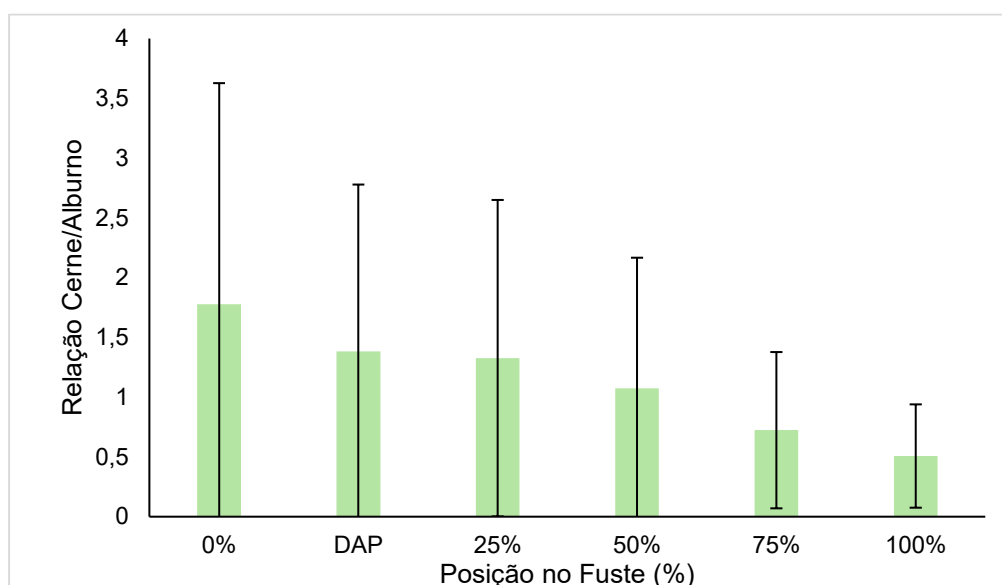
O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC). As amostras coletadas foram avaliadas em diferentes secções ao longo do fuste, da altura comercial, no sentido base-topo (Base, 25%, DAP, 50%, 75% e 100%), com oito repetições cada, pois serão coletadas oito arvores, totalizando 48 unidades experimentais. As análises de química elementar e poder calorífico foi realizado apenas nas amostras do DAP, obtendo-se valor médio para a espécie.

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Lilliefors e Cochran para avaliar a normalidade e homogeneidade de variância. Após esses pressupostos serem atendidos, foi realizada a análise de variância (ANOVA), e quando detectada diferença significativa procedeu-se com a análise de comparação múltipla das médias por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$) de probabilidade.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As propriedades anatômicas, físicas, químicas e energética da madeira é essencial para avaliar seu potencial de uso como biomassa em sistemas de queima direta, seja na forma de lenha ou cavacos. Os parâmetros analisados de relação cerne/alburno, densidade básica, teor de umidade, química elementar e PCS, fornecem informações integradas sobre a qualidade da madeira de *A. mangium*, espécie invasora presente na região de Laranjal do Jari.

Gráfico 1 – Relação Cerne/Alburno (C/A) da madeira de *A. mangium* em diferentes posições no fuste.



Fonte: própria autora, 2025.

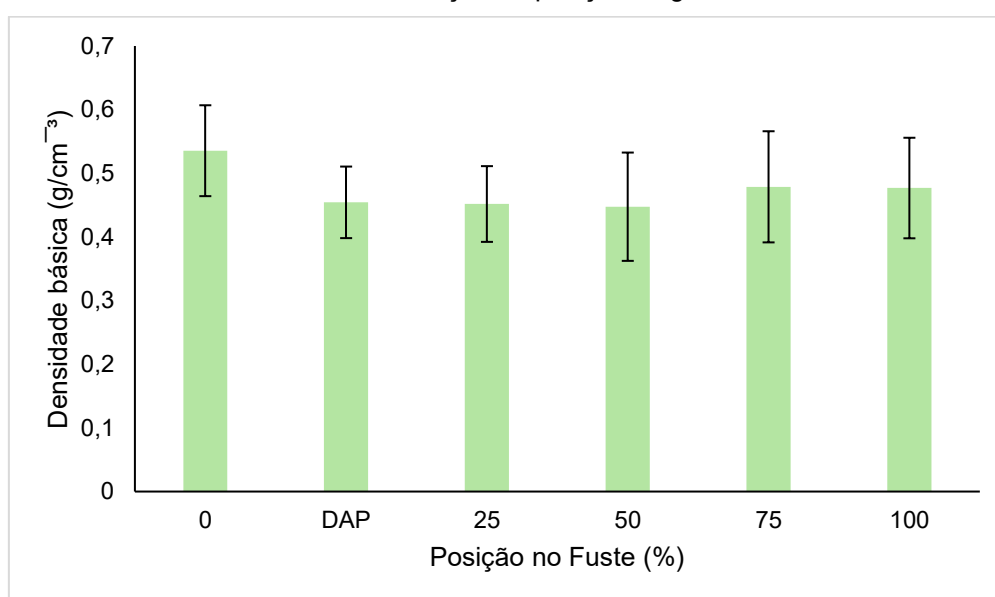
A Relação Cerne/Alburno (C/A), apresentada no Gráfico 1, variou entre 0,51 (no topo) e 1,78 (na base), com a maior média numérica observada na posição de 25% (1,33). O cerne é a parte onde os elementos anatômicos já estão inativos fisiologicamente, geralmente contendo maior quantidade de extrativos, esses constituintes químicos podem influenciar positivamente na produção energética (Vital, 1984; Gonçalves & Lelis, 2012; Foelkel, 2012).

Observa-se uma tendência de redução da relação cerne/alburno no sentido base–topo do fuste, comportamento descrito em estudos, os quais indicam que a maior proporção de cerne nas regiões basais está associada ao maior tempo de formação do lenho e às variações estruturais da madeira ao longo do tronco (Brito & Barrichelo, 1979; Chaves *et al.*, 2013). Esse padrão reflete a maturação fisiológica da madeira ao

longo do crescimento da árvore, sendo esperado em espécies florestais de rápido crescimento.

Entretanto, a análise de variância (ANOVA) não detectou diferença estatisticamente significativa entre as diferentes seções avaliadas ao longo do fuste comercial ($p = 0,3472$). O teste de Tukey, a 5% de significância, confirmou que todas as médias se agruparam em um único grupo estatístico (letra “a”), indicando que, apesar da variação numérica observada, a distribuição do cerne ao longo do fuste não apresentou diferenças estatisticamente relevantes entre as posições analisadas.

Gráfico 2 – Densidade básica em função da posição longitudinal no fuste.



Fonte: própria autora, 2025.

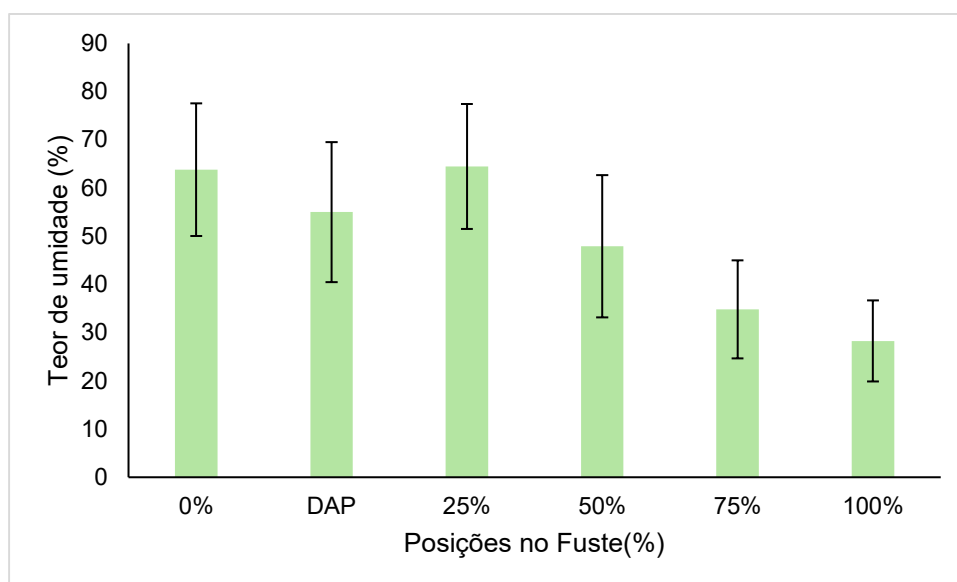
A densidade básica é uma das propriedades físicas mais importante para o desempenho da madeira na produção de energia. O gráfico 2 demonstram que a Densidade Básica (DB) variou entre 0,4475 g/cm³ (na posição 50%) e 0,5355 g/cm³ (na base, 0%), com uma média geral de 0,4741 g/cm³. Embora as médias numéricas sugiram uma variação, a Análise de Variância (ANOVA) indicou que a posição longitudinal no fuste não influenciou de forma estatisticamente significativa na Densidade Básica (Valor $p = 0,1882$).

Os resultados obtidos (média de 0,4741 g/cm³) estão próximos e, em algumas seções, são compatíveis com a literatura. Estudos com *A. mangium* reportam densidades básicas médias em torno de 0,55 g/cm³, conforme observado por Gonçalves e Lelis (2012), que avaliaram a espécie em plantios homogêneos,

conduzidos sob clima tropical úmido e solos de média a boa fertilidade, típicos de regiões do Sudeste brasileiro. Valores ligeiramente superiores, em torno de $0,58 \text{ g/cm}^3$, foram registrados por Barros, Nascimento e Azevedo (2012), em estudos realizados com *A. mangium* em cultivo exclusivo, sob condições de clima tropical, elevada disponibilidade hídrica e solos mais férteis, fatores que favorecem maior incremento de biomassa e formação de lenho mais denso. Resultados semelhantes foram observados por Foelkel (2012), que analisou tanto *A. mangium* quanto outras espécies florestais de rápido crescimento, em diferentes regiões do Brasil, reportando densidades variando entre $0,55$ e $0,60 \text{ g/cm}^3$ e destacando a influência conjunta das condições edafoclimáticas, do sistema de cultivo e do manejo florestal sobre a densidade da madeira.

Estudos recentes corroboram os clássicos de Vital (1984), Brito e Barrichelo (1977), demonstrando que densidades superiores a $0,55 \text{ g/cm}^3$ estão associadas a carvão vegetal mais resistente e maior rendimento energético, confirmando o potencial da espécie para uso energético Medeiros *et al.*, (2024); Foelkel, (2015).

Gráfico 3 – Variação do Teor de Umidade (%) da madeira de *Acacia mangium* em função da posição longitudinal no fuste.



Fonte: Autora, 2025.

O teor de umidade da madeira de *A. mangium* apresentou variação significativa ao longo da posição longitudinal no fuste (Gráfico 3), com valores médios decrescentes no sentido base–topo. Observou-se que as seções basais (0% e 25%), bem como a

posição correspondente ao DAP (1,30 m), apresentaram os maiores teores de umidade, com valores médios em torno de 64,47%, enquanto as seções superiores, especialmente no topo (100%), apresentaram os menores valores, próximos de 28,26%.

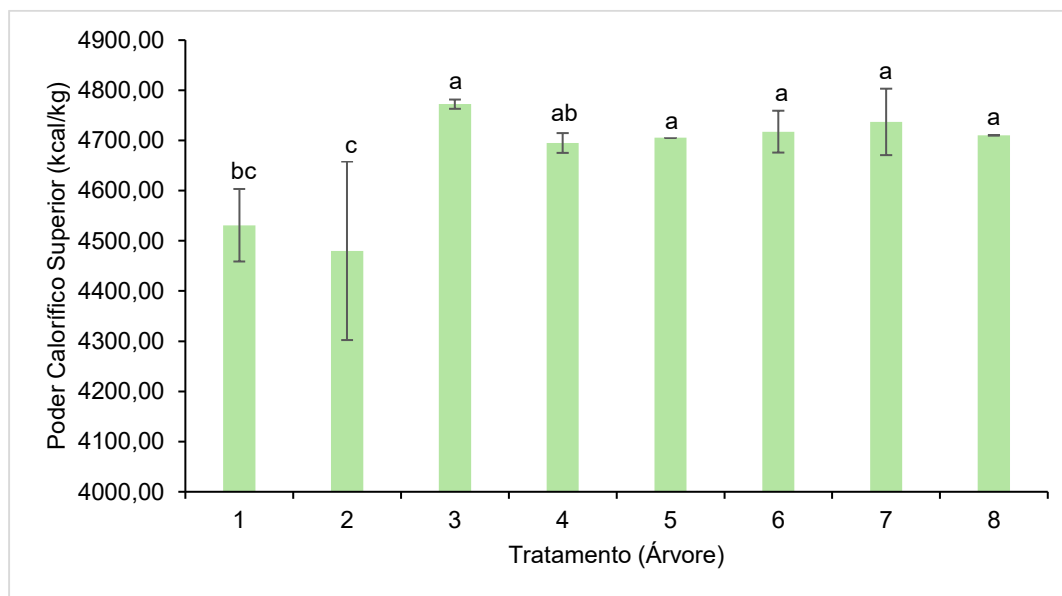
A análise de variância (ANOVA) indicou efeito altamente significativo da posição no fuste sobre o teor de umidade da madeira ($p = 0,0000$), evidenciando a heterogeneidade desse atributo ao longo do tronco. O teste de Tukey, a 5% de significância, agrupou as médias em quatro grupos estatísticos distintos (a, ab, bc e c), confirmando diferenças consistentes entre as regiões basais e apicais do fuste. O grupo com maior teor de umidade (Grupo "a"), com valores em torno de 64,47%, concentrou-se nas posições basais (0% e 25%), incluindo o DAP (a 1,30m).

Segundo Vital (1984) e Gonçalves & Lelis (2012), madeiras com teor de umidade inferior a 30% apresentam o melhor desempenho na combustão direta, com maior eficiência térmica. Desse modo, a alta umidade observada nas seções basais (acima de 60%) representa o principal limitante para o aproveitamento imediato da biomassa. A redução da umidade ao longo do fuste, observada nas seções superiores (Grupo "c", com 28,26%), favorece o uso energético do topo. No entanto, para ter o aproveitamento integral do fuste, é mandatório que as seções basais passem por um processo de secagem para que a *A. mangium* alcance sua máxima eficiência na queima direta.

O elevado teor de umidade observado, especialmente nas seções basais do fuste, está relacionado ao fato da madeira ter sido mensurada logo após o corte das árvores, como foi recém-cortada, considera-se que ela está em estado verde e contém uma grande quantidade de umidade, não tendo sucedido qualquer processo prévio de secagem. Nessa condição, a madeira apresenta alta quantidade de água livre, principalmente no alburno, região fisiologicamente ativa responsável pela condução de seiva, explicando assim os valores superiores a 60% registrados nas posições inferiores do fuste. Segundo Meier (2025), a madeira recém-abatida pode apresentar teores de umidade superiores a 100% (base seca), variando conforme a espécie, a posição no fuste e a proporção de alburno. Para fins energéticos, especialmente na queima direta, essa elevada umidade é indesejável, pois parte significativa da energia liberada na combustão é consumida na evaporação da água, reduzindo a eficiência térmica do processo. Assim, para o uso energético adequado da biomassa é importante que a madeira passe por um processo de secagem, seja ao ar livre ou em sistema controlado, até atingir teores de umidade próximos ou inferiores a 30%, condição

considerada ideal para maximizar o rendimento energético e a estabilidade da combustão Kays (2018).

Gráfico 4 – Variação do PCS (kcal/kg) da madeira de *Acacia mangium* em função do fator tratamento (árvore).



Fonte: Autora, 2025.

O PCS foi determinado nas amostras de DAP das oito árvores analisadas, variando entre 4.480 kcal/kg (Árvore 2) e 4.772,50 kcal/kg (Árvore 3), com média geral de 4.668,69 kcal/kg. A Análise de Variância (ANOVA) indicou que a variabilidade individual entre árvores influenciou de forma altamente significativa o PCS ($p = 0,0014$). O teste de Tukey, a 5% de significância, evidenciou a formação de quatro grupos estatísticos distintos (a, ab, bc e c), caracterizando um gradiente de desempenho energético entre os indivíduos avaliados.

As árvores pertencentes ao grupo “a”, com destaque para a Árvore 3, apresentaram os maiores valores de PCS, representando o maior potencial energético. Em contrapartida, as Árvores 1 e 2, classificadas no grupo “c”, apresentaram os menores valores médios de PCS, variando entre 4.480 e 4.531 kcal/kg. Os grupos intermediários (“ab” e “bc”) indicam sobreposição estatística entre classes adjacentes, comportamento esperado para variáveis de natureza biológica.

Os valores obtidos confirmam o elevado potencial energético médio da madeira de *A. mangium*, sendo compatíveis com aqueles relatados por Barros et al. (2012), que observaram PCS variando entre 4.430 e 4.800 kcal/kg para a espécie, em plantios

conduzidos sob condições edafoclimáticas típicas da região amazônica. Segundo os autores, a área de estudo apresentava clima tropical úmido, com elevados índices pluviométricos, temperaturas médias elevadas e solos de baixa fertilidade natural, características recorrentes em grande parte da Amazônia.

De forma semelhante, o presente estudo foi conduzido no município de Laranjal do Jari/AP, inserido em ambiente de clima equatorial úmido, com alta precipitação anual e solos predominantemente classificados como Latossolos e Argissolos, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018). Essa similaridade edafoclimática contribui para a coerência dos valores de PCS observados entre os estudos, reforçando a aptidão da espécie para fins energéticos em ambientes amazônicos.

De forma complementar, Tonini *et al.*, (2018) avaliaram o crescimento, a produção de biomassa e a qualidade energética da madeira de *A. mangium* cultivada em Roraima, região caracterizada por clima tropical úmido, porém com maior sazonalidade hídrica em comparação à Amazônia Central. Os autores verificaram que o espaçamento entre árvores influenciou diretamente a produção de biomassa e suas características energéticas, evidenciando a interação entre condições climáticas e densidade de plantio. Em Laranjal do Jari/AP, onde o regime pluviométrico é elevado e mais regularmente distribuído ao longo do ano, espera-se menor estresse hídrico sobre os indivíduos, o que pode favorecer a formação da madeira e contribuir para os valores de PCS observados neste estudo.

O desempenho energético observado pode ser atribuído, principalmente, ao elevado teor de carbono e à densidade adequada da madeira, fatores reconhecidamente determinantes do poder calorífico. De acordo com Vital (1984), a densidade básica da madeira exerce influência direta sobre o rendimento energético, enquanto Brito e Barrichelo (1977) destacam a estreita correlação entre densidade, composição química e qualidade energética do material lenhoso. Trugilho (2012) ressalta que madeiras com maior teor de carbono tendem a apresentar maiores valores de PCS, em razão do maior conteúdo energético por unidade de massa. Ressalta-se que a determinação do PCS no presente estudo foi realizada conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 8633 (1984), assegurando a confiabilidade, a reprodutibilidade e a comparabilidade dos resultados obtidos. A variação significativa entre os indivíduos ($p < 0,05$) indica a existência de variabilidade

energética intraespecífica, sugerindo a possibilidade de seleção de indivíduos superiores para otimização da biomassa destinada ao uso energético.

Analisando-se as relações entre os constituintes químicos elementares, os teores de carbono variaram entre 50,0% (Árvore 2) e 51,4% (Árvore 8), com média geral de 50,72% (Tabela 1). A Análise de Variância (ANOVA) indicou diferença estatisticamente significativa entre os indivíduos ($p = 0,0000$), evidenciando a influência da variabilidade individual sobre essa propriedade. Apesar dessa diferença estatística, o carbono apresentou baixo coeficiente de variação ($CV = 0,20\%$), indicando elevada homogeneidade química entre as árvores analisadas, característica desejável para biomassa energética. A Árvore 8 destacou-se no grupo de maiores valores, refletindo maior potencial energético. O carbono é o principal elemento responsável pelo poder calorífico da madeira, e sua maior concentração está diretamente associada ao aumento do PCS (BRUN *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2012).

Os resultados obtidos são coerentes com aqueles reportados por Tonini *et al.* (2018), que observaram teores médios de carbono entre 50% e 51% em *A. mangium* com 67 meses de idade, cultivada sob diferentes espaçamentos, em condições amazônicas. Essa proximidade reforça a consistência da espécie como fonte de biomassa energética, independentemente das variações silviculturais. Essa elevada concentração de carbono, associada aos teores de hidrogênio, contribui diretamente para o elevado desempenho energético da madeira. Além disso, os teores de hidrogênio (H) variaram de 6,31% a 6,46%, sem diferença estatística entre as árvores, contribuindo positivamente para o elevado PCS observado neste estudo.

A avaliação conjunta dos elementos carbono e hidrogênio é fundamental, uma vez que ambos apresentam relação inversa com o teor de oxigênio (O), influenciando diretamente o potencial calorífico da biomassa (VALE *et al.*, 2000; PROTÁSIO *et al.*, 2011a). Nesse sentido, o teor de oxigênio apresentou diferenças estatisticamente significativas entre as árvores ($p = 0,0093$). O teste de Tukey evidenciou que as Árvores 1 e 2, que apresentaram os menores valores de PCS, integraram o grupo com maior concentração de oxigênio (acima de 43,0%). Esse comportamento confirma a relação inversa entre oxigênio e PCS, uma vez que o oxigênio atua como um elemento quimicamente menos energético na combustão, reduzindo a proporção relativa de carbono disponível para liberação de energia.

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise química elementar da madeira de *Acacia mangium*, coletada no DAP de oito árvores, com os respectivos desvios-padrão.

Arvores	Carbono (%)	Hidrogênio (%)	Nitrogênio (%)	Oxigênio (%)	Enxofre (%)
1	50,5 d ($\pm 0,07$)	6,36 ($\pm 0,31$)	0,101 b ($\pm 0,006$)	42,039 a b ($\pm 0,071$)	0,080 ($\pm 0,008$)
2	50,0 d ($\pm 0,1$)	6,32 ($\pm 0,17$)	0,124 a b ($\pm 0,010$)	43,473 a ($\pm 0,141$)	0,083 ($\pm 0,013$)
3	50,6 c d ($\pm 0,01$)	6,40 ($\pm 0,04$)	0,137 a b ($\pm 0,019$)	42,804 a b c ($\pm 0,141$)	0,059 ($\pm 0,002$)
4	50,8 b c d ($\pm 0,1$)	6,45 ($\pm 0,11$)	0,144 a ($\pm 0,008$)	42,523 a b c ($\pm 0,071$)	0,083 ($\pm 0,008$)
5	51,0 a b ($\pm 0,1$)	6,36 ($\pm 0,22$)	0,115 a b ($\pm 0,007$)	42,464 b c ($\pm 0,141$)	0,061 ($\pm 0,000$)
6	50,9 b c ($\pm 0,1$)	6,39 ($\pm 0,17$)	0,109 a b ($\pm 0,003$)	42,527 a b c ($\pm 0,071$)	0,074 ($\pm 0,010$)
7	50,8 b c d ($\pm 0,0$)	6,31 ($\pm 0,00$)	0,109 a b ($\pm 0,000$)	42,725 a b c ($\pm 0,000$)	0,056 ($\pm 0,000$)
8	51,4 a ($\pm 0,01$)	6,46 ($\pm 0,28$)	0,141 a ($\pm 0,004$)	41,939 c ($\pm 0,071$)	0,060 ($\pm 0,006$)

Fonte: Dados das análises, 2025.

Em que: (\pm) Desvio-padrão. Valores médios seguidos de mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

De modo geral, os resultados obtidos corroboram as observações de Foelkel (2012), que destaca o elevado potencial energético da *A. mangium* em função de sua composição química favorável. Quando comparada a estudos clássicos sobre biomassa energética, como os trabalhos de Vital (1984; 2010) com espécies de *Eucalyptus*, a composição elementar da *A. mangium* mostra-se plenamente compatível com os parâmetros exigidos para um combustível sólido de alto desempenho energético. Assim, a análise química elementar confirma a viabilidade técnica da espécie para a geração de energia por meio da queima direta.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou que a madeira da *A. mangium* apresenta propriedades físico-químicas adequadas para uso energético, com teores de carbono e hidrogênio compatíveis com espécies tradicionalmente utilizadas, além de baixa presença de nitrogênio e enxofre, o que favorece uma combustão eficiente e menos poluente.

A utilização dessa espécie invasora como biomassa sólida representa uma alternativa sustentável, pois contribui para o controle de sua expansão desordenada, reduzindo impactos sobre ecossistemas nativos e evitando maior pressão sobre espécies amazônicas.

Do ponto de vista socioeconômico, o aproveitamento da *A. mangium* pode diversificar a matriz energética regional e oferecer uma fonte renovável de baixo custo para comunidades locais. Adicionalmente, ao transformar um passivo ambiental em ativo energético é uma estratégia viável e benéfica, tanto para o manejo florestal quanto para o desenvolvimento sustentável da região amazônica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

AGUIAR JÚNIOR, A. *et al.* Invasion of *Acacia mangium* in Amazonian savannas following planting for forestry. **Biological Invasions**, v. 16, p. 2383–2395, 2014.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/235975913_Invasion_of_Acacia_mangium_in_Amazonian_savannas_following_planting_for_forestry. Acesso em: 07 jan 2025.

BARROS, Sâmia Valéria dos; NASCIMENTO, Claudete Catanhede do; AZEVEDO, Celso Paulo de. Caracterização tecnológica da madeira de três espécies florestais cultivadas no amazonas: alternativa para produção de lenha. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 4, p. 789-798, 2012. Disponível em: <https://ri-api.inpa.gov.br/server/api/core/bitstreams/9c2096ab-4a7a-4743-87ad-39a5cb2994c1/content>. Acesso em: 6 dez. 2025.

BARROS, Sâmia Valéria dos; NASCIMENTO, Claudete Catanhede do; AZEVEDO, Celso Paulo de. **Avaliação do potencial energético de espécies florestais exóticas e nativas cultivadas no Amazonas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2005.

BRITO, José Otávio; BARRICHELO, Luiz Ernesto George. Correlações entre densidade básica da madeira e propriedades do carvão vegetal de *eucalyptus grandis*. **Ipef**, piracicaba, v. 14, p. 9-20, 1977. Disponível em:

<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr14/cap01.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2025.

BRITO, José Otávio; BARRICHELO, Luiz Ernesto George. **Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia**. Circular Técnica, Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), n. 52, jun. 1979. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr052.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2025.

BERSCH, Aline Patrícia; BRUN, Eleandro José; PEREIRA, Flávia Alves; SILVA, Dimas Agostinho; DE BARBA, Yan Rafael; DORINI JUNIOR, Jeferson Ricardo. Caracterização energética da madeira de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. **Floresta**, [S. l.], v. 48, n. 1, p. 87–92, 2018. DOI: 10.5380/rf.v48i1.51673. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/51673>. Acesso em: 11 dez. 2025.

CARNEIRO, Angélica de Cassia Oliveira *et al.* Potencial energético da madeira de *Eucalyptus sp.* em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 375–381, 2014. DOI: 10.1590/S0100-67622014000200019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000200019>. Acesso em: 12 dez. 2025.

CARVALHO, Walter; CANILHA, Larissa; FERRAZ, André; MILAGRES, Adriane Maria Ferreira. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 8, p. 2191–2195, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/9J7hJk3hJ7hJk3hJ7hJk3h/?lang=pt> Acesso em: 13 dez. 2025.

CASTRO, Ana Flávia Neves Mendes. **Efeito da idade e de materiais genéticos de Eucalyptus sp. na madeira e carvão vegetal**. 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/ff83de13-8116-4ffc-b14d-5f29a37d53bb>. Acesso em: 06 jun. 2025.

CHAVES, Antonio M. Brito; VALE, Ailton Teixeira do; MELIDO, Raul C. N.; ZOCH, Vanessa P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus spp.* **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 533–542, 2013. Disponível em: <https://conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/CARACTERISTICA%20ENERGETICAS.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2025.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa.; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. (org.). **Biomassa para energia**. 1. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2008. p. 15–28. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1z4-I6TrsRTV3byzqLx9CUVBhqMgriZOh/view>. Acesso em: 22 jun. 2025.

DEMIRBAS, Ayhan. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. **Energy Conversion and Management, Oxford**, v. 42, n. 11, p. 1357–1378, 2001. DOI: 10.1016/S0196-8904(00)00137-0. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00137-0](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00137-0). Acesso em: 13 jun. 2025.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, D. I. N. DIN EN 15296: **Conversion of analytical results from one basis to another**. Berlim: CEN, 2011b. 15 p
EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 19 de jun. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2025**. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>. Acesso em: 14 dez. 2025.

FOELKEL, Celso. Densidade básica da madeira. In: **Eucalyptus Online Book. Capítulo 41**. 2015. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT41_Densidade_Basica_Madeira.pdf. Acesso em: 12 dez. 2025.

FOELKEL, Celso. ***Eucalyptus online book – capítulo 28***: os eucaliptos e as leguminosas: parte 03: *Acacia mangium*. 2012. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT28_Acacia_mangium.pdf. Acesso em: 6 dez. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO; **INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA**. Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2021. Washington: World Bank, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/tracking-sdg7-the-energy-progress-report-2021>. Acesso em: 13 nov. 2025.

GOMES SOBRINHO, Themístocles Rafael; QUINTAIROS, Marcos Vinícius Rodrigues; GOMES, Rita de Cássia Azevedo da Silva Raphael; SANTANA, Eliane de Jesus Miranda. Classificação climática conforme a metodologia Köppen do município de Laranjal do Jari/Amapá/Brasil. *In*: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7., 2012, Palmas. **Anais....** Palmas: IFTO, 2012.

GONÇALVES, Fabricio Gomes; LELIS, Roberto Carlos Costa. Caracterização tecnológica da madeira de *Acacia mangium willd* em plantio consorciado com eucalipto. **Floresta e ambiente**, seropédica, v. 19, n. 3, p. 286–295, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/sbtvpgcsdxgxmwb5ydbv7p/?format=pdf>. Acesso em: 6 dez. 2025.

IBFLORESTAS. **Acácia australiana: saiba tudo sobre essa espécie**. 2021. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/lista-de-especies-nativas/acacia-australiana>. Acesso em: 6 dez. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geociências**, 2016. Encontrado em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/15829-solos.html>. Acesso em: 13 jun. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geociências**, 2021. Encontrado em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/vetores/escala_250_mil/. Acesso em: 13 jun. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geociências**, 2022. Encontrado em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 13 jun. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Laranjal do Jari - AP: características ambientais e geográficas**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ap/laranjal-do-jari.html>. Acesso em: 13 jun. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY-IEA; INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY-IRENA; UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION-UN; WORLD BANK; WORLD HEALTH ORGANIZATION-WHO. **Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2021**. Washington, DC: World Bank, 2021. Disponível

em: <https://www.iea.org/reports/tracking-sdg7-theenergy-progress-report-2021>. Acesso em: 13 nov. 2025.

KAYS, Jonathan. Measuring wood moisture & drying time for hardwood tree species. **College Park: University of Maryland Extension**, 2018. (FS-1074). Disponível em: https://extension.umd.edu/sites/extension.umd.edu/files/publications/MeasuringWoodMoisture_FS-1074.pdf. Acesso em: 14 dez. 2025.

LEITE, Edson Rubens da Silva; PROTÁSIO, Thiago de Paula; ROSADO, Sebastião Carlos da Silva; TRUGILHO, Paulo Fernando; MELO, Isabel Cristina Nogueira Alves de. Qualidade do carvão vegetal produzido a partir da madeira do cafeeiro, para uso bioenergético. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 251–261, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufla.br/server/api/core/bitstreams/81b924e3-860a-4573-82e6-784650713674/content>. Acesso em: 12 dez. 2025.

MEDEIROS, Natielly; NICÓ, Pedro; SALES, Francisco; CIRILO, Nauan. Rendimento e qualidade do carvão vegetal da madeira de *Azadirachta indica*. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 17, n. 1, 2024. DOI: 10.17765/2176-9168.2024v17n1e11700. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/download/11700/7588/>. Acesso em: 12 dez. 2025.

MEIER, Eric. Madeira e umidade. **Wood Database**, 2025. Disponível em: <https://www.wood-database.com/wood-and-moisture>. Acesso em: 14 dez. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Série especial do MME destaca os principais dados do Balanço Energético Nacional 2025**. Brasília: MME, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/serie-especial-do-mme-destaca-osprincipais-dados-do-balanco-energetico-nacional-2025>. Acesso em: 13 nov. 2025.

MORAIS, Thiago Mendes de Oliveira; MONTAGNER, André Eduardo de Araujo. Infestação por *Acacia mangium* Willd em sistema silvipastoril após fogo no Cerrado amapaense. *In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAPÁ*, 2015. **Anais** [...]. Macapá: Embrapa Amapá, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1038391/1/CPAFAP2015JornadaInfestacaoporacacia.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2025.

NEVES, Thiago Andrade. **Qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de Eucalyptus cultivados no sul de Minas Gerais**. 2012. 94 f. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufla.br/items/56d11010-a126-4abc-8d5e-50ffaa7f6686>. Acesso em: 13 dez. 2025.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; CAPAZ, Rafael Silva; LORA, Electo Eduardo Silva. **Bioenergia com sustentabilidade: a contribuição do etanol e da biomassa para a matriz energética brasileira**. Rio de Janeiro: Synergia, 2021.

NONES, Daniela Letícia; BRAND, Martha Andreia; CUNHA, Alexsandro Bayestorff da; CARVALHO, Adriel Furtado de; WEISE, Solange Maria Krug. Determinação das

propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 57–64, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/download/30157/24807>. Acesso em: 12 dez. 2025.

OLIVEIRA, Aylson Costa; CARNEIRO, Angélica De Cássia Oliveira; VITAL, Benedito Rocha; ALMEIDA, Wellington; PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi; CARDOSO, Marco Túlio. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de eucalyptus pellita f. Muell. **Scientia forestalis**, piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431–439, set. 2010. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr87/cap10.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2025.

PAULA, Natália Fernandes. **Relação cerne/alburno em genótipos de Eucalyptus**. Anais da VII Mostra de Docentes em RJ, Jaboticabal: Fatec, 2023. Disponível em: https://www.fatecguaratingueta.edu.br/mostrarji/Anais-VII-MostraRJ/artigos/publicacao_148.pdf. Acesso em: 24 jun. 2025.

PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi; OLIVEIRA, Aylson Costa; CARVALHO, Ana Márcia Macedo Ladeira; CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira; SANTOS, Larissa Carvalho; VITAL, Benedito Rocha. Quality of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones for ironmaster use. **International Journal of Forestry Research**, v. 2012, p. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/523025>.

PROTÁSIO, Thiago de Paula *et al.* Avaliação tecnológica do carvão vegetal da madeira de clones jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 801–816, 2015. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr108/cap06.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2025.

PROTÁSIO, Thiago de Paula *et al.* Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels. **BioResources**, v. 8, n. 1, p. 1166–1185, 2013. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/brazilian-lignocellulosic-wastes-for-bioenergy-production-characterization-and-comparison-with-fossil-fuels/>. Acesso em: 13 dez. 2025.

PROTÁSIO, Thiago de Paula *et al.* Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, PR, v. 31, n. 66, p. 113-122, 2011a

RAMOS, Rafaella Dias; LONGUE JÚNIOR, Dalton; PEREIRA, Guilherme Sampaio; SILVA, João Vitor Moraes da; VALLE, Mara Lúcia Agostini; DIAS JÚNIOR, Ananias Francisco. Influência da densidade básica e da composição química da madeira para o processo de carbonização. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 34, n. 4, 2024. DOI: 10.5902/1980509887722. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509887722>. Acesso em: 12 dez. 2025.

ROSSI, Luiz Marcelo Brum; AZEVEDO, Celso Paulo de; SOUZA, Cíntia Rodrigues de. *Acacia mangium*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, dez. 2003. 29 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, n. 28). ISSN 1517-3135. Disponível

em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/674619>. Acesso em: 14 jun. 2025.

SANQUETTA, C. R. et al. Potencial energético da biomassa lenhosa de espécies florestais nativas e exóticas. **Revista Brasileira de Biomassa e Energia**, v. 4, n. 1, p. 1–10, 2015.

SANTOS, Larissa Carvalho; CARVALHO, Ana Márcia Macedo Ladeira; PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi; OLIVEIRA, Aylson Costa; CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira; TRUGILHO, Paulo Fernando. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, v. 36, n. 5, p. 971–980, 2012. DOI: 10.1590/S0100-67622012000500019. Disponível em: <https://revistaarvore.ufv.br/rarv/article/view/80208>. Acesso em: 11 dez. 2025.

SILVA, Mileny Galdino da; SILVA, Gualter Guenther Costa da; OLIVEIRA, Ermelinda Maria Mota; SANTOS, Rosimeire Cavalcante dos; CASTRO, Renato Vinícius Oliveira. Crescimento, produção e distribuição de biomassa de acácia (*Acacia mangium* Willd) em resposta ao método de cultivo. **Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 4, p. 348–357, 2018. DOI: 10.13083/reveng.v26i4.832. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/744>. Acesso em: 13 dez. 2025.

SILVA, Dimas Agostinho; MÜLLER, Bruna Verediana; KUIASKI, Elaine Cristina; ELOY, Elder; BEHLING, Alexandre; COLAÇO, Cecília Moura. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 84, p. 481–485, out./dez. 2015. DOI: 10.4336/2015.pfb.35.84.677. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/5e4c/4611a0b4db2aba856bd68cca20b20b2a86e7.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2025.

SILVA, Elaene; MATOS, Darley. Effect of functional strategies and abundance of *Acacia mangium* Willd on the number of native species in a secondary forest fragment in southern Amapá, Brazil. **Boletim do Museu Integrado de Roraima** (Online), Boa Vista, v. 15, n. 2, p. 50-69, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24979/bolmirr.v.15.i2.1187>. Disponível em: <https://periodicos.uerr.edu.br/index.php/bolmirr/article/view/1187>. Acesso em: 10 jan. 2026.

SOUZA, Arlene Oliveira, CHAVES, Maria do Perpétuo Socorro Rodrigues, BARBOSA, Reinaldo Imbrozio, CLEMENT Chales Roland. Local ecological knowledge concerning the invasion of Amerindian lands in the northern Brazilian Amazon by *Acacia mangium* (Willd.). **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 14, n. 1, p. 1–13, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13002-018-0231-x>. Acesso em: 07 jan 2025.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). **TAPPI test methods T 257 cm-85**: sampling and preparing wood for analysis. In: TAPPI. TAPPI Standard Method. Atlanta: TAPPI, 2001. Cd-Rom.

TONINI, Helio; SCHWENGBER, Dalton Roberto; MORALES, Marina Moura; MAGALHÃES, Ciro Augusto de Souza; OLIVEIRA, Jane Maria Franco de. Growth,

biomass, and energy quality of *Acacia mangium* timber grown at different spacings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 55, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/b4vGgzSzp7dW9s97vtfZxJJ/?format=pdf>. Acesso em: 13 nov. 2025.

TONINI, Helio; FERREIRA, Liane Marise Moreira; GONÇALVES, Delman de Almeida; BRIENZA JUNIOR, Silvio; MOURÃO JUNIOR, Moisés; LIMA, Roberval Monteiro Bezerra de; SOUZA, Cintia Rodrigues de; GUEDES, Marcelino Carneiro; SOUSA, Vanessa. **Acacia mangium**: espécie potencial para reflorestamentos energéticos na região Norte. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2000. 17 p. (Documentos / Embrapa Roraima, 12). Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/684466/1/2612.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2025.

TRUGILHO, Paulo Fernando. Energia da biomassa florestal. *In*: GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; BENEDETTI, Valdir (Orgs.). **Uso de resíduos e energia da biomassa florestal**. Piracicaba: IPEF, 2012. cap. 1, p. 1–20. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2012_Energia_Biomassa+Florestal.pdf. Acesso em: 23 jun. 2025.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Today in Energy**. Disponível em: <https://www.eia.gov>. Acesso em: 12 nov. 2025.

VALE, Ailton Teixeira do; BRASIL, Maria Aparecida Mourão; CARVALHO, Carlos Marchesi de; VEIGA, Ricardo Antonio de Arruda. **Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação**. *Cerne*, Lavras, MG, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000. Disponível em: <https://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/487/422>. Acesso em: 13 dez. 2025.

VAZ JUNIOR, Silvio. **Análise química da biomassa**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1079890/analise-quimica-da-biomassa>. Acesso em: 13 nov. 2025.

VITAL, Benedito Rocha. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: sif, 1984. Disponível em: https://arquivos.ufrj.br/arquivos/2022199120385431256444dfb7ecebbae/aula_3_densidade_da_madeira_24-02-2021.pdf. Acesso em: 6 dez. 2025.

VITAL, Benedito Rocha; CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira; PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi. Qualidade da Madeira par fins energéticos. *in*: SANTOS, F.; COLODETTE, J. L.; QUEIROZ, J. H. (org.). **Bioenergia & Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar & Espécies Florestais**, 1st ed., Super Gráfica e editora Ltda, Viçosa, MG, 2013: pp. 321–354.

VITAL, Benedito Rocha; CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira; ALMEIDA, Wellington; PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *eucalyptus pellita* f. Muell. **Scientia forestalis, piracicaba**, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.