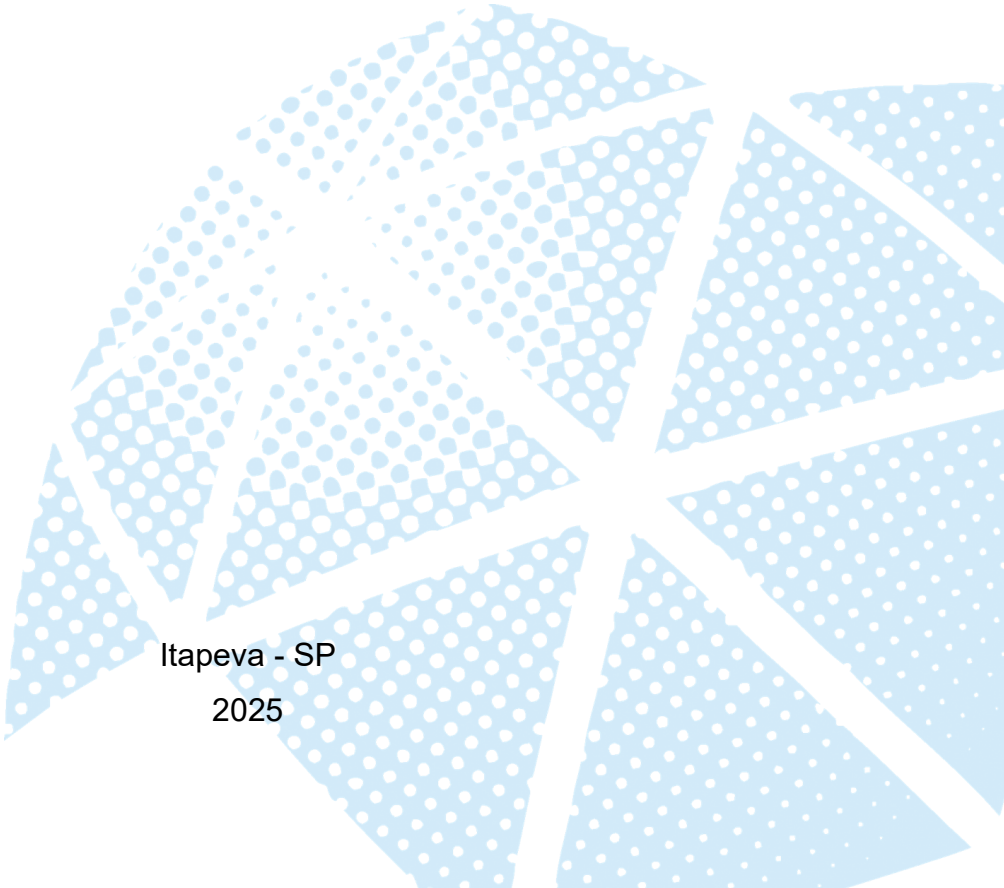


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Instituto de Ciências e Engenharia – Câmpus de Itapeva

SILVIO REGINALDO CAMARGO FILHO

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO
CARVÃO DE BAMBU E DE EUCALIPTO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Itapeva - SP
2025



SILVIO REGINALDO CAMARGO FILHO

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO
CARVÃO DE BAMBU E DE EUCALIPTO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado na Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” –
Instituto de Ciências e Engenharia -
Itapeva, como requisito para a conclusão
do curso de Engenharia Industrial –
Madeira.

Orientador(a): Prof. Dra. Maristela Gava

Itapeva – SP

2025

C172a

Camargo Filho, Silvio Reginaldo

Análise comparativa das propriedades físico-químicas do carvão de bambu e de eucalipto : uma revisão bibliográfica / Silvio Reginaldo Camargo Filho. -- Itapeva, 2025

34 f.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Industrial - Madeira) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva

Orientador: Maristela Gava

1. Carvão vegetal. 2. Biomassa. 3. Propriedades físicas e químicas. 4. Biocombustíveis. 5. Resíduos. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Instituto de Ciências e Engenharia - Câmpus de Itapeva

SILVIO REGINALDO CAMARGO FILHO

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Industrial - Madeira, da Universidade Estadual Paulista - UNESP -
Campus de Itapeva.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof.^a Dr.^a Maristela Gava
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Itapeva.

2º Examinador: Prof.^a Dr.^a Elen Aparecida Martines Morales
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Itapeva.

3º Examinador: Prof. Dr. Bruno Santos Ferreira
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Itapeva.

Itapeva, 24/11/2025.

“Dedico esse trabalho a minha mãe,
que sob muito sol, me fez chegar até aqui, na sombra.”

AGRADECIMENTOS

Tenho o conhecimento de que, certamente, as palavras expressas não irão descrever a gratidão que tenho por todos que fizeram parte desta etapa de minha vida.

Aos meus queridos pais, Ana Rosa Kulik e Silvio Camargo. Minhas irmãs, Yngrid Kulik e Sofya Kulik. Sou profundamente grato pela confiança, amor e apoio que depositaram em mim ao longo de toda minha jornada.

À minhas queridas amigas, Laura Benfica, Amanda Almeida e Ana Medeiros. Que estiveram sempre presentes para me encorajar e me dar apoio, agradeço do fundo do coração.

À minha professora orientadora Profa. Dra. Maristela Gava, agradeço a paciência, dedicação e comprometimento em me ajudar a desenvolver este trabalho.

À UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP - Instituto de Ciências e Engenharia, por todo aprendizado e impacto em minha carreira profissional, no Câmpus de Itapeva.

Mais uma vez, agradeço a todos que fizeram parte deste momento especial na minha vida.

RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal, segundo relatório da Index Box de 2024. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo identificar e reunir características físicas e químicas de espécies de bambu e eucalipto, com foco em análises comparativas. Foi visto que o eucalipto apresentou densidade básica variando entre 0,45 e 0,60 g/cm³ e poder calorífico de 4.400 a 4.800 kcal/kg, valores compatíveis com o uso energético consolidado dessa biomassa. O bambu, por sua vez, apresentou densidade média de 0,55 g/cm³ e poder calorífico de 4.530 kcal/kg, evidenciando desempenho energético semelhante ao do eucalipto. Em contrapartida, o teor de cinzas do eucalipto variou entre 0,22 e 0,40%, inferior ao do bambu (4,8%), o que representa uma vantagem na formação de menor quantidade de resíduos pós-combustão. Além disso, o bambu apresentou menor teor de carbono fixo (64,11%) e de lignina (1,3 a 6,4%) em relação ao eucalipto (71,9 a 84,4% e 27,81 a 29,76%, respectivamente), fatores que podem limitar seu rendimento na produção de carvão vegetal. O trabalho teve como principais contribuições, uma fonte única de dados das propriedades de diferentes espécies de bambu e eucalipto, além da importância dessas propriedades para produção de carvão vegetal. Além de desenvolver um referencial teórico para os demais trabalhos da área no uso de carvão de bambu como alternativa de biomassa para a geração de energia.

Palavras-chave: carvão vegetal; biomassa; propriedades físico-químicas; bioenergia; resíduos.

ABSTRACT

Brazil is the world's largest producer of charcoal, according to a 2024 report by Index Box. In this context, the present study aimed to identify and compile the physical and chemical characteristics of bamboo and eucalyptus species, focusing on comparative analyses. It was found that eucalyptus had a basic density ranging from 0.45 to 0.60 g/cm³ and a calorific value of 4,400 to 4,800 kcal/kg, values compatible with the consolidated energy use of this biomass. Bamboo, in turn, had an average density of 0.55 g/cm³ and a calorific value of 4,530 kcal/kg, showing energy performance similar to that of eucalyptus. In contrast, the ash content of eucalyptus varied between 0.22 and 0.40%, lower than that of bamboo (4.8%), which represents an advantage in the formation of less post-combustion waste. However, bamboo had a lower fixed carbon content (64.11%) and lignin content (1.3 to 6.4%) compared to eucalyptus (71.9 to 84.4% and 27.81 to 29.76%, respectively), factors that may limit its yield in charcoal production. The main contributions of this study are a unique source of data on the properties of different species of bamboo and eucalyptus, as well as the importance of these properties for charcoal production. In addition to developing a theoretical framework for other studies in the field on the use of bamboo charcoal as an alternative biomass for energy generation.

Keywords: charcoal; biomass; physical-chemical properties; bioenergy; waste.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Espécies de Bambu Utilizadas Nos Estudos Analisados.....	27
Tabela 2 – Principais Propriedades das Espécies de Bambu e Eucalipto.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ICP	Injeção de Carvão Pulverizado
PCS	Poder Calorífico Superior
PCI	Poder Calorífico Inferior

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1	BAMBU	15
3.2	EUCALIPTO COMO BIOMASSA ENERGÉTICA.....	16
3.3	APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS.....	17
3.4	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO CARVÃO VEGETAL.....	18
3.4.1	Umidade	18
3.4.2	Poder calorífico.....	19
3.4.3	Porosidade.....	19
3.4.4	Materiais voláteis	19
3.4.5	Cinzas.....	20
3.4.6	Carbono fixo	20
3.4.7	Normalização.....	20
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1	SELEÇÃO DAS FONTES BIBLIOGRÁFICAS	22
4.2	CRITÉRIOS DE SELEÇÃO.....	22
4.3	ANÁLISE DAS PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	22
4.4	CONSULTA DE REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
4.5	ORGANIZAÇÃO E SÍNTESE.....	23
4.6	LIMITAÇÕES DO MÉTODO	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1	DENSIDADE BÁSICA E CARACTERÍSTICAS GERAIS	24
5.2	PODER CALORÍFICO	24
5.3	ANÁLISES IMEDIATAS (MATERIAIS VOLÁTES, TEOR DE CINZAS E TEOR DE LIGNINA).....	25
5.4	CARBONO FIXO	26
5.5	COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS.....	27
5.5.1	Impacto energético da variável	28

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

O bambu é uma planta fibrosa pertencente à família das *Gramineae* ou *Poaceae*, subfamília *Bambusoideae* e é composta de aproximadamente 1.300 espécies espalhadas pelo mundo (Clark *et al.*, 2015; Drumond e Wiedman, 2017; Felisberto *et al.*, 2017). Cerca de 232 espécies são encontradas no Brasil, sendo aproximadamente 200 endêmicas, ou seja, são exclusivas de uma determinada região e não são encontradas naturalmente em nenhum outro lugar do mundo.

Visto que essa planta possui um excepcional potencial de crescimento rápido, sustentabilidade, versatilidade e volume elevado de matéria seca produzida por unidade de área, se torna uma forte alternativa para a substituição de parte da madeira em determinadas aplicações, inclusive na construção civil e recurso de bioenergia.

O Brasil dispõe de clima favorável e grande extensão de áreas degradadas inaptas para outros cultivos, mas adequadas ao plantio de diversas variedades de bambu de valor comercial.

Os usos da planta envolvem desde a produção de papel, celulose, energia, biocombustível e extração de amido até o emprego na construção civil, bioengenharia, fabricação de móveis, artesanatos, produtos farmacêuticos, alimentícios e medicinais (Singh *et al.*, 2013).

Apesar das aplicações promissoras, existe, no Brasil, escassez de trabalhos científicos relativos à produtividade dos bambus (Vasconcellos, 2006), particularmente sobre as propriedades das distintas espécies dessa biomassa.

Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica do carvão de bambu para a produção de energia e compará-la à de espécies de eucalipto. A análise foi conduzida com base na literatura disponível e em estudos já realizados, considerando que, apesar das diversas aplicações energéticas do bambu, ainda são escassos os trabalhos comparativos que avaliam de forma sistemática suas propriedades físico-químicas como matéria-prima para produção de carvão vegetal em relação ao carvão de eucalipto.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar, com base em estudos publicados, as propriedades físico-químicas do carvão produzido a partir de bambu, comparando-as às propriedades do carvão de eucalipto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar e selecionar estudos científicos realizados sobre a caracterização do bambu e eucalipto para a produção de carvão vegetal, além de organizar e sistematizar os dados obtidos na literatura;
- Comparar, de forma crítica, as propriedades físico-químicas do bambu e do eucalipto para a produção de carvão vegetal;
- Avaliar o potencial do bambu como alternativa para a produção de carvão vegetal, em substituição ao eucalipto.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 BAMBU

O bambu é uma planta caracterizada por sua natureza fibrosa e pertence à família das gramíneas, conhecida como *Poaceae* ou *Gramineae*. Esta família é composta por cerca de 45 gêneros e 1.300 espécies distribuídas globalmente. No Brasil, existem aproximadamente 232 espécies de bambu, dessas são cerca de 170 endêmicas. Essas plantas são principalmente encontradas em regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul. Os bambus têm um ciclo de vida longo, variando de 5 a 20 anos de idade, dependendo da espécie (Pedrangelo *et al.*, 2020).

É uma planta com notável potencial agrícola e pode competir favoravelmente com outros tipos de matérias-primas devido à sua alta taxa de crescimento. Em média, o bambu pode atingir até 30 metros de altura e possui um bom aproveitamento por área, além de uma grande produção de biomassa. Essas são algumas das características que fazem do bambu uma alternativa promissora para aumentar a produtividade agrícola em escala global, o que tem despertado interesse em pesquisas nessa área (Carbonari *et al.*, 2017).

A demanda da grande variedade de espécies disponíveis de bambu, associada ao seu potencial, velocidade de crescimento, e quantidade de matéria seca produzida por hectare, torna viável sua utilização, tendo como consequência a geração de grande quantidade de resíduos.

Outra aplicação significativa do bambu está na produção de energia e carvão vegetal, aproveitando seu potencial como biomassa renovável. O bambu possui uma estrutura porosa e é abundante devido à diversidade de espécies disponíveis. Essas características tornam o bambu uma opção promissora para a geração de energia sustentável e a produção de carvão vegetal (Zhang *et al.*, 2018).

As propriedades físicas e mecânicas do bambu têm forte relação com a espécie, solo, manejo, clima, técnicas de corte, posição dos colmos, idade, umidade, nós internos e biodegradação (Ahmad, 2000).

3.2 EUCALIPTO COMO BIOMASSA ENERGÉTICA

No contexto global, o Brasil ocupa posição de destaque entre os maiores produtores de madeira, concentrando grande parte de suas áreas florestais plantadas com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Dentre esses cultivos, o eucalipto corresponde à maior parcela destinada aos segmentos de energia, produção de painéis, aplicações estruturais e indústria moveleira. Esse protagonismo se deve ao conjunto de características favoráveis do gênero, como elevada taxa de crescimento, ampla adaptabilidade a diferentes condições de solo e clima, boa conformação do fuste, ciclos de produção curtos, domínio tecnológico da silvicultura e altos incrementos volumétricos, fatores que tornam sua madeira adequada para múltiplos usos (IBÁ, 2017).

Devido à sua elevada capacidade de adaptação, o eucalipto abrange diversas espécies distribuídas por diferentes regiões do Brasil. Entre elas, *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* desempenham papel fundamental nos programas de melhoramento genético, resultando em híbridos altamente produtivos, como o *E. urograndis*, amplamente cultivado no país. Também se destacam *E. urophylla* e *E. camaldulensis*, cuja combinação origina o híbrido *E. urocam*, reconhecido por seu bom desempenho em aplicações energéticas (Fonseca *et al.*, 2010).

No uso da madeira como lenha, é preferível empregar espécies que apresentem maior poder calorífico, já que esse parâmetro está diretamente relacionado ao desempenho energético e depende da sua composição química — incluindo os teores de celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos e cinzas, que variam entre as diferentes espécies (Quirino *et al.*, 2005).

Outro aspecto relevante para avaliar o potencial energético da madeira é a densidade básica, pois ela influencia diretamente a quantidade de massa seca disponível por unidade de volume. Essa massa, constituída pelos componentes orgânicos e inorgânicos do material, determina o conteúdo efetivo de substâncias combustíveis, sendo os compostos orgânicos os principais responsáveis pelo maior potencial energético (Palermo *et al.*, 2004).

Devido à sua ampla capacidade de adaptação, elevada produtividade e boas características energéticas — como densidade da madeira e poder calorífico — o gênero *Eucalyptus* destaca-se como a principal escolha para a formação de florestas destinadas à geração de energia (Couto; Müller, 2008). Esse grupo apresenta

diversas espécies, cada uma com particularidades próprias e múltiplas possibilidades de aplicação.

3.3 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

O aproveitamento de resíduos lignocelulósicos apresenta potencial econômico relevante. A transformação de resíduos agroindustriais em produtos de valor agregado contribui para o fortalecimento de cadeias produtivas locais, reduz custos com descarte e incentiva o desenvolvimento de tecnologias inovadoras voltadas à sustentabilidade (Ferraz, 2019).

A redução do corte de árvores e o desgaste das áreas de reflorestamento podem ser fatores que, podem ser resolvidos pela utilização de bambu como matéria-prima e agente de recuperação de solos (Pereira; Beraldo, 2016).

Nesse cenário, há uma necessidade de disseminação de soluções sustentáveis com a finalidade destinar e utilizar corretamente esses resíduos, obtendo repercussão a nível mundial e consequentemente propor mudanças nos comportamentos, não somente das indústrias, mas também de cada consumidor.

O conhecimento da quantidade, qualidade, possibilidades de uso dos resíduos, do aumento da eficiência em processos produtivos e das inovações no ramo da ciência podem gerar alternativas de uso que viabilizem seu aproveitamento, evitando, assim, os problemas anteriormente mencionados. Como exemplo pode-se citar, ademais, a utilização dos resíduos em coberturas, granjas, indústrias de painéis de madeira reconstituída, compostagem, geração de energia, na compactação e transformação em briquetes e carvão vegetal.

Uma quantidade significativa de bambu, que não é adequada para a fabricação de produtos, está disponível como resíduos que podem ser utilizados para produção de bioenergia ou biocarvão.

A maioria dos resíduos de biomassa podem ser convertidos em carvão. Mas especificamente, destaca-se, neste estudo, o carvão vegetal a partir de resíduos de bambu dada as características de crescimento/produktividade.

3.4 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO CARVÃO VEGETAL

O conhecimento das características da matéria-prima e a técnica utilizada para carbonizar influenciam diretamente nas propriedades do carvão vegetal.

Quanto maior a umidade da biomassa, mais quebradiço será o carvão resultante, devido ao processo de carbonização, onde a água passa do estado líquido para o gasoso, gerando pressão interna com o vapor, podendo ocasionar o fendilhamento do carvão.

A densidade do bambu está relacionada a fatores como: à espécie, às características do solo e do clima, ao teor de umidade no interior do bambu e à idade em que os colmos são extraídos (Oliveira, 2013). O embasamento teórico proporciona suporte uma análise experimental.

Pela análise química imediata do carbono vegetal, determinam-se alguns parâmetros como: teor de umidade, quantidade de matérias voláteis, teor de carbono fixo e teor de cinzas, que são importantes nos balanços de massa nos processos que utilizam o redutor (Oliveira *et al.*, 1982).

Outras propriedades importantes relacionadas ao uso do carvão vegetal são porosidade, reatividade, granulometria, além resistência mecânica e densidade aparente, já mencionadas.

O teor de carbono fixo é uma das características mais importantes no procedimento de qualificação de um carvão vegetal, uma vez que está diretamente correlacionado com o poder calorífico desse combustível (Bataus *et al.*, 1989).

Para que sejam determinadas as propriedades físico-químicas do carvão vegetal, existem documentos normativos que regulamentam os ensaios, com a finalidade de padronização dos procedimentos para que não haja distorção dos resultados obtidos, de forma acentuada.

3.4.1 Umidade

O carvão vegetal é altamente higroscópico (propriedade que certos materiais têm de absorver água).

A água é extremamente prejudicial à operação de obtenção de carvão em alto-forno e, no caso da ICP (Injeção de Carvão Pulverizado), provoca perda de calor, aumentando o consumo específico de carbono e diminuindo a resistência do carvão

vegetal (Morais, 2005) e, particularmente nos sistemas de injeção, induz a entupimento dos vasos de transporte de carvão pulverizado para as ventaneiras.

A umidade contida no carvão vegetal exerce uma grande influência no rendimento dos processos em que ele é utilizado.

3.4.2 Poder calorífico

O poder calorífico pode ser definido como a quantidade de energia liberada na combustão completa de uma unidade de massa do material combustível. Na escolha de espécies de *Eucalyptus* para produção de energia é fundamental a quantificação do poder calorífico, tendo em vista que essa propriedade é um parâmetro primordial para se avaliar a potencialidade energética de combustíveis de biomassa (Neves, 2012).

A determinação do poder calorífico em bomba calorimétrica é um processo que requer treinamento e tempo para realização, portanto, segundo Gomide (1979), algumas expressões empíricas utilizam os resultados da análise imediata (teor de carbono fixo, matéria volátil) para estimativa do Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI).

3.4.3 Porosidade

Porosidade é a medida de espaço vazio (poros) em um determinado material, se trata de uma característica do carvão vegetal fortemente associada à densidade, higroscopicidade e reatividade. A molhabilidade (ângulo entre a cavidade do poro da partícula e gás) depende da porosidade, ou seja, maior molhabilidade, maior contato sólido e gases, possibilitando uma troca de calor entre gases-partícula e a cinética de combustão da partícula (reatividade).

3.4.4 Materiais voláteis

Os materiais voláteis se trata de substâncias formadas pelos elementos químicos carbono, hidrogênio e oxigênio. Sua quantidade é influenciada pelo teor lignina, estrutura da matéria-prima e carbonização (Brito, 1990; Braga, 1992). Um aumento de materiais voláteis resulta em diminuição do percentual de carbono fixo. A

reatividade é influenciada diretamente pela quantidade de material volátil do carvão vegetal. Para o carvão vegetal, um aumento no carbono fixo acarretará um aumento da reatividade no processo de combustão.

3.4.5 Cinzas

Em relação ao teor de cinzas, sendo um dos aspectos mais importantes para a produção de carvão, está relacionado com a composição da matéria-prima. Os principais componentes das cinzas são P, SiO_2 , Al_2O_3 , S, CaO, MgO, K_2O e Na_2O .

A composição química das cinzas varia de árvore para árvore e de galho para tronco. Elevado teor de cinzas é prejudicial tanto no alto-forno quanto na Injeção de Carvão Pulverizado (ICP). Nos dois casos, as cinzas consomem calor e ocupam volume dentro da partícula e do alto-forno. Geralmente, quanto maior o teor de cinzas, menor será o índice de combustão e a taxa de substituição, quando se pratica a Injeção de Carvão Pulverizado (Juvillar, 1979; Brito, 1990).

3.4.6 Carbono fixo

O carbono fixo depende da carbonização da madeira e do teor de lignina na madeira (Brito, 1993). Quanto maior a quantidade de carbono fixo, maior será o índice de combustão da partícula na ICP. A taxa de substituição será maior com o aumento do carbono fixo na partícula. Quanto maior a quantidade de carbono fixo, maior será o índice de combustão da partícula na ICP.

3.4.7 Normalização

Para se determinar umidade, materiais voláteis, carbono fixo, cinzas e demais propriedades físico-químicas do carvão vegetal, são utilizadas normas técnicas regulamentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e de outras instituições internacionais de renome:

- a) ABNT NBR 6922 – Determinação da Massa Específica (Densidade a Granel) prescreve o método de determinação da massa específica do carvão vegetal como recebido.

- b) ABNT NBR 6923 – Carvão Vegetal - Amostragem e Preparação da Amostra, que define os procedimentos de coleta e preparação de amostras para realização de ensaios de caracterização de carvão vegetal.
- c) ABNT NBR 7402 – Carvão Vegetal – Determinação Granulométrica.
- d) ABNT NBR 8112 – Carvão Vegetal – Análises Imediatas, destinadas à determinação dos teores de umidade, cinzas, materiais voláteis e carbono fixo de carvão vegetal.
- e) ABNT NBR 8293 – Carvão Vegetal – Determinação da umidade.
- f) ABNT NBR 8633 – Determinação do Poder Calorífico, prescreve o método de determinação do poder calorífico superior do carvão vegetal a volume constante, em uma bomba calorimétrica adiabática, isotérmica ou estática.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 SELEÇÃO DAS FONTES BIBLIOGRÁFICAS

A investigação foi desenvolvida com o auxílio do Google Acadêmico, utilizado como principal meio de busca. Foram utilizadas palavras-chave (ex.: “bamboo charcoal”, “eucalyptus charcoal properties”, “bioenergy bamboo”, “aproveitamento de resíduos”, etc.) para a realização de pesquisas amplas e como critério inicial reunir artigos com apresentação clara das propriedades físico-químicas do bambu e do eucalipto, com o objetivo de localizar e selecionar as publicações mais condizentes ao objetivo do trabalho. Em relação às bases complementares, foram utilizadas a SciELO e Periódicos CAPES.

4.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Os critérios de inclusão foram definidos com o propósito de assegurar a relevância e a qualidade dos trabalhos analisados. Foram selecionados artigos que tratavam das propriedades do carvão vegetal obtido a partir do bambu e eucalipto, bem como de seus parâmetros físico-químicos, propriedades gerais e utilização. A triagem inicial ocorreu mediante a leitura dos resumos, priorizando estudos completos e com referências sólidas, alinhados ao tema da pesquisa.

Os critérios de exclusão foram a presença de dados não mensuráveis, onde não seria possível obter valores quantitativos quanto às propriedades físico-químicas das espécies a serem avaliadas.

4.3 ANÁLISE DAS PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

Cada tema foi explorado focando na leitura dos resultados, objetivando comparações por variável, que consistiu em analisar cada propriedade físico-química isoladamente, permitindo identificar diferenças específicas entre o carvão vegetal a partir das diferentes espécies de bambu e eucalipto. Esse método possibilitou avaliar, de forma objetiva, o comportamento de cada material em relação a características como teor de umidade, cinzas, materiais voláteis, carbono fixo, densidade e poder calorífico.

4.4 CONSULTA DE REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A consulta das referências bibliográficas de cada artigo selecionado foi fundamental para ampliar a gama de fontes disponíveis. Essa abordagem permitiu a identificação de estudos adicionais que poderiam contribuir para a comparação e validação dos resultados apresentados nos artigos iniciais.

4.5 ORGANIZAÇÃO E SÍNTESE

Os dados coletados foram organizados e analisados de forma a contemplar os principais tópicos definidos, objetivando análises de discrepâncias e similaridades entre os resultados das propriedades físico-químicas das espécies presentes nas pesquisas analisadas, buscando investigar o emprego do bambu como alternativa para produção de carvão vegetal.

4.6 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

Em síntese, a metodologia adotada nesta pesquisa visou assegurar uma abordagem ampla e crítica, voltada à exploração das potencialidades do bambu. A leitura sistemática das fontes, a análise dos principais tópicos e a revisão das referências bibliográficas contribuíram para o embasamento teórico consistente e a compreensão aprofundada do tema investigado.

Cabe ressaltar que, apesar dos esforços empreendidos para contemplar uma ampla variedade de fontes, algumas limitações podem estar presentes, tais como a restrita disponibilidade de estudos específicos e a possível subjetividade envolvida no processo de seleção dos artigos analisados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DENSIDADE BÁSICA E CARACTERÍSTICAS GERAIS

Segundo Foelkel (2008) forma mais utilizada para a medição da densidade da madeira dos eucaliptos é por meio da densidade básica. Há bastante variação entre as diferentes espécies de eucaliptos presentes nesse estudo.

Há espécies de baixa densidade básica, entre 0,35 e 0,45 g/cm³, como *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus deglupta*. Há espécies de média densidade, entre 0,45 até 0,60 g/cm³. Dentre essas estão as mais conhecidas: *E.urophylla*, híbrido *E.urograndis*, *E.saligna*, *E.dunnii*, *E.robusta*, *E.camaldulensis*, *E. pellita* etc. Há também espécies de madeira densa, mais recomendados como biomassa ou para fabricação de carvão vegetal, com densidades entre 0,65 até g/cm³.

No trabalho conduzido por Azzini e Ciaramello (1971), em relação ao bambu, são encontrados valores de 0,62 g/cm³ para *Bambusa tuldoides*, 0,55 g/cm³ para *Dendrocalamus giganteus*, 0,44 g/cm³ para *Guadua angustifolia*, 0,55 g/cm³ para *Bambusa vulgaris* var. *vittata* e 0,55 g/cm³ para *Bambusa vulgaris*, em diferentes trabalhos dos autores citados anteriormente. Há também valores citados para *Bambusa vulgaris* (0,75 g/cm³) e *Bambusa vulgaris* var. *vittata* (0,73 g/cm³).

A densidade da biomassa é uma das propriedades mais determinantes para custos logísticos, viabilidade energética, transporte, armazenamento e rendimento na carbonização. A literatura indica que biomassa de maior densidade possui vantagens logísticas claras (Brand, 2015; Foelkel, 2008; Pereira *et al.*, 2009).

Em relação à essa propriedade específica, pode se concluir que as espécies de bambu apresentam valores compatíveis aos valores levantados de densidade básica das espécies de eucalipto. Essas similaridades podem ser explicadas pela idade e maturidade dos colmos de bambu.

5.2 PODER CALORÍFICO

De acordo com Brand (2015), o poder calorífico superior (PCS) quando a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante o processo é condensada e o calor latente do vapor d'água não é perdido. Já o poder calorífico

inferior (PCI) é a quantidade de energia disponível quando não se considera o calor latente da condensação da umidade presente nos produtos de combustão.

Segundo Pereira *et al.* (2009), o poder calorífico superior da madeira de eucalipto varia na faixa de 4.400 a 4.800 kcal/kg.

Na literatura, Fanchun (1981) menciona valores de poder calorífico para colmos de espécies do gênero *Bambusa* situados em torno de 4543 kcal/kg. Para *B. vulgaris* é mencionado o valor de 4530 kcal/kg. O autor considera também que, além dos aspectos genéticos, o efeito local - variação geográfica - exerce influência significativa sobre valores de poder calorífico.

Nos estudos de Ueda (1981), o autor considera a utilização de colmos de bambu para energia como muito importante, cita valores de poder calorífico de 4,600-5.400 kcal/kg.

O eucalipto apresentou uma faixa de poder calorífico previsível e consistente, com valores típicos de madeiras duras tropicais. Já os valores de PCS das espécies de bambu foram muito próximos dos obtidos para o eucalipto, indicando que o conteúdo energético por quilograma de bambu é comparável ao da madeira tradicional. Fatores que explicam podem ser a quantidade de extrativos, estrutura anatômica heterogênea, grande diversidade de espécies, influência geográfica e de manejo, teor de extrativos etc.

5.3 ANÁLISES IMEDIATAS (MATERIAIS VOLÁTEIS, TEOR DE CINZAS E TEOR DE LIGNINA)

Andrade *et al.* (2015) analisando a qualidade do carvão de *Bambusa vulgaris* encontraram valores de 28,55% de voláteis e 4,8% de cinzas.

Há também, autores que verificaram os teores de cinzas e sílica variaram de 2,4-9,7% e 1,3-6,4%, com menores valores para *B. vulgaris* e *B. vulgaris var. stricta* e maiores para *Gigantochloa levis*. Barrichelo e Foelkel (1975) obtiveram teores de cinzas em torno de 1,7% para *B. vulgaris var. vittata*; Gomide *et al.* (1981) e Montalvão Filho *et al.* (1984) encontraram valores de 2,5% para cinzas e 0,8% para sílica em *B. vulgaris*; Wai e Murakami (1982) encontraram valores de 1,5 e 3% para cinzas em colmos de *D. membranaceous* e *B. polymorpha*, respectivamente. Em relação ao teor de lignina, estudos conduzidos por Tomazello Filho, M. (1978), evidenciaram valores em torno de 17,5%.

Em estudos feitos com clones de diferentes espécies de eucalipto, Fernandes *et al.* (2015) observou que o teor de lignina total apresentou variação entre os clones, destacando-se um grupo com valores entre 27,81% e 29,76%.

Em relação ao teor de cinzas de espécies de eucalipto, Fernandes *et al.* (2015), os clones apresentaram variações entre 0,22 e 0,40%, sendo esses os que apresentaram menor teor de cinzas.

Assim, enquanto o bambu tende a gerar carvão com maior carga mineral e maior formação de resíduos, o eucalipto se destaca pela maior previsibilidade, menor conteúdo de impurezas e melhor eficiência energética, justificando sua predominância industrial na produção de carvão vegetal.

O bambu apresenta, em média, maiores teores de cinzas e sílica que madeiras como o eucalipto porque sua anatomia e fisiologia são naturalmente adaptadas para acumular minerais, especialmente sílica, nos tecidos estruturais. Esse fenômeno é amplamente documentado na literatura.

Do ponto de vista operacional, carvões de maior carga mineral — como os de bambu — aumentam a necessidade de limpeza, descarte de resíduos, manutenção e substituição de peças danificadas pela sílica abrasiva, além de elevar os custos com remoção de cinzas. Assim, embora o bambu seja promissor como biomassa energética, suas características químicas tornam seu carvão menos adequado para operações industriais exigentes, ao passo que o eucalipto, com menor teor de minerais e maior teor de lignina, é tecnicamente mais eficiente e economicamente mais vantajoso para uso industrial.

5.4 CARBONO FIXO

Estudos de Andrade *et al.* (2015), também apresentam outros aspectos do *Bambusa vulgaris Schrad*, São encontrados valores de carbono fixo e rendimento em carbono fixo respectivamente de, 64,11% e 25,04%.

Segundo Ramos *et al.* (2024), o carvão vegetal oriundo de madeira de eucalipto, conteúdo de carbono fixo variou entre 71,9% e 84,4% para densidade básica de madeira entre 330-600 kg/m³.

O bambu, por ser uma gramínea, possui menor teor de lignina e maior proporção de hemiceluloses em relação a madeiras duras como o eucalipto, e a lignina é o componente que mais contribui para o aumento do carbono fixo no carvão; assim,

sua menor presença reduz naturalmente o percentual de carbono remanescente após a pirólise.

Assim, a diferença nos valores encontrados é coerente e justificada pela maior lignificação, menor teor de minerais e maior densidade da madeira de eucalipto, fatores que favorecem a formação de carvão com carbono fixo mais elevado.

5.5 COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Na Tabela 1 são apresentadas as informações das espécies identificadas nos estudos analisados. Já a Tabela 2 consolida e organiza as propriedades físico-químicas analisadas de maneira comparativa, proporcionando uma visualização mais clara e dinâmica dos resultados.

Tabela 1 - Espécies de Bambu Utilizadas nos Estudos Analisados

Fonte	Espécie	Propriedade físico-química
FOELKEL (2008)	<i>Eucalyptus urophylla</i> <i>Eucalyptus grandis</i> <i>Eucalyptus deglupta</i> <i>Eucalyptus urophylla</i> <i>Eucalyptus urograndis</i> <i>Eucalyptus saligna</i>	DENSIDADE BÁSICA E CARACTERÍSTICAS GERAIS
AZZINI e CIARAMELLO (1971)	<i>Bambusa tuldoidea</i> <i>Dendrocalamus giganteus</i> <i>Guadua angustifolia</i> <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i> <i>Bambusa vulgaris</i>	DENSIDADE BÁSICA E CARACTERÍSTICAS GERAIS
PEREIRA et al. (2009)	<i>Eucalyptus</i> spp.	PODER CALORÍFICO
FANCHUN (1981)	<i>Bambusa vulgaris</i>	PODER CALORÍFICO
FERNANDES et al. (2015)	<i>Eucalyptus</i> spp.	ANÁLISES IMEDIATAS
ANDRADE et al. (2015) BARRICHELO e FOELKEL (1975) GOMIDE et al. (1981) MONTALVÃO FILHO et al. (1984) WAI e MURAKAMI (1982) FERNANDES et al. (2015)	<i>Bambusa vulgaris</i> <i>Bambusa vulgaris</i> <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>stricta</i> <i>Gigantochloa levis</i> <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i> <i>Dendrocalamus membranaceus</i> <i>Bambusa polymorpha</i>	ANÁLISES IMEDIATAS

TOMAZELLO FILHO, M. (1978),		
ANDRADE <i>et al.</i> (2015)	<i>Bambusa vulgaris Schrad</i>	CARBONO FIXO
RAMOS <i>et al.</i> (2024)	<i>Eucalyptus benthamii</i>	CARBONO FIXO

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 2 – Principais Propriedades das Espécies de Bambu e Eucalipto

Propriedade	Eucalipto	Bambu	Impacto energético
DENSIDADE BÁSICA (kg/m ³)	350 - 630	550 - 750	1º
PODER CALORÍFICO (kcal/kg)	4.400 - 4.800	4530 - 4543	2º
TEOR DE CINZAS (%)	0,22 - 0,40	2,4 - 9,7	3º
TEOR DE LIGNINA (%)	27,81 - 29,76	17,5	4º
CARBONO FÍXO (%)	71,9 - 84,4	64,11	5º

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

5.5.1 Impacto energético da variável

- **1º** - Maior densidade aumenta a energia por volume e favorece maior rendimento de carvão. O bambu transporta mais energia por m³, mas madeira densa gera carvão de melhor qualidade.
- **2º** - Valores semelhantes por massa. Diferenças pequenas. A eficiência depende mais da densidade e da química da biomassa.
- **3º** - Cinzas reduzem a fração combustível e diminuem o carbono fixo. Bambu perde eficiência energética e gera mais resíduos, prejudicando carbonização e combustão.
- **4º** - Lignina é o componente que mais contribui para carbono fixo e calor na pirólise. Eucalipto produz carvão mais rico em carbono e com maior estabilidade térmica.

- **5º** - Maior carbono fixo resulta em um maior poder calorífico do carvão. Carvão de eucalipto é energeticamente superior, dura mais na queima e atinge maiores temperaturas.

De modo geral, os resultados indicam que, embora o bambu apresente menor concentração de carbono fixo e lignina, suas características físicas e energéticas — especialmente densidade e poder calorífico — reforçam seu potencial como biomassa complementar ao eucalipto na produção de carvão vegetal e em aplicações energéticas sustentáveis. Sendo o ponto negativo, o alto teor de cinzas presente no carvão vegetal produzido a partir de espécies de bambu.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciaram variações na qualidade do carvão vegetal entre as espécies de bambu e eucalipto analisadas. Embora as espécies de bambu apresentarem teores relativamente elevados de cinzas — fator que pode limitar a eficiência energética —, o material apresentou boa correlação entre densidade e poder calorífico, resultados comparáveis aos obtidos para espécies de eucalipto, o que reforça seu potencial como biomassa energética.

Com base nas propriedades físico-químicas analisadas, conclui-se que o carvão vegetal produzido a partir dos colmos de bambu apresenta viabilidade técnica como alternativa parcial às biomassas convencionais, especialmente em aplicações onde o teor mais elevado de cinzas constitui um fator limitante. Em outros casos, como em comunidades com acesso restrito a combustíveis tradicionais ou em sistemas de uso doméstico, o carvão de bambu pode atuar de forma mais efetiva em relação ao carvão de madeiras, ampliando a disponibilidade energética local. Entretanto, em processos industriais sensíveis ao acúmulo de cinzas — como caldeiras de biomassa, sistemas de combustão contínua ou equipamentos suscetíveis a incrustações minerais — o carvão de bambu tende a ser menos adequado, reforçando a necessidade de avaliar sua aplicação complementar às biomassas de fontes como o de espécies de eucalipto.

O trabalho apresentou como principais limitações a heterogeneidade das espécies de bambu, a variação nos métodos utilizados pelos autores e a escassez de dados padronizados, fatores que dificultam comparações diretas entre os estudos analisados. Essas limitações, contudo, abrem importantes oportunidades para pesquisas futuras, especialmente voltadas à produção de carvão vegetal a partir de espécies de bambu e eucalipto, conduzidas sob condições experimentais uniformes de matéria-prima, mesmos parâmetros de carbonização e mesmas metodologias analíticas. A padronização permitiria comparações técnico-energéticas mais robustas, permitindo avaliar com maior precisão a viabilidade das duas biomassas para aplicações industriais.

Como principal contribuição, este trabalho apresentou formas de avaliação de alternativas sustentáveis para a matriz energética, oferecendo subsídios técnicos que podem apoiar a diversificação e o uso mais eficiente de recursos renováveis.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. K. B. et al. Productive potential of species *Bambusa vulgaris* Schrad. charcoal grown in Timon, MA. *Revista Verde*, Pombal, v. 10, n. 3, p. 29–33, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6922*: carvão vegetal – determinação da massa específica (densidade a granel). Rio de Janeiro: ABNT, 1981.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6923*: carvão vegetal – amostragem e preparação da amostra. Rio de Janeiro: ABNT, 1981.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 7402*: carvão vegetal – determinação granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 8112*: carvão vegetal – análise imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 8293*: carvão vegetal – determinação da umidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 8633*: carvão vegetal – determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
- AZZINI, A.; CIARAMELLO, D. Bambu como matéria-prima para papel: estudos sobre o emprego de cinco espécies de *Bambusa* na produção de celulose sulfato. *Bragantia*, Campinas, v. 30, n. 23, p. 305–320, 1971.
- BAMBI, G. et al. Measure of thermal transmittance of two different infill walls built with bamboo cultivated in Tuscany. *Agronomy Research*, v. 17, p. 923–934, 2019.
- BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. Deslignificação alcalina rápida para produção de celulose química de *Bambusa vulgaris* var. *vittata*. *IPEF*, Piracicaba, n. 11, p. 83–90, out. 1975.
- BASIO-ESPILOY, Z. Specific gravity, silica content and fiber measurement in Kanayan Tinik (*Bambusa blumeana*). *NSTA Technology Journal*, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 42–74, 1983.
- BATAUS, Y. S. de L. et al. *Carbonização integral de frutos de palmáceas*. Brasília: IBAMA; LPF, 1989. (Série Técnica, 2).
- BRAGA, R. N. B. et al. *Carvão vegetal*: produção, propriedades e aplicações na siderurgia. [S.l.]: ABM, 1992. 320 p.
- BRAND, M. A. et al. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na região serrana sul de Santa Catarina. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 39, n. 6, p. 1165–1173, 2015.
- BRITO, J. O. *Princípios de produção e utilização do carvão vegetal de madeira*. Piracicaba: ESALQ, 1990. (Documentos Florestais, 9).

CARBONARI, G. et al. Bambu: o aço vegetal. *Mix Sustentável*, v. 3, n. 1, p. 17–25, 2017.

CIARAMELLO, D.; AZZINI, A. Bambu como matéria-prima para papel: estudos sobre o emprego de *Bambusa vulgaris* Schrad., *Bambusa vulgaris* Schrad. var. *vittata* A. & C. Riv. e *Bambusa oldhamii* Munro na produção de celulose sulfato. *O Papel*, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 33–40, 1971.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D. Florestas energéticas no Brasil. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (org.). *Biomassa para energia*. 1. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2008. v. 1, p. 93–108.

DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. (org.). *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*. Rio de Janeiro: ICH, 2017. 655 p.

FANCHUN, Z. Combustion values of bamboos. In: HSIUNG, W. Y. *Bamboo research*. Nanjing: Nanjing Technological College of Forest Products, 1981. p. 99–105.

FERNANDES, L. A. et al. Young eucalyptus plantations: properties and challenges. *Eucalyptus.com.br*, 2015. Disponível em: <https://www.eucalyptus.com.br>. Acesso em: 10 out. 2025.

FOELKEL, C. *Pergunte ao Euca Expert*: pergunta nº 5 – densidade da madeira do eucalipto. [S.l.]: Eucalyptos online book & newsletter, 2008. Disponível em: <https://www.eucalyptus.com.br/index.html>. Acesso em: 10 out. 2025.

FONSECA, S. M. et al. *Manual prático de melhoramento genético do eucalipto*. 1. ed. Viçosa: UFV, 2010. 200 p.

GOMIDE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; COLODETTE, J. L. Influência da idade do *Bambusa vulgaris* nas suas características químicas e anatômicas visando a produção de polpa celulósica. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 14., 1981, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo, 1981.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). *Relatório anual 2017*. São Paulo, 2017. Disponível em: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf. Acesso em: 27 nov. 2025.

INDEXBOX. *Wood charcoal: world market overview 2024*. [S.l.]: IndexBox, 2024. Disponível em: <https://www.indexbox.io/blog/wood-charcoal-world-market-overview-2024-1/>. Acesso em: 4 out. 2025.

JUVILLAR, J. B. *O carvoejamento da madeira e seus reflexos na qualidade do carvão: qualidade da madeira*. Piracicaba: IPEF, 1979. (Circular Técnica, 64).

MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. de. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: *PRODUÇÃO e utilização de carvão vegetal*. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 74–89. (Série Técnica, 8).

MONTALVÃO FILHO, A.; GOMIDE, J. L.; CONDÉ, A. R. Variabilidade da constituição química e das características dimensionais das fibras de *Bambusa vulgaris*. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 8, n. 1, p. 12–27, jan./jun. 1984.

OLIVEIRA, J. A. M. *et al.* Níveis de contaminação por metais pesados na área de disposição de resíduos sólidos no município de Januária-MG. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v. 8, n. 1, 2019. Disponível em: <http://revistas.ifg.edu.br/tecnia/article/view/140>. Acesso em: 16 mar. 2025.

PALERMO, G. P. M. *et al.* Determinação da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. por atenuação de radiação gama comparada a métodos tradicionais. *Floresta e Ambiente*, v. 11, n. 1, p. 1–6, 2012.

PEREIRA, J. C. D. *et al.* *Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil*. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000. 113 p. (Documentos, 38).

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. *Bambu de corpo e alma*. 2. ed. Bauru: Canal 6, 2016.

QUIRINO, W. F. *et al.* Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. *Revista da Madeira*, v. 89, n. 100, p. 100–106, 2005.

RAMOS, M. A. *et al.* Avaliação do carvão vegetal de eucalipto para uso energético. *Ciência Florestal*, v. 34, n. 1, p. 189–205, 2024.

SINGH, S. R. *et al.* Micropropagation of *Dendrocalamus asper*. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, v. 21, n. 2, p. 220–228, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13562-011-0095-9>.

VASCONCELLOS, R. M. *Bambúes en Brasil: una visión histórica y perspectivas futuras*. [S.l.], [2025]. Disponível em: http://www.bambubrasileiro.com/arquivos/Bambues_en_Brasil.pdf. Acesso em: 15 out. 2025.

WAI, N. N.; MURAKAMI, K. Holopulp elements of Burmese bamboos in relation to their papermaking properties. *Bulletin of the Kyoto University*, Kyoto, n. 54, p. 236–242, 1982.

ZHANG, G. *et al.* Activated biomass carbon made from bamboo as electrode material for supercapacitors. *Materials Research Bulletin*, v. 102, p. 391–398, 2018.