



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Faculdade de Engenharia e Ciências
Câmpus de Rosana



THAIS ALESSANDRA DA SILVA

APROVEITAMENTO DE BIOMASSA AGROINDUSTRIAL E RESÍDUOS URBANOS
PARA DENSIFICAÇÃO ENERGÉTICA

Rosana

2025

THAIS ALESSANDRA DA SILVA

APROVEITAMENTO DE BIOMASSA AGROINDUSTRIAL E RESÍDUOS URBANOS
PARA DENSIFICAÇÃO ENERGÉTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Profa. Associada Andrea Cressoni de Conti.

D229a

Da Silva, Thais Alessandra

Aproveitamento de biomassa agroindustrial e resíduos urbanos para densificação energética / Thais Alessandra Da Silva. -- Rosana, 2025
35 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana

Orientadora: Andrea Cressoni De Conti

1. Energia de Biomassa. 2. Briquetes. 3. Cepa de Mandioca. 4. Resíduos Sólidos Urbanos. 5. Aproveitamento Energético. I. Título.

THAIS ALESSANDRA DA SILVA

APROVEITAMENTO DE BIOMASSA AGROINDUSTRIAL E RESÍDUOS URBANOS
PARA DENSIFICAÇÃO ENERGÉTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Rosana, 05/12/2025.

Componentes da Banca Examinadora:

Prof(a) Associada Andrea Cressoni De Conti
FEC/ UNESP – Campus de Rosana

Profa. Dra. Maria Claudia Costa de Oliveira Botan
FEC/ UNESP – Campus de Rosana

Prof. Dr. Iago William Zapelini
FEC/ UNESP – Campus de Rosana

Dedico este trabalho a todas as mulheres que, de alguma forma, me inspiraram e que seguem como exemplo de força e determinação ao longo da minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, irmãos, minha avó, meus primos e minha tia, pelo amor e, sobretudo, pelo apoio incondicional. Foram eles que me sustentaram nas incertezas, acreditaram em mim nos dias difíceis e celebraram comigo cada pequena conquista.

Aos meus amigos de Guarulhos, que mesmo com a distância, permaneceram sempre presentes. Obrigada por me lembrarem, em cada conversa e risada, que existe um lugar onde sempre posso voltar e me sentir em casa.

Aos amigos que a FEC me deu, obrigada por compartilharem comigo tantas experiências, risadas e idas ao Jaca. Foram vocês que tornaram a rotina mais leve e os dias mais felizes, deixando lembranças que levarei comigo com muito carinho. Em especial aos meus amigos de graduação da turma 021, a graduação não teria sido a mesma sem ter conhecido vocês no início dessa caminhada.

À minha orientadora, por toda a orientação, paciência e incentivo ao longo dessa caminhada. Desde o início, acreditou no meu potencial e me guiou com sabedoria e generosidade, contribuindo não apenas para este trabalho, mas também para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

E a todas as pessoas que, de alguma forma, fizeram parte dessa trajetória, meu sincero agradecimento. Cada gesto, palavra e apoio fizeram diferença e tornaram essa jornada ainda mais especial.

“Mas agora não tenho tanta certeza se acredito em começos e finais. Existem dias que definem a sua história além da própria vida.”

Louise Banks, A Chegada (2016)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a caracterização e o aproveitamento energético da cepa de mandioca e do Combustível Derivado de Resíduos (CDR) na produção de briquetes. Foram realizadas análises físicas, químicas e energéticas para determinar o Poder Calorífico Superior (PCS) e a durabilidade do combustível sólido obtido a partir da blenda composta por 50% de cepa de mandioca e 50% de CDR. A blenda apresentou alta durabilidade, atingindo 96,73%, além de manter sua integridade mesmo com a expansão volumétrica observada. Em relação ao PCS, foi possível notar um aumento expressivo nos valores, principalmente pela presença de derivados plásticos no CDR, o que evidencia a influência direta da composição do material. A combinação entre diferentes fontes de biomassa também contribuiu para esse aumento, mostrando a sinergia entre elas. Dessa forma, os resultados indicam que a produção de briquetes a partir dessa mistura representa uma alternativa viável e sustentável para a geração de energia térmica, reforçando o potencial do aproveitamento energético de resíduos e a importância da diversificação da matriz energética.

Palavras-chave: Biomassa. Briquete. Resíduos sólidos. Energia renovável.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the characterization and energy potential of cassava stem biomass and Refuse-Derived Fuel (RDF) in briquette production. Physical, chemical, and energetic analyses were conducted to determine the Higher Heating Value (HHV) and the durability of the solid fuel obtained from a blend composed of 50% cassava stem and 50% RDF. The blend demonstrated high durability, reaching 96.73%, and maintained its integrity despite the observed volumetric expansion. Regarding the HHV, a significant increase was observed, mainly due to the presence of plastic derivatives in the RDF, which highlights the direct influence of material composition. The combination of different biomass sources also contributed to this increase, demonstrating the synergistic effect between them. Therefore, the results indicate that producing briquettes from this mixture represents a viable and sustainable alternative for thermal energy generation, reinforcing the potential of energy recovery from waste and the importance of diversifying the energy matrix.

Keywords: Biomass. Briquette. Solid waste. Renewable energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Matérias-primas utilizadas para a formação do combustível sólido.....	21
Figura 2: Briquetes utilizando a cepa de mandioca.....	26
Figura 3: Briquete formado pelo RSU após a confecção.....	26
Figura 4: Combustível oriundo da blenda dos materiais.....	26
Gráfico 1: Expansão Volumétrica nas primeiras 96 horas.....	30
Figura 5: Expansão volumétrica do CDR.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição da análise elementar.....	22
Tabela 2: Massa específica dos materiais.....	24
Tabela 3: Análise Química Imediata.....	24
Tabela 4: Tratamentos adotados.....	25
Tabela 5: Durabilidade dos briquetes.....	27
Tabela 6: Densidades energéticas e aparentes.....	29
Tabela 7: Teor de umidade e Poder Calorífico Superior.....	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. Combustível sólido proveniente da biomassa.....	18
2.2. Matéria Prima.....	18
2.2.1. Cepa de mandioca.....	18
2.2.2. Resíduos sólidos urbanos.....	19
2.3. Propriedades dos briquetes.....	19
3. METODOLOGIA.....	21
3.1. Obtenção da matéria prima.....	21
3.2. Padronização das partículas e teor de umidade.....	21
3.3. Densidade a granel.....	21
3.4. Análise química imediata.....	21
3.5. Confeção dos combustíveis.....	22
3.6. Expansão Volumétrica.....	23
3.7. Poder calorífico superior.....	23
3.8. Densidade energética e aparente.....	24
3.9. Durabilidade.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
4.1. Massa Específica.....	26
4.2. Análise imediata.....	26
4.3. Confeção dos briquetes.....	27
4.4. Durabilidade.....	28
4.5. Expansão volumétrica.....	29
4.6. Densidade energética e a granel.....	31
4.7. Umidade e poder calorífico superior.....	31
5. CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

A evolução da tecnologia atualmente é caracterizada pelo controle cada vez maior sobre as formas de produção de energia. Desse modo, o acesso ao suprimento energético é essencial à existência humana na sociedade contemporânea. Assim sendo, a diversificação da matriz energética tem se tornado um caminho a ser seguido em virtude da busca pela substituição dos combustíveis tradicionais (Tôrres, 2014).

Dessa forma, diversificar a matriz energética em razão das eventualidades climáticas cada vez mais instáveis torna-se essencial. De modo que, tem ocorrido uma grande valorização da produção de biomassa como fonte de energia, visto seu papel como uma alternativa para minimizar a geração de resíduos e impactos ambientais (Silva *et. al.*, 2015).

A caracterização da biomassa desempenha um papel fundamental na busca por fontes de energia sustentável e na otimização dos processos de conversão de biomassa em energia. Portanto, compreender as propriedades físicas, químicas e energéticas da biomassa é crucial para a eficiência na produção dos biocombustíveis, como briquetes e pellets. A análise da biomassa permite determinar seu teor de umidade, sua análise química, poder calorífico e outras características essenciais. Essa caracterização não apenas contribui para o desenvolvimento de tecnologias mais eficazes de geração de energia a partir de biomassa, mas também desempenha um papel importante na mitigação das mudanças climáticas, na redução de resíduos e na promoção de práticas mais sustentáveis de aproveitamento de recursos naturais (Bilgili *et. al.*, 2016)

Briquetes são produtos compactados de resíduos agroflorestais ou de outra biomassa lignocelulósica, consolidados a partir da ação de temperaturas acima de 120 °C e pressão acima de 80 kgf cm⁻² para formar blocos de forma definida e de volume reduzido, facilitando principalmente o armazenamento, transporte e o uso da. O produto formado possui a finalidade de liberação de energia após a combustão, para processos industriais em fornos e caldeiras. Além disso, as indústrias agroflorestais, por exemplo a sucroalcooleira, alimentícia e madeireira, são importantes setores da economia que produzem resíduos com grande potencial de aproveitamento energético no Brasil, que podem ser convertidos em material com maior valor comercial e com maior conteúdo energético por unidade de volume (Souza *et. al.*, 2016). A produção de briquetes já é bastante conhecida no exterior, principalmente nos EUA e Europa, porém no Brasil, a prática ainda não é tão desenvolvida. Os briquetes

possuem aplicações em diversos setores que necessitam de combustível calorífico para produção.

Desse modo, a biomassa é toda matéria vegetal ou animal capaz de produzir energia. Todavia, a biomassa possui diversas fontes de matéria-prima, mas a que pode ser considerada mais sustentável é a energia gerada a partir dos rejeitos industriais e urbanos, proporcionando uma destinação adequada para o lixo urbano e os esgotos, que são uns dos principais problemas ambientais contemporâneos das grandes metrópoles. Outrossim, a biomassa é classificada de acordo com a sua origem, podendo ser florestal; agrícola; rejeitos urbanos e industriais (Divino, 2020).

Estima-se que são gerados 1,3 Bilhões de toneladas/ano de resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo que a quantidade gerada de lixo, apresenta em sua composição e tratamentos variam localmente diante do nível de renda, nível de educação, padrão de consumo, etc. Esses resíduos são definidos como materiais resultantes de alguma atividade civil, como industrial, doméstica, hospitalar ou comercial em. Os RSU são constituídos de grande variedade de componentes orgânicos e inorgânicos, que podem possuir uma energia armazenada e que pode ser recuperada através das tecnologias que incluam produção de calor, eletricidade e a produção de Combustível Derivado de Resíduos (CDR), sendo que uma das formas de comercialização desse CDR é através da briquetagem ou peletização.

A fim de minimizar impactos ambientais relacionados à grande geração e má destinação de resíduos sólidos urbanos e agroindustriais, deve ser levado em consideração a busca por novos meios de tratamento, disposição e o aproveitamento dos resíduos para agregar valor às cadeias produtivas (Oshiro, 2016).

Em virtude disso, considerando o tempo de degradação de determinados RSU, utilizá-los como principal elemento para a geração de energia torna-se uma boa alternativa para minimizar os impactos socioambientais, uma vez que, muitos materiais apresentam um alto ciclo de vida. Portanto, a inclusão de CDR juntamente com a cepa de mandioca com o intuito de utilizar-se a sua blenda como matéria-prima para a geração de energia acaba sendo uma opção muito atrativa. Contudo, para que isso seja desenvolvido, torna-se necessário o gerenciamento de uma coleta seletiva desses resíduos (Abreu, 2019).

A importância do aproveitamento energético da biomassa aplicando processos de conversão, agrega valor ao meio ambiente, melhora a produtividade de energia, reduz a dependência de combustíveis fósseis e contribui para o desenvolvimento de bioenergia limpa e renovável. Pretende-se, nesse trabalho, avaliar briquetes confeccionados com blendas composta de CDR e biomassa de cepa de mandioca, a fim de verificar o potencial energético

dessa blenda e também a formação dos briquetes de forma a oferecer à sociedade um novo combustível sólido (Silva, 2017).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Combustível sólido proveniente da biomassa

Considerando a utilização de combustíveis sólidos oriundos da biomassa, os quais representam uma alternativa renovável devido à sua ampla disponibilidade, além de grande potencial de reduzir impactos ambientais associados ao uso de combustíveis fósseis, esses combustíveis, também conhecidos como briquetes, são produzidos pela compactação de resíduos lignocelulósicos, resultando em um material homogêneo, de maior densidade e com melhor eficiência de combustão quando comparado ao resíduo in natura. Nesse sentido, a compactação rompe a elasticidade natural das fibras e permite maior concentração energética por unidade de volume, otimizando transporte, armazenamento e aplicação térmica (Ribaski *et al.*, 2023; Paiva, 2022).

A biomassa utilizada no processo de briquetagem pode advir de resíduos florestais, agrícolas, agroindustriais e urbanos. Dessa maneira, tal versatilidade amplia o seu potencial de utilização, permitindo o aproveitamento energético de materiais que, de outra forma, seriam descartados. Estudos recentes indicam que esses resíduos apresentam composição variável, mas podem gerar briquetes com desempenho adequado mediante o controle de umidade e granulometria (Ribaski *et al.*, 2023).

Além disso, os resíduos agroindustriais representam fontes relevantes na produção de briquetes, pois evitam o desperdício e viabilizam a autossuficiência energética e econômica das indústrias (Paiva, 2022).

2.2. Matéria Prima

2.2.1. Cepa de mandioca

A mandioca é um cultivo amplamente utilizado no Brasil e seu processamento gera diferentes subprodutos, incluindo cascas, fibras e bagaço, que podem apresentar elevado potencial poluente. Assim, a quantidade e características desses resíduos variam de acordo com diversos fatores. Embora esses materiais sejam usualmente destinados a finalidades agrícolas, o descarte inadequado ainda representa impactos ambientais significativos (Petricoski, 2017).

Nesse contexto, a raiz da mandioca, quando transformada em farinha ou amido, acaba gerando centenas de quilogramas de resíduos por tonelada processada. Esse material é essencialmente lignocelulósico, apresentando potencial para aproveitamento energético. Além

disso, resíduos como a cepa ou rizoma apresentam baixa densidade energética e elevado teor de umidade, o que limita seu aproveitamento direto como combustível (Petricoski, 2017).

Portanto, entre as atuais tecnologias, a densificação desses materiais se destaca por aumentar a densidade aparente da biomassa por meio da remoção de vazios entre as partículas. Esse processo é de natureza física, não alterando a composição química do material. Ademais, estudos recentes revelam que misturas contendo diferentes resíduos agrícolas, incluindo material proveniente de mandioca, demonstram densidades energéticas entre 19,7 e 22,9 MJ/m³ e durabilidades superiores a 96%, parâmetros considerados adequados para a finalidade energética (Granado *et al.*, 2023).

2.2.2. Resíduos sólidos urbanos

A utilização de resíduos sólidos urbanos como matéria-prima para biocombustíveis sólidos tem avançado como alternativa em razão das políticas de valorização energética. Nesse sentido, diversos estudos analisaram a viabilidade técnica da produção de briquetes com diferentes proporções de resíduos urbanos. Entretanto, ainda é necessário avaliar a questão das emissões atmosféricas durante sua combustão (Gonçalves *et al.*, 2009).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei n.º 12.305/2010, estabelece diretrizes para a recuperação energética desde que atendidos requisitos técnicos e ambientais. Nesse panorama, estudos indicam que misturas com 5% e 10% de RSU apresentaram compactação insuficiente (Souza, 2014).

Consequentemente, tais resultados evidenciam que os resíduos sólidos urbanos podem ser incorporados à produção de briquetes e pellets desde que utilizados em proporções que assegurem desempenho e características energéticas adequadas. Assim, o aproveitamento energético dos RSU configura uma estratégia complementar ao gerenciamento sustentável de resíduos (Souza, 2014).

2.3. Propriedades dos briquetes

A qualidade final do briquete depende diretamente das propriedades físico-químicas da biomassa. Dessa forma, a caracterização da matéria-prima torna-se etapa indispensável para determinar sua viabilidade energética. Parâmetros como densidade, teor de umidade, granulometria, teor de cinzas, fração volátil, carbono fixo, expansão longitudinal, durabilidade e resistência à compressão influenciam tanto o processo de compactação quanto o desempenho do briquete na queima (Amaral *et al.*, 2015). A análise desses parâmetros

permite compreender como diferentes matérias-primas se comportam quando compactadas e quais ajustes são necessários no processo para garantir um combustível eficiente.

Conforme Fernandez *et al.* (2017), as propriedades físicas e mecânicas da biomassa influenciam diretamente na qualidade final dos briquetes, afetando parâmetros de eficiência energética, resistência e combustão. Considerando que a densidade é uma propriedade fundamental, associada ao grau de compactação das partículas dentro do briquete, diversos autores apontam que briquetes mais densos apresentam maior coesão interna, resultando em melhor resistência mecânica e menor tendência à degradação durante o transporte e armazenamento.

Além disso, o teor de umidade da biomassa é outro aspecto essencial. Assim, níveis elevados de umidade reduzem a eficiência da combustão, uma vez que parte da energia liberada é consumida na evaporação da água presente no material. Portanto, a secagem adequada da biomassa é fundamental para garantir briquetes com maior rendimento energético. Outro fator relevante é a granulometria das partículas, pois partículas mais finas favorecem uma compactação mais uniforme, contribuindo para a estabilidade e resistência do briquete (Fernandez *et al.*, 2015).

3. METODOLOGIA

3.1. Obtenção da matéria prima

Em um primeiro momento, realizou-se a coleta das matérias-primas. A cepa de mandioca, utilizada para a produção dos briquetes, foi obtida no assentamento Porto Maria, localizado no município de Rosana. Os resíduos sólidos urbanos (RSU) foram coletados através das doações dos materiais de discentes e docentes da FEC-UNESP.

3.2. Padronização das partículas e teor de umidade

Se tratando da cepa de mandioca, tendo em vista a padronização das partículas, necessitou-se de um pré-tratamento do material, onde moeu-se em um moinho de facas modelo MA1680, da marca MARCONI. Posteriormente, o material foi peneirado em um agitador de peneiras de batida intermitente, modelo MA750 da marca MARCONI, o qual houve a separação das partículas de 30 mesh. No entanto, devido à natureza variada dos materiais envolvidos no CDR, não foi possível atingir uma padronização das partículas. O teor de umidade dos materiais utilizados na densificação, foram mensurados através da balança determinadora de umidade OHAUS MB25.

3.3. Densidade a granel

A densidade a granel é responsável por descrever a quantidade de massa de um material por unidade de volume. Em vista disso, o material foi inserido em uma proveta de 100 ml e pesado na balança semi-analítica (Marte AD500). O cálculo utilizado para a determinação dessa densidade é expresso na Equação 1.

$$D_g = \frac{m_i}{v_i} \quad (1)$$

Onde, D_g = densidade a granel; m_i = massa da amostra (g); v_i = volume da proveta.

3.4. Análise química imediata

Para a análise química imediata, utilizou-se a norma NBR 8112/86, a qual discorre sobre o processo da formação do carvão vegetal. No entanto, ainda não existe uma norma nacional determinada para o teste da análise imediata de resíduos vegetais. Vale ressaltar que a partir desse processo, obtém-se o teor de cinzas geradas na queima do combustível, de forma que, quanto menor o percentual apresentado, mais eficiente será o combustível, dessa

forma, usou-se as normas ASTM 1765 e NBR 8112/86. A Equação 2 para quantificar o valor da massa final é elucidada pela seguinte equação:

$$CZ = \frac{m_1 - m_0}{m} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde: CZ = teor de cinza (%); m_0 = massa do cadinho (g); m_1 = massa do cadinho + amostra do resíduo (g); m = massa da amostra (g).

O teor de voláteis é definido como a parte da biomassa que evapora através do aquecimento. Para esse teste, utilizou-se a norma ABNT NBR 8112/86. A Equação 3 que se utilizou nessa etapa é determinada a seguir:

$$TV = \frac{m_2 - m_3}{m} \cdot 100 \quad (3)$$

Onde: TV = teor de voláteis (%); m_2 = massa do cadinho (g); m_3 = massa do cadinho + amostra do resíduo (g); m = massa da amostra (g).

O teor de carbono fixo, é definido como o valor restante da massa após a liberação dos compostos voláteis, o qual é encontrado a partir da retirada dos valores das cinzas e teores de umidade. A Equação 4 utilizada para o teor de carbono é definida pela NBR 8112/86.

$$CF = 100 - (CV + TV) \quad (4)$$

Onde, CF = teor de carbono fixo (%); CZ = teor de cinzas (%); TV = teor de voláteis (%).

3.5. Confeção dos combustíveis

Na confecção dos briquetes, fez-se uso de uma briquetadeira elétrica (indicar o modelo específico). Tanto os biocombustíveis provenientes da cepa de mandioca como os resíduos sólidos urbanos (RSU) foram sujeitos a diferentes tratamentos, com o propósito de averiguar suas diversas características de densificação. Estes tratamentos abrangeram variações no tempo de prensagem, compreendendo períodos de 1 minuto e 5 minutos, e sob variação de temperatura até 110 graus Celsius. No entanto, para os briquetes formados a partir da blenda dos materiais, aplicou-se um tempo de prensagem de 3 minutos a uma temperatura de 60 graus Celsius.

Figura 1: Matérias-primas utilizadas para a formação do combustível sólido.



Fonte: Produção da autora.

3.6. Expansão Volumétrica

Após essa etapa, mensurou-se a massa de cada briquete, com o intuito de estabelecer a diferença da massa antes e depois da confecção. Para definir a expansão volumétrica, mediu-se a altura e largura dos briquetes, utilizando-se um paquímetro digital, repetiu-se esse processo ao longo de 1 h, 3 h, 5 h, 7 h, 24 h, 48 h e 72 h após a confecção. Dessa forma, com as medidas de altura e largura, calculou-se o volume dos combustíveis, considerando o seu formato cilíndrico.

3.7. Poder calorífico superior

Se tratando do poder calorífico superior (PCS), ele é definido como a quantidade de calor liberada através da queima do combustível (Pires, 2017). No entanto, devido à dificuldade de padronização do CDR, não foi possível realizar o teste para as amostras da Blenda e do CDR. Dessa forma, para estimar o poder calorífico dos Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) é necessário que se tenha a análise elementar e imediata do material (Kami, 2019).

Dessa forma, a análise elementar é responsável por determinar as frações dos elementos constituintes, incluindo carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N), oxigênio (O₂) e enxofre (S). Paralelamente, a análise imediata visa determinar o teor de umidade (W), teor de cinzas (Cz), material volátil (MV) e carbono fixo (CF). Esses parâmetros são cruciais para compreender a composição química e as propriedades dos CDR, proporcionando uma base sólida para a estimativa do seu poder calorífico. Com base nisso, adotou-se como referencial os valores adotados por Divino (2020).

Tabela 1: Distribuição da análise elementar.

Material	Autor	Análise elementar				
		C	H	O	N	S
PET	1	62,10	4,21	33,69	0	0
	2	62,93	4,26	32,81	0	0
	3	63,94	4,52	31,49	0	0
PP	1	85,61	14,38	0	0	0
	2	85,71	14,29	0	0	0
	3	86,88	12,50	0,32	0,28	0,03
Alumínio	4	62	8	23	0	0
PS	5	91,16	8,02	0	0,1	0,72
Papel / Papelão	4	0,434	0,058	0,443	0,003	0,002

Fonte: Divino (2020)

Com base nos valores apontados por Divino (2020), foi possível determinar as frações constituintes de cada elemento presente no CDR. Essa informação sobre a proporção de elementos é fundamental para calcular o Poder Calorífico Superior (PCS), tornando-a essencial no processo de avaliação do potencial energético dos Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR).

De acordo com Kami (2019), os resultados obtidos por meio do modelo de Dulong Modificado demonstram uma proximidade notável com os dados de ensaios experimentais, além de representar uma abordagem econômica e rápida para a estimativa do poder calorífico dos Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR), visto que a determinação da composição gravimétrica pode apresentar incertezas devido à heterogeneidade dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

Desse modo, a abordagem da equação modificada por Lloyd e Davenport torna possível a obtenção dos valores de PCS. Os valores referentes ao carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N), oxigênio (O₂) e enxofre (S) foram retirados de Divino (2020). O teor de umidade foi obtido através da balança da determinadora de umidade OHAUS MB25.

$$PCS [kcal/kg] = (1 - W) [8546 * C + 27126 * H - 2018 * O + 1419 * N + 2672 * S] \quad (6)$$

3.8. Densidade energética e aparente

Pode-se definir a densidade energética como sendo a propriedade responsável por relacionar as condições de umidade e calor do combustível (Oliveira, 2017), sendo calculada através do produto entre o PCS e a densidade aparente do briquete. A densidade aparente foi obtida através da razão entre o valor final das massas dos briquetes e o seu volume.

3.9. Durabilidade

Por fim, realizou-se o teste de durabilidade dos briquetes, utilizando a norma CEN/TS 1510-2/2005. Esse teste consiste em submeter os combustíveis a um tambor rotativo a fim de averiguar a diferença entre a massa inicial e final dos briquetes. O tambor rotativo foi calibrado para 80 rpm em um período de 5 minutos.

$$DU = \frac{m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (7)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Massa Específica

Conforme a NBR 6922, a massa específica desejável é de 0,45 g/cm³. Esse fator é fundamental para a caracterização das propriedades físicas do material utilizado como combustível, pois desempenha um papel significativo na avaliação de seu potencial energético. Conforme exposto na Tabela 2, nota-se que a cepa de mandioca não atendeu a esse critério, mesmo após a realização de três testes para cada amostra, reforçando a consistência dos resultados obtidos.

Tabela 2: Massa específica dos materiais.

Tratamento	Massa específica (g/cm ³)
Cepa de mandioca	0,3431 ± 0,40 a
RSU	0,1871 ± 0,78 b
Blenda	0,1941 ± 0,36 a

*Médias seguidas pela mesma letra indicam semelhança estatística no teste de Tukey a um nível de 95% de confiança.

Fonte: Produção da autora.

4.2. Análise imediata

A Tabela 3 expressa os valores encontrados referentes à análise química imediata da cepa de mandioca, RSU e a blenda contendo 50% de cada material.

Tabela 3: Análise Química Imediata.

Material	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas(%)	Teor de carbono fixo(%)
Cepa de mandioca	73,14 ± 0,3 9a	10,26 ± 0,65 a	16,61 ± 0,29 a
RSU	88,53 ± 0,54 b	6,13 ± 0,28 a	5,34 ± 0,25 a
Blenda	79,93 ± 0,54 c	9,63 ± 0,54 b	10,44 ± 0,84 b

*Médias seguidas pela mesma letra indicam semelhança estatística no teste de Tukey a um nível de 95% de confiança.

Fonte: Produção da autora.

Segundo Paula *et al.* (2011) a análise do teor de cinzas nos combustíveis de biomassa é imprescindível na avaliação energética desses materiais, uma vez que altos teores de cinza contribuem para a redução do poder calorífico, visto que os materiais minerais não participam do processo de combustão. Com base nisso, nota-se que tanto o combustível oriundo de RSU quanto a Blenda apresentaram um baixo teor de cinzas.

Se tratando do teor de voláteis, ele é definido como a parcela da biomassa que evapora em virtude do aquecimento, quanto maior o teor de voláteis, maior será a reatividade do combustível. De acordo com Oliveira (2013) o teor de voláteis classificado como aceitável, varia de 75% a 85%. No entanto, nota-se que apenas a cepa de mandioca apresentou um resultado inferior ao adotado como referencial.

Em relação ao teor de carbono fixo, observou-se que todos os materiais apresentaram um teor relativamente baixo. Esse resultado pode ser atribuído ao processo de preparação da cepa de mandioca e do CDR, o qual consistiu apenas na peneiração do material, não eliminando suas impurezas. Vale ressaltar que, um maior teor de carbono fixo em um material implica em uma maior capacidade de liberação de energia (Chaves *et al.*, 2013).

4.3. Confecção dos briquetes

Conforme proposto no projeto, realizaram-se tratamentos distintos aos materiais para averiguar o seu comportamento durante a densificação energética. A tabela a seguir elucida as condições adotadas para cada tratamento de confecção dos briquetes. Para o RSU, também se adotaram as mesmas condições de tratamento para a confecção dos briquetes, porém sem a adoção de uma granulometria específica:

Tabela 4: Tratamentos adotados.

Material	Granulometria	Tempo de Prensagem	Temperatura
Cepa 1	40 mesh	1 minuto	0 °C
Cepa 2	40 mesh	5 minutos	0 °C
Cepa 3	40 mesh	1 minuto	120 °C
Cepa 4	40 mesh	5 minutos	120 °C
Cepa 5	20 mesh	1 minuto	0 °C
Cepa 6	20 mesh	5 minutos	0 °C
Cepa 7	20 mesh	1 minuto	120 °C
Cepa 8	20 mesh	5 minutos	120 °C
RSU 1	-	1 minuto	0 °C
RSU 2	-	5 minutos	0 °C
Blenda	-	3 minutos	60 °C

Fonte: Produção da autora.

Além disso, para os briquetes contendo a blenda de 50% de cepa de mandioca e 50% de RSU, adotou a granulometria de 30 mesh para a cepa.

Figura 2: Briquetes utilizando a cepa de mandioca.



Fonte: Produção da autora.

No entanto, devido à complexidade de tratar o RSU e às dificuldades encontradas durante o processo, observou-se que os briquetes de CDR produzidos a 120 °C não suportaram a densificação energética. Em função disso, optou-se por prosseguir apenas com a variação do tempo de prensagem, já que o material não apresentou compactação adequada quando submetido à variação de temperatura.

Figura 3: Briquete formado pelo RSU após a confecção.



Fonte: Produção da autora.

Os combustíveis oriundos da blenda dos materiais foram submetidos a um único procedimento, onde utilizou-se 3 minutos de prensagem sobre uma temperatura de 60 °C.

Figura 4: Combustível oriundo da blenda dos materiais.



Fonte: Produção da autora.

4.4. Durabilidade

O teste de friabilidade é responsável por averiguar o grau de esfarelamento de um combustível sólido, simulando a ação do atrito e possíveis acidentes estruturais (Nakashima *et al*, 2017).

Tabela 5: Durabilidade dos briquetes.

Tratamento	Durabilidade
Cepa I	93,9410 ± 5,86% b
Cepa II	94,0601 ± 7,69% b
Cepa III	98,3507 ± 1,55% a
Cepa IV	99,6623 ± 0,11% a
Cepa V	89,6261 ± 12,28% ab
Cepa VI	97,2492 ± 0,25% b
Cepa VII	99,4535 ± 0,50% b
Cepa VIII	99,8392 ± 0,56% b
Blenda	96,7344 ± 0,59% ab
CDR I	44,8883 ± 2,62% a
CDR II	66,0294 ± 0,79% b

*Médias seguidas pela mesma letra indicam semelhança estatística no teste de Tukey a um nível de 95% de confiança.

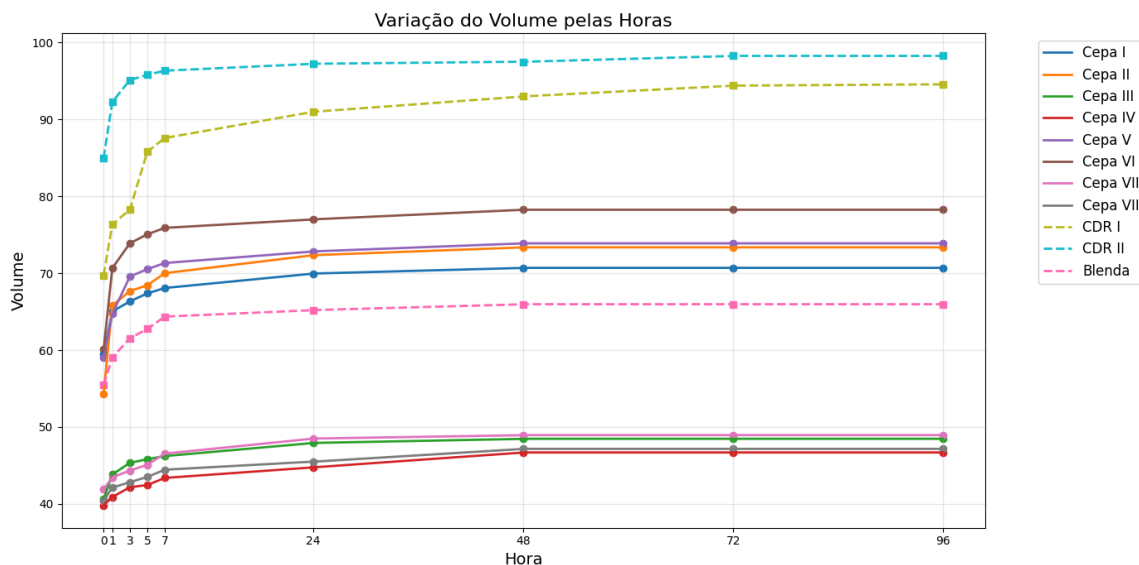
Fonte: Produção da autora.

Segundo Ndumbo *et. al.* (2022), a durabilidade ideal é superior a 80%, desse modo, nota-se que a cepa de mandioca apresentou a maior durabilidade referente aos demais materiais utilizados na confecção dos combustíveis. De modo que, os combustíveis confeccionados a uma temperatura de 120° apresentaram a maior durabilidade. No entanto, os combustíveis oriundos de CDR apresentaram uma baixa durabilidade. Tendo em vista que, o transporte dos briquetes, é desejável que eles apresentem uma boa durabilidade, já que os combustíveis devem ser armazenados e transportados (Gentil, 2008).

4.5. Expansão volumétrica

Se tratando da expansão volumétrica, a variação volumétrica foi calculada em porcentagem para cada material e variação, resultando nos seguintes valores: 18,85% para Cepa I, 34,99% para Cepa II, 19,39% para Cepa III, 17,26% para Cepa IV, 25,11% para Cepa V, 30,28% para Cepa VI, 16,85% para Cepa VII, 16,66% para Cepa VIII, 33,36% para CDR I e 14,73% para CDR II. Além disso, a blenda apresentou uma variação volumétrica de 18,91%.

De acordo com Chrisostomo (2011), um alto percentual de variação volumétrica pode estar associado a uma má compactação entre as partículas do material durante a prensagem.

Gráfico 1: Expansão Volumétrica nas primeiras 96 horas.

Fonte: Produção da autora.

Durante a expansão volumétrica do CDR, observou-se uma significativa perda de massa ao longo desse processo. Em contrapartida, a blenda de materiais não apresentou a mesma perda de massa, indicando que a presença de ligantes na mistura pode ter contribuído para uma melhor compactação e menor expansão volumétrica.

Figura 5: Expansão volumétrica do CDR.

Fonte: Produção da autora.

4.6. Densidade energética e a granel

A densidade aparente dos resíduos agroindustriais, de acordo com Souza *et al.* (2016), pode variar entre 870 kg/m³ e 950 kg/m³, enquanto para o Resíduo Sólido Urbano (RSU), a densidade usual costuma ser de 230 kg/m³. Surpreendentemente, os briquetes de cepa

confeccionados a 120°C apresentaram uma densidade aparente superior, o que destaca a importância desse parâmetro na definição das condições ideais para o transporte e armazenamento dos combustíveis.

No que se refere à densidade energética, Souza *et al.* (2016) afirmam que a comparação entre diferentes biomassas pode variar devido às características do processo de densificação dos briquetes, que dependem do delineamento experimental adotado. No entanto, os valores obtidos pelos autores para resíduos variaram de 3,11 Gcal a 4,65 Gcal. Se tratando da cepa de mandioca, é evidente que as análises realizadas não atingiram os valores pré-definidos, uma vez que os briquetes confeccionados apresentaram uma densidade energética superior.

Tabela 6: Densidades energéticas e aparentes.

Tratamento	Densidade Aparente (kg m⁻³)	Densidade Energética (Mcal m⁻³)
Cepa I	765,66	11915,27
Cepa II	765,66	11880,33
Cepa III	1114,92	17350,41
Cepa IV	1186,81	18469,18
Cepa V	812,38	12642,29
Cepa VI	693,05	10785,18
Cepa VII	1115,06	17352,61
Cepa VIII	1157,67	18015,61
CDR I	351,65	15874,94
CDR II	329,56	14877,95
Blenda	792,96	24068,82

Fonte: Produção da autora.

4.7. Umidade e poder calorífico superior

No que se refere à densidade energética, Souza *et al.* (2016) afirmam que a comparação entre diferentes biomassas pode variar devido às características do processo de densificação dos briquetes, que dependem do delineamento experimental adotado. No entanto, os valores obtidos pelos autores para resíduos variaram de 3,11 Gcal a 4,65 Gcal. Se tratando da cepa de mandioca, é evidente que as análises realizadas não atingiram os valores pré-definidos, uma vez que os briquetes confeccionados apresentaram uma densidade energética superior.

O fator que tem maior influência sobre o poder calorífico é a umidade, pois essa influencia negativamente na quantidade de calor liberado durante a queima (Nalevaiko et. al., 2021). Sendo assim, com base em Oliveira (2013) todas as análises apresentaram um teor de umidade favorável para realizar a densificação energética.

Tabela 7: Teor de umidade e Poder Calorífico Superior.

Material	Teor de Umidade (%)	PCS (MJ/kg)
Cepa de mandioca	9,06	15,5620
RSU	7,32	45,1445
Blenda	10,02	30,3533

Fonte: Produção da autora.

Se tratando do PCS da cepa de mandioca, conforme Alves (2014), os valores registrados variaram entre 16 e 19 MJ/kg, o que a classifica como uma boa fonte de energia. No entanto, em termos de valor, a amostra da cepa de mandioca não atingiu um desempenho satisfatório.

De acordo com Sampaio (2014), o Poder Calorífico Superior (PCS) variou de 15 a 17 MJ/kg. No entanto, é importante notar que o Combustível Derivado de Resíduos (CDR) utilizado no estudo continha uma quantidade significativa de derivados do plástico, o que resultou em um considerável aumento no poder calorífico. No caso da blenda, observou-se que a combinação dos dois materiais proporcionou um aumento significativo no PCS.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, foi possível avaliar de forma consistente a caracterização físico-química da cepa de mandioca, dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e da blenda contendo 50% de cada material, bem como o comportamento desses materiais durante o processo de densificação energética. Observou-se que a massa específica da cepa de mandioca ($0,3431 \pm 0,40 \text{ g/cm}^3$) não atendeu ao critério recomendado pela NBR 6922. No entanto, quando submetida a diferentes condições de temperatura e tempo de prensagem, apresentou comportamento físico satisfatório, especialmente nos tratamentos realizados a 120 °C.

Em termos de durabilidade, a cepa de mandioca se destacou entre os materiais avaliados, alcançando valores superiores ao limite mínimo de 80% estabelecido na literatura, chegando a 99,83% no melhor tratamento (Cepa VIII). A blenda também apresentou elevado desempenho (96,173%). Em contraste, os briquetes de RSU apresentaram baixa integridade estrutural, refletindo reduzida compactação.

Quanto à expansão volumétrica, verificou-se que os briquetes de RSU apresentaram elevada variação (33,36%), acompanhada de perda de massa, enquanto a blenda manteve estabilidade dimensional (18,91%), indicando que a presença de componentes orgânicos atuou como agente ligante natural.

A análise imediata evidenciou baixos teores de cinzas para RSU ($6,13 \pm 0,28\%$) e blenda ($9,63 \pm 0,54\%$), aspecto desejável para fins energéticos, e teores de voláteis adequados para a maioria dos materiais, com exceção da cepa ($73,14 \pm 0,30$). Os valores de carbono fixo foram relativamente baixos, devido à ausência de tratamentos de purificação, embora isso não tenha comprometido o desempenho energético da blenda.

Em relação à densidade energética, os briquetes de cepa atingiram valores superiores aos relatados na literatura, especialmente nos tratamentos a 120 °C. A blenda apresentou a maior densidade energética entre todos os materiais, alcançando 24.068,82 Mcal/m³, evidenciando forte potencial energético.

Quanto ao Poder Calorífico Superior (PCS), os materiais contendo RSU apresentaram os maiores valores (45,14 MJ/kg), devido à presença de frações plásticas, o que elevou significativamente o desempenho energético final. Embora o PCS da cepa (15,56 MJ/kg) isolada tenha ficado abaixo dos valores de referência, a blenda demonstrou aumento substancial (30,35 MJ/kg), resultado direto da combinação entre as duas matrizes.

Diante disso, conclui-se que a blenda composta por 50% de cepa de mandioca e 50% de RSU se apresenta como uma alternativa tecnicamente viável e energeticamente eficiente para fins de geração de energia térmica, conciliando boa durabilidade, estabilidade dimensional, comportamento adequado durante a densificação e elevado potencial energético. Assim, o estudo confirma a aplicabilidade dessa mistura como biocombustível sólido, contribuindo para o aproveitamento sustentável de resíduos agroindustriais e urbanos.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, P. M. *et al.* Caracterização química, física e mecânica de briquetes de duas variedades de bambu. *Revista do Instituto Florestal*, v. 27, n. 1, p. 73–81, jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.4322/rif.2015.006>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6922: Carvão vegetal – Ensaio físico de determinação da massa específica (densidade a granel)*. Rio de Janeiro, 1981.
- BILGILI, F. *et al.* Can biomass energy be an efficient policy tool for sustainable development? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 71, p. 830–845, 2016.
- CAVALCANTI, I. L. R. *Produção e avaliação energética de briquetes a partir do resíduo da poda de espécies arbóreas de João Pessoa*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.
- CHAVES, A. M. *et al.* Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 17, p. 533, 2013. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/>. Acesso em: 10 out. 2025.
- CHRISOSTOMO, W. *Estudo da compactação de resíduos lignocelulósicos para utilização como combustível sólido*. Dissertação (Mestrado em Materiais Funcionais e Polímeros de Fontes Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/1164>. Acesso em 29 set. 2025..
- DIVINO, N. C. C. *Avaliação do potencial de rejeitos das associações de catadores como combustível derivado de resíduo - CDR*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/204660>. Acesso em: 29 set. 2025.
- FELFLI, F. F. *et al.* Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, n. 1, p. 236–242, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.08.010>.
- FERNANDEZ, B. O. *et al.* Características mecânicas e energéticas de briquetes produzidos a partir de diferentes tipos de biomassa. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 1, p. 29–38, 2017.
- GENTIL, L. V. B. *Tecnologia e economia do briquete de madeira*. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/4499>. Acesso em: 25 set. 2025.
- GONÇALVES, M. *et al.* Viabilidade da produção de briquetes de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 5, p. 657–661, 2009.

GRANADO, M. P. P. *et al.* Effect of torrefaction on the properties of briquettes produced from agricultural waste. *Bioresource Technology Reports*, v. 21, p. 101340, 2023.

KAMI, E. C. A. *Análise termoeconômica de sistema híbrido solar térmico integrado à unidade de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

NAKASHIMA, G. T. *et al.* Briquetes produzidos a partir de resíduos provenientes do aterro de resíduos inertes da cidade de Sorocaba. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.7, n.2, p. 231–243, 2017.

NALEVAIKO, J. Z. *et al.* Utilização de subprodutos agroindustriais na produção de briquetes. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 15, n. 1, p. 1–26, 2021.

NDUMBO, M. *et al.* Biomass biorefinery for biopolymers isolation, fermentable sugars, and briquettes production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 14, n. 1, p. 1139–1149, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03250-1>.

OLIVEIRA, R. S. *Produção de briquetes a partir do lodo de esgoto sanitário e finos de carvão vegetal para geração de energia por combustão*. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2017.

OSHIRO, T. L. *Produção e caracterização de briquetes produzidos com resíduos lignocelulósicos*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/>. Acesso em: 15 set. 2025.

PAIVA, M. V. *Tecnologia de produção de briquetes de resíduos de fruta para geração de energia*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, 2022.

PAULA, L. E. R. *et al.* Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. *Cerne*, v. 17, p. 237–246, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/>. Acesso em: 10 out. 2025.

PETRICOSKI, S. M. *Briquetes produzidos com mistura de podas urbanas, glicerina e resíduos de processamento de mandioca*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

POLI, D. C. R. *et al.* Uma avaliação das metodologias para determinação do poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, v. 8, n. 8, p. 09–31, 2013.

QUIRINO, W. F. *et al.* *Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal*. Brasília: Secretaria do Meio Ambiente, 1991.

RIBASKI, N. G. *et al.* Manufacture of briquettes with urban pruning residues: fabricação de briquetes com resíduos de poda urbana. *Mix Sustentável*, v. 9, n. 5, p. 41–50, out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.41-50>.

SAMPAIO, R. P. *Estudo de caso dos possíveis efeitos deletérios causados pelo combustível derivado de resíduo (CDR) em caldeiras voltadas à produção de energia elétrica queimando*

principalmente bagaço de cana. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

SILVA, D. P. *Avaliação do processo de adensamento de resíduos de poda de árvores visando ao aproveitamento energético: o caso do campus da USP na capital*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SLOPIECKA, *et al.* Thermogravimetric analysis and kinetic study of poplar wood pyrolysis. *Applied Energy*, v. 97, p.491–497, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.056>.

SOUZA, F. *et al.* Energy density of lignocellulosic biomass briquettes and its relationship with briquetting parameters. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 36, n. 88, p. 405–413, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.879>.

SOUZA, M. M. *Propriedades de briquetes e pellets produzidos com resíduos sólidos urbanos*. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

TÔRRES FILHO, A. *Aplicação do processo de pirólise para valoração, cogeração de energia e tratamento de resíduos*. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

VIANA, N. A. *et al.* Gaseificação da casca do jatobá-do-cerrado: caracterização e comparação entre simulação e ensaios laboratoriais. *Revista Brasileira de Energia*, v. 23, n. 3, p. 82–103, 2017. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/377>. Acesso em: 10 out. 2025.