

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
Dissertação será disponibilizado
somente a partir de 07/03/2027



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

GABRIEL ALEXANDRE PIO

**BRIQUETE DE SERRAGEM DE EUCALIPTO TORRIFICADA PARA FINS
ENERGÉTICOS**

Guaratinguetá - SP
2025

Gabriel Alexandre Pio

**BRIQUETE DE SERRAGEM DE EUCALIPTO TORRIFICADA PARA FINS
ENERGÉTICOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Carlos Manuel Romero Luna

Coorientador: Prof. Dr. José Cláudio Caraschi

Coorientadora: Profa. Dra. Mariana Pires Franco

Guaratinguetá - SP
2025

P662b	Pio, Gabriel Alexandre Briquete de serragem de eucalipto torrificada para fins energéticos / Gabriel Alexandre Pio - Guaratinguetá, 2025. 81 f : il. Bibliografia: f. 73-81 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2025. Orientador: Prof. Dr. Carlos Manuel Romero Luna Coorientador: Prof. Dr. José Cláudio Caraschi Coorientador: Prof.^a Dr.^a Mariana Pires Franco 1. Briquetes. 2. Biocombustíveis. 3. Biomassa. 4. Eucalipto - Aplicação industrial. I. Título. CDU 620.91(043)
-------	---

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O potencial desta pesquisa reside em demonstrar a viabilidade técnica de integrar a torrefação da serragem de eucalipto à densificação mecânica para a produção de um biocombustível sólido (briquete) de alta qualidade, destinado a sistemas de cogeração de energia à base de biomassa. Os briquetes de serragem de eucalipto torreficada mostraram-se promissores devido à sua alta densidade energética, baixa higroscopicidade e elevada resistência, quando comparados aos briquetes obtidos da biomassa in-natura. Os resultados indicam que os briquetes provenientes desta integração têm potencial para atuar como um substituto parcial do carvão mineral. Ademais, a produção desses briquetes gera um duplo impacto: regional, ao valorizar uma biomassa local abundante, e nacional, uma vez que a tecnologia desenvolvida pode ser replicada em outras regiões do país, adaptando-se a diferentes biomassas disponíveis.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The potential of this research lies in demonstrating the technical feasibility of integrating the torrefaction of eucalyptus sawdust with mechanical densification to produce high-quality solid biofuel (briquettes) for biomass-based cogeneration systems. Briquettes made from torrefied eucalyptus sawdust have shown promise due to their high energy density, low hygroscopicity, and high mechanical strength when compared to briquettes obtained from raw biomass. The results indicate that briquettes from this integration have the potential to act as a partial substitute for coal. In addition, the production of these briquettes has a double impact: regional, by valuing abundant local biomass, and national, since the technology developed can be replicated in other regions of the country, adapting to different available biomasses.

GABRIEL ALEXANDRE PIO

Briquete de serragem de eucalipto torrificada para fins energéticos

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Data da defesa: 07/03/2025

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS MANUEL ROMERO LUNA**
Data: 09/03/2025 23:41:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. CARLOS MANUEL ROMERO LUNA
Orientador - UNESP

Documento assinado digitalmente
 **IVONETE AVILA**
Data: 10/03/2025 20:02:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. IVONETE AVILA
UNESP

Documento assinado digitalmente
 **LUCIANO DONIZETI VARANDA**
Data: 12/03/2025 08:06:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. LUCIANO DONIZETI VARANDA
SENAI Institute of Innovation Biomass

DADOS CURRICULARES

GABRIEL ALEXANDRE PIO

NASCIMENTO	11 de maio – Itapeva/SP
FILIAÇÃO	Carlos Baltazar Pio Ana de Moura Muzel Braatz Alexandre
2018/2022	Engenharia Industrial Madeireira – Engenheiro Industrial -Madeira Universidade Estadual Paulista

Dedico este trabalho aos meus familiares, cuja orientação, apoio incondicional e valores fundamentais foram essenciais para a construção da minha trajetória educacional e visão de mundo. Eles são a base sólida que impulsiona meu constante desejo de aprender e evoluir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço enormemente ao pessoal que apoiou este processo, ao pessoal técnico da UNESP Itapeva que sempre estiveram dispostos a me ajudar, principalmente a Josilei e Juscelino. Aos meus professores Carlos Manuel Romero Luna e José Cláudio Caraschi pelo incentivo diário, companheirismo e ensinamentos. Também, aos meus amigos Patrik Araujo, Millos Jinete e Juan Arteaga pelo apoio e parceria.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

RESUMO

A madeira de eucalipto é a principal espécie produzida no Brasil para uso industrial. A partir da industrialização são gerados resíduos como a serragem de eucalipto com propriedades como baixa massa específica, baixo poder calorífico higroscopicidade, não uniformidade, elevado teor de umidade, tornando pertinente a adoção de pré-tratamento para uso energético. A torrefação é um pré-tratamento que resulta em um produto torreficado com propriedades superiores a biomassa in natura, como elevado poder calorífico, mudança da propriedade higroscópica para hidrofóbica, elevado teor de lignina. E a densificação mecânica na produção de briquetes visa a viabilidade do manuseio, transporte e armazenamento, uma vez que, a densidade e a energia por volume aumentam de forma substancial. O objetivo desse trabalho foi a integração da torrefação-densificação da serragem de eucalipto, as propriedades físicas-mecânicas e energéticas da serragem torreficada e dos briquetes desta biomassa foram avaliadas. A integração torrefação-densificação se mostrou eficiente para o melhoramento das propriedades energéticas da serragem de eucalipto e os briquetes tiveram propriedades de resistência mecânica adequados para o uso. Os resultados demonstraram que a produção de briquetes a partir da serragem de eucalipto torreficada aumenta significativamente a densidade energética. A serragem torreficada aumenta o poder calorífico e decai o rendimento mássico de acordo com o aumento da temperatura de torrefação, para uma torrefação sustentável de serragem de eucalipto necessita que a temperatura seja inferior a 275°C. A densidade dos briquetes foram superiores a 1000 kg.m⁻³ e resistência mecânica elevada, os maiores valores de resistência mecânica foi alcançada com 275°C, de 5,08 MPa e densidade média de 1196 kg.m⁻³. Houve uma menor interação da gota de água com as superfícies do briquete nas condições no intervalo das temperaturas 250-275°C com o ângulo de contato da gota de 116,2 e 107°, respectivamente, indicando o grau de hidrofobicidade dos briquetes de serragem de eucalipto torreficadas.

PALAVRAS-CHAVE: torrefação; briquete; resistência mecânica; densidade energética.

ABSTRACT

Eucalyptus wood is the main species produced in Brazil for industrial use. The industrialization process generates waste such as eucalyptus sawdust, which has properties like low bulk density, low calorific value, hygroscopicity, non-uniformity, and high moisture content, making the adoption of pre-treatment for energy use relevant. Torrefaction is a pre-treatment that results in a torrefied product with superior properties compared to raw biomass, such as higher calorific value, a shift in hygroscopic property to hydrophobic, and increased lignin content. Mechanical densification in the production of briquettes aims at the feasibility of handling, transportation, and storage, as both density and energy per volume increase substantially. The objective of this study was the integration of torrefaction and densification of eucalyptus sawdust. The physical-mechanical and energetic properties of the torrefied sawdust and the briquettes made from this biomass were evaluated. The torrefaction-densification integration proved to be efficient for improving the energy properties of eucalyptus sawdust, and the briquettes exhibited adequate mechanical strength for use. The results showed that briquette production from torrefied eucalyptus sawdust significantly increases energy density. Torrefied sawdust increases calorific value and decreases mass yield as the torrefaction temperature increases. For sustainable torrefaction of eucalyptus sawdust, temperatures must be kept below 275°C. The briquette densities were above 1000 kg.m⁻³, with high mechanical strength. The highest mechanical strength values were achieved at 275°C, with 5.08 MPa and an average density of 1196 kg.m⁻³. There was less interaction between the water droplet and the briquette surfaces at temperatures in the 250-275°C range, with contact angles of 116.2° and 107°, respectively, indicating the degree of hydrophobicity of the torrefied eucalyptus sawdust briquettes.

KEYWORDS: torrefaction; briquette; mechanical strength; energy density.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz energética mundial em 2022.....	17
Figura 2 – Matriz energética brasileira em 2023.....	17
Figura 3 – Classificação da biomassa lignocelulósica.....	18
Figura 4 - Celobiose.....	19
Figura 5 – Representação da estrutura da celulose.....	20
Figura 6 – Estrutura O-acetil-4-O-metilglicoronoxilana.....	20
Figura 7 – Estrutura da lignina	21
Figura 8 – Produção de eucalipto no Brasil.....	22
Figura 9 – Fração volumétrica dos produtos por 1 m ³ de madeira.....	23
Figura 10 – Balanço de massa e energia de uma torrefação convencional a 250°C.....	26
Figura 11- Classificação da torrefação.....	28
Figura 12- Produtos da densificação mecânica.....	30
Figura 13 - Representação dos mecanismos de densificação mecânica.....	31
Figura 14 – Serragem de eucalipto.....	44
Figura 15 – Esquema do reator de torrefação de biomassa em leito fixo.....	45
Figura 16 – Esquema da briquetadeira LIPPEL LB-32.	47
Figura 17 – Ensaio do teste de ângulo de contato com água.	52
Figura 18 – Rendimento mássico da torrefação da serragem de eucalipto.....	55
Figura 19 - Serragem de eucalipto (a) in natura (b) torrificada a 200°C; (c) torrificada a 225°C; (d) torrificada a 250°C; (e) torrificada a 275°C e (f) torrificada a 300°C.	56
Figura 20 – Análise imediata da serragem torrificada.	59
Figura 21 – Diagrama Van de Kreemelen da serragem de eucalipto torrificada.....	59
Figura 22 – Teor de cloro da serragem de eucalipto antes e torrificada.....	60
Figura 23 – Correlação de Pearson entre a composição química e os parâmetros de torrefação.	62
Figura 24 – Briquete de serragem de eucalipto (a) in natura (b) torrificada a 200°C; (c) torrificada a 225°C; (d) torrificada a 250°C; (e) torrificada a 275°C e (f) torrificada a 300°C.	63
Figura 25 – Resistência mecânica dos briquetes.....	65
Figura 26 – Massa específica dos briquetes de serragem de eucalipto torrificado.....	66
Figura 27 – RE da torrefação do BCA.....	67

Figura 28 – Curva DTG e perda de massa da serragem de eucalipto in natura e torrificada.....	68
Figura 29 – Microscópico Eletrônico de Varredura dos briquetes torreficados.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resíduos do setor madeireiro	23
Tabela 2 – Propriedades da serragem de eucaliptos	25
Tabela 3 – Classificação e propriedades dos aglutinantes.....	35
Tabela 4 – Condições de briquetagem	40
Tabela 5 – Propriedades da serragem de eucalipto	51
Tabela 6 – Parâmetros da torrefação	53
Tabela 7 – Propriedade combustível das biomassas	57
Tabela 8 – Composição elementar e energética do eucalipto torreficado	58
Tabela 9 – Resultado da interação da gota na superfície dos briquetes	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo geral.....	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	16
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	17
2.1	ENERGIA DE BIOMASSA (BIOENERGIA).....	17
2.1.1	Biomassa Lignocelulósica.....	20
2.1.2	Eucalipto.....	22
2.1.3	Serragem de Eucalipto	24
2.2	TORREFAÇÃO DE BIOMASSA.....	26
2.2.1	Torreção De Biomassa Derivada Da Madeira.....	30
2.3	DENSIFICAÇÃO MECÂNICA.....	31
2.3.1	Mecanismo da Densificação Mecânica.....	31
2.3.2	Briquete.....	34
2.3.3	Aglutinante	35
2.3.4	Pressão e Temperatura	38
2.3.5	Teor De Cinzas.....	39
2.3.6	Teor De Umidade.....	39
2.3.7	Granulometria	40
2.4	DENSIFICAÇÃO MECÂNICA DE BIOMASSA TORRIFICADA.....	43
2.4.1	Briquete De Biomassa Lenhosa Torrificada.....	45
3	MATERIAIS E MÉTODO.....	45
3.1	SERRAGEM DE EUCALIPTO.....	46
3.2	BANCADAS EXPERIMENTAIS.....	46
3.2.1	Torreção De Biomassa Em Leito Fixo.....	47
3.2.2	Briquetadeira.....	48
3.3	TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA.....	48
3.3.1	Caracterização da serragem de eucalipto “in natura” e torrificada.....	49
3.3.2	Caracterização Dos Briquetes.....	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA SERRAGEM DE EUCALIPTO.....	52
4.2	TORREFAÇÃO DA SERRAGEM DE EUCALIPTO	54
4.2.1	Caracterização Da Serragem De Eucalipto Torrificada.....	62
4.3	DENSIFICAÇÃO MECÂNICA DA SERRAGEM DE EUCALIPTO TORRIFICADA.....	62
4.3.1	Briquetes De Serragem De Eucalipto Torrificada.....	62
4.3.2	Caracterização Dos Briquetes De Serragem De Eucalipto Torricado	63
5	CONCLUSÕES.....	72
	REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por energia é resultado do crescimento populacional e do desenvolvimento industrial intensivo, que, para ser suprido, recorreu à energia não renovável. Atualmente, os combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural) são responsáveis por quase 80% do fornecimento de energia no mundo (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA, 2023). O uso constante desses combustíveis resultou na emissão de grandes quantidades de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, havendo uma correlação significativa entre o aumento dos GEE e o aquecimento global (ABBASI-ATIBEH e YOZGATLIGIL, 2014). Do total de GEE emitido, o dióxido de carbono (CO_2) corresponde a 75%, sendo a principal emissão antropogênica responsável pelo aquecimento global (RIAZA *et al.*, 2014; SAIDUR *et al.*, 2011).

Como consequência, políticas globais e cenários futuros, como o *Net Zero Scenario by 2050*, têm sido desenvolvidos para indicar um caminho energético mais sustentável e limpo, visando mitigar os efeitos do uso intensivo de combustíveis fósseis (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA, 2023). Assim, com o objetivo de atender à crescente demanda por energia e visando reduzir as emissões de GEE, especialmente de CO_2 , diversas fontes de energia têm sido propostas, como o uso de energia solar, eólica e biomassa. A biomassa é a quarta principal fonte primária de energia, representando 9,5% do total mundial, pode ser considerada biomassa resíduos florestais, resíduos agrícolas, biocombustíveis líquidos, biogás, resíduos urbanos e industriais (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA, 2023).

No Brasil, uma biomassa que se destaca é a proveniente da indústria florestal. O país possui uma área de 7,84 milhões de hectares de reflorestamento, sendo que o setor brasileiro de árvores plantadas responde por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e contribui com 6,2% do Produto Interno Bruto (PIB) industrial no País. As espécies de árvores mais cultivadas são o eucalipto e o pinus, sendo o eucalipto o mais predominante devido ao seu uso no setor de papel e celulose entre outros. As plantações de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares de áreas reflorestadas, representando 72% do total, concentrando-se principalmente nos estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%) (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2023).

Os resíduos derivados da industrialização do eucalipto têm potencial para geração de energia. No Brasil, esse potencial energético é estimado em cerca de $3,88 \cdot 10^4$ GWh, a partir dos subprodutos gerados pela produção de eucalipto, sendo que as regiões Sudeste e Sul concentram a maior parte, com $2,08 \cdot 10^4$ GWh e $1,77 \cdot 10^4$ GWh, respectivamente (DE OLIVEIRA *et al.*,

2013). Os resíduos resultantes da industrialização do eucalipto são aproveitados principalmente para geração de energia, entretanto, resíduos como a serragem de eucalipto têm aplicações de baixo valor agregado ou são frequentemente queimados a céu aberto.

De maneira similar a outras biomassas, a serragem de eucalipto apresenta algumas características que dificultam o seu aproveitamento, como alto teor de umidade, baixo poder calorífico, baixa massa específica e partículas de tamanho e forma irregulares. Além disso, os problemas operacionais relacionados ao transporte e armazenamento também representam desafios significativos (KALIYAN; MOREY, 2010; THANAPAL *et al.*, 2014; TUMULURU *et al.*, 2011). Essas características podem ser melhoradas por meio de tecnologias de pré-tratamento. A literatura apresenta diversos estudos sobre essas tecnologias, sendo a densificação mecânica uma das mais investigadas. Esta tecnologia envolve a compressão mecânica das partículas de biomassa, resultando em um produto compacto de formato regular (pellet ou briquete), que exibe maior massa específica e por conseguinte uma maior densidade energética em comparação à biomassa de origem. Outra tecnologia, estudada é a torrefação da biomassa, a qual consiste no aquecimento da biomassa em uma atmosfera inerte ou com baixo teor de oxigênio, em temperaturas entre 200 °C e 300 °C. Como resultado, a torrefação aumenta significativamente o poder calorífico, reduz o teor de umidade e incrementa a massa específica.

Atualmente, alguns trabalhos sugerem a integração de tecnologias de pré-tratamento, sendo a torrefação seguida da densificação mecânica uma alternativa promissora para aprimorar as características físicas e químicas da biomassa destinada a fins energéticos (Guo *et al.*, 2022; Sarker *et al.*, 2022). A literatura apresenta diversas pesquisas sobre a integração da torrefação e da densificação mecânica de biomassa, com foco principalmente na produção de pellets de biomassa torreficada. No entanto, há uma escassez significativa de estudos voltados à produção de briquete para uso industrial.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Aumentar a densidade energética da serragem de eucalipto através da integração da torrefação e densificação mecânica para fins energéticos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização física e química da serragem de eucalipto,
- Executar os ensaios de torrefação da serragem de eucalipto,
- Determinar as propriedades físicas e químicas da serragem de eucalipto torrificada,
- Preparar os briquetes da serragem in natura e torrificada,
- Caracterizar os briquetes de biomassa torrificada produzidos.

5 CONCLUSÃO

A produção de briquetes a partir da serragem de eucalipto torrificada em diferentes temperaturas foi avaliada. A caracterização física e química da serragem de eucalipto torrificada demonstrou melhorias em suas propriedades. A integração da torrefação com a densificação mecânica foi eficaz no aumento da densidade energética dos briquetes. No entanto, este trabalho indicou que o intervalo de temperatura entre 250°C e 275°C é o mais adequado para a torrefação da serragem de eucalipto. Os briquetes produzidos nessa faixa de temperatura apresentaram as melhores propriedades físicas, químicas e mecânicas. Torrefações em baixa temperatura (200°C) não provocaram mudanças significativas na serragem de eucalipto nem nos briquetes produzidos. Já em temperaturas mais altas (300°C), os briquetes apresentaram características desvantajosas, como elevada absorção de água, redução da resistência mecânica, menor massa específica, aumento do teor de cloro e menor rendimento mássico. Os briquetes produzidos a partir da serragem de eucalipto torrificada não necessitaram de aglutinantes, apresentaram densidade superior a 1000 kg/m³, valores adequados para comercialização, e resistência mecânica superior à da biomassa de origem. As condições de pressão, temperatura e tempo utilizadas mostraram-se adequadas para a produção de briquetes de serragem de eucalipto torrificada.

TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros recomenda-se a abordagem dos seguintes tópicos:

- Análise tecno-econômica da produção de briquetes a partir de biomassas torrificadas
- Análise do ciclo de vida
- Avaliação da taxa de combustão e os efeitos colaterais da queima de briquetes a partir de biomassas torrificadas.

REFERÊNCIAS

ABAKR, Y. A.; ABASAEED, A. E.; ABAKR, Y. A.; ABASAEED, A. E. Experimental evaluation of a conical-screw briquetting machine for the briquetting of carbonized cotton stalks in Sudan. **Journal of Engineering Science and Technology**, Subang Jaya, 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/49592685>. Acesso em: 8 ago. 2024.

ABBASI-ATIBEH, E.; YOZGATLIGIL, A. A study on the effects of catalysts on pyrolysis and combustion characteristics of Turkish lignite in oxy-fuel conditions. **Fuel**, Oxford, v. 115, p. 841-849, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.01.073>. Acesso em: 8 ago. 2024.

AFRA, E.; ABYAZ, A.; SARAHEYAN, A. The production of bagasse biofuel briquettes and the evaluation of natural binders (LNFC, NFC, and lignin) effects on their technical parameters. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 278, p. 123543, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123543>. Acesso em: 1 ago. 2024.

AIMBERG, E.; GEROMETTA, C.; TWEDT, M.; GENT, S. **Theoretical and applied aspects of biomass torrefaction**: for biofuels and value-added products. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2017.

AJIMOTOKAN, H. A.; AKINWUMI, I. I.; OLOFIN, S. A.; OYEDEJI, O. A. Combustion characteristics of fuel briquettes made from charcoal particles and sawdust agglomerates. **Scientific African**, Amsterdam, v. 6, p. e00202, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00202>. Acesso em: 1 ago. 2024.

AKOGUN, O. A.; WAHEED, M. A.; ISMAILA, S. O.; DAIRO, O. U. Co-briquetting characteristics of cassava peel with sawdust at different torrefaction pretreatment conditions. **Energy Sources, Part A: recovery, utilization and environmental effects**, New York, v. 46, n. 1, p. 5768-5786, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1752333>. Acesso em: 20 abr. 2020.

ARANSIOLA, E. F.; AKINLABI, E. T.; OLUWAFEMI, O. S.; ADELEKE, A. A. Effect of binder type, binder concentration and compacting pressure on some physical properties of carbonized corncob briquette. **Energy Reports**, Amsterdam, v. 5, p. 909-918, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.07.011>. Acesso em: 1 ago. 2024.

ARIAS, B.; PEVIDA, C.; FERMOSO, J.; PLAZA, M. G.; RUBIERA, F.; PIS, J. J. Influence of torrefaction on the grindability and reactivity of woody biomass. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 89, n. 2, p. 169-175, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2007.09.002>. Acesso em: 1 ago. 2024.

ARTEAGA-PÉREZ, L. E.; GONZÁLEZ, J. A.; RODRÍGUEZ, M. A.; SÁNCHEZ, M. J.; PÉREZ, J. F. Steam torrefaction of Eucalyptus globulus for producing black pellets: a pilot-scale experience. **Bioresource Technology**, London, v. 238, p. 194-204, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.037>. Acesso em: 1 ago. 2024.

BACHELIER, B.; GOURLOT, J.-P. A fibra de algodão: origem, estrutura, composição e caracterização. In: BELOT, J.-L. (ed.) **Manual de qualidade de fibra da AMPA**. Cuiabá: Casa da Árvore, 2018.

BAJCAR, M.; KUBICA, K.; KOTOWICZ, J.; SKRZYPIEC, G. Torrefaction as a way to remove chlorine and improve the energy properties of plant biomass. **Energies**, Basel, v. 16, n. 21, p. 7365, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/21/7365/html>. Acesso em: 10 fev. 2025.

BAZARGAN, A.; ROUGH, S. L.; MCKAY, G. Compaction of palm kernel shell biochars for application as solid fuel. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 70, p. 489-497, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.08.015>. Acesso em: 1 ago. 2024.

BELLO, R. S.; ONILUDE, M. A. Effects of critical extrusion factors on quality of high-density briquettes produced from sawdust admixture. **Materials Today: Proceedings**, Amsterdam, v.38, part 2, p. 949-957, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320340487>. Acesso em: 3 jul. 2024.

BERGMAN, P. C. A.; BOERSMA, A. R.; ZWART, R. W. R.; KIEL, J. H. A. Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations “BIOCOAL”. Utrecht: Senternovem, 2005. Disponível em: <https://publications.tno.nl/publication/34628503/1cn2B7/c05013.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2024.

BOONSTRA, M. **A two-stage thermal modification of wood**. 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1854/LU-468990>. Acesso em: 23 out. 2024.

BUTLER, J. W.; SKRIVAN, W.; LOTFI, S. **Identification of optimal binders for torrefied biomass pellets**. Basileia: MDPI, 2023.

CHEN, W. H.; CHENG, W. Y.; LU, K. M.; HUANG, Y. P. An evaluation on improvement of pulverized biomass property for solid fuel through torrefaction. **Applied Energy**, Oxford, v. 88, n. 11, p. 3636-3644, 2011a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.03.040>. Acesso em: 1 ago. 2024.

CHEN, W. H.; HSU, H. C.; LU, K. M.; LEE, W. J.; LIN, T. C. Thermal pretreatment of wood (Lauan) block by torrefaction and its influence on the properties of the biomass. **Energy**, Oxford, v. 36, n. 5, p. 3012-3021, 2011b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.02.045>. Acesso em: 1 ago. 2024.

CHEN, W. H.; KUO, P. C.; LIU, S. H.; WU, W. Thermal characterization of oil palm fiber and eucalyptus in torrefaction. **Energy**, Oxford, v. 71, p. 40-48, 2014a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.117>. Acesso em: 1 ago. 2024.

CHEN, W. H.; CHANG, Y. H.; TSAI, C. H.; LIN, B. J.; WU, W. Progress in biomass torrefaction: principles, applications and challenges. **Progress in Energy and Combustion Science**, Oxford, v. 82, p. 100887, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100887>. Acesso em: 1 ago. 2024.

- CHEN, W. H.; LU, K. M.; LEE, W. J.; LIU, S. H.; LIN, T. C. Non-oxidative and oxidative torrefaction characterization and SEM observations of fibrous and ligneous biomass. **Applied Energy**, Oxford, v. 114, p. 104-113, 2014b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.045>. Acesso em: 1 ago. 2024.
- CHEN, W. H.; LU, K. M.; LIU, S. H.; TSAI, C. M.; LEE, W. J.; LIN, T. C. Biomass torrefaction characteristics in inert and oxidative atmospheres at various superficial velocities. **Bioresource Technology**, London, v. 146, p. 152-160, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.07.064>. Acesso em: 1 ago. 2024.
- CHEN, W. H.; WANG, C. W.; ONG, H. C.; SHOW, P. L.; HSIEH, T. H. Torrefaction, pyrolysis and two-stage thermodegradation of hemicellulose, cellulose and lignin. **Fuel**, Oxford, v. 258, p. 116168, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116168>. Acesso em: 1 ago. 2024.
- CHEW, J. J.; DOSHI, V. Recent advances in biomass pretreatment: torrefaction fundamentals and technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 15, n. 8, p. 4212-4222, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.017>. Acesso em: 1 ago. 2024.
- COUHERT, C.; SALVADOR, S.; COMMANDRÉ, J. M. Impact of torrefaction on syngas production from wood. **Fuel**, Oxford, v. 88, n. 11, p. 2286-2290, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.05.003>. Acesso em: 1 ago. 2024.
- ELING, J.; WILLEMS, P.; SCHMIDT, J.; VAN DER MEER, Y. Densification of raw and torrefied biomass: a review. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 184, p. 107210, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107210>. Acesso em: 1 ago. 2024.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Relatório síntese 2024**. Rio de Janeiro: EPE, 2024.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure and reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.
- FOREST product conversion factors. Rome: FAO; ITTO; United Nations, 2020.
- FURTADO, T. S.; OLIVEIRA, J. B.; SOUZA, A. P.; MORAES, M. L. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 101-106, 2010. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/872656>. Acesso em: 1 ago. 2024.
- GIL, A. Challenges on waste-to-energy for the valorization of industrial wastes: electricity, heat and cold, bioliquids and biofuels. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, Amsterdam, v. 17, p. 100615, 2022. Acesso em: 8 ago. 2024.
- GUO, F.; ZHANG, Y.; LIU, Y.; WANG, X.; ZHAO, Y. Upgrading agro-pellets by torrefaction and co-pelletization process using food waste as a pellet binder. **Renewable Energy**, Oxford, v. 191, p. 213-224, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.012>. Acesso em: 25 nov. 2024.

GÜRDIL, G. A. K.; DEMIREL, B. Effect of particle size on surface smoothness of bio-briquettes produced from agricultural residues. **Manufacturing Technology**, Ostrava, v. 18, n. 5, p. 742-747, 2018.

HU, Q.; ZHANG, Y.; LIU, J.; WANG, X.; CHEN, W. H. Effects of binders on the properties of bio-char pellets. **Applied Energy**, Oxford, v. 157, p. 508-516, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.019>. Acesso em: 1 ago. 2024.

IGLESIAS CANABAL, A.; GARCÍA, R.; MARTÍNEZ, J.; PÉREZ, J. Elemental composition of raw and torrefied pellets made from pine and pine-eucalyptus blends. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 177, p. 106951, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106951>. Acesso em: 1 ago. 2024.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório anual 2023**. São Paulo: IBÁ, 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Bioenergy**. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/bioenergy>. Acesso em: 3 jul. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Energy statistics data browser**. Paris: IEA, 2023.

JEZERSKA, L.; KUBICA, K.; KOTOWICZ, J.; SKRZYPIEC, G. The pelletization and torrefaction of coffee grounds, garden chaff and rapeseed straw. **Renewable Energy**, Oxford, v. 210, p. 346-354, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.04.016>. Acesso em: 8 ago. 2024.

KALIYAN, N.; MOREY, R. V. Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. **Bioresource Technology**, London, v. 101, n. 3, p. 1082-1090, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.064>. Acesso em: 1 ago. 2024.

KALIYAN, N.; VANCE MOREY, R. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 33, n. 3, p. 337-359, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.005>. Acesso em: 1 ago. 2024.

KAUR, K.; KAUR, R.; KAUR, H. A systematic review of lignocellulosic biomass for remediation of environmental pollutants. **Applied Surface Science Advances**, Amsterdam, v. 19, p. 100547, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2023.100547>. Acesso em: 8 ago. 2024.

KRIŽAN, P. **Biomass compaction**: the effects of pressing chamber design parameters on extrusion quality. Cham: Springer International Publishing, 2021.

KRIŽAN, P.; MATÚŠ, M.; ŠOOŠ, L.; BENIAK, J. Behavior of beech sawdust during densification into a solid biofuel. **Energies**, Basel, v. 8, n. 7, p. 6382-6398, 2015.

LAW, K. Y. Definitions for hydrophilicity, hydrophobicity, and superhydrophobicity: getting the basics right. **Journal of Physical Chemistry Letters**, Washington, DC, v. 5, n. 4, p. 686-

688, 2014. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/jz402762h>. Acesso em: 10 fev. 2025.

LI, Y.; LIU, H. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 19, n. 3, p. 177-186, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00026-X](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00026-X). Acesso em: 1 ago. 2024.

LU, H.; ZHANG, Y.; WANG, X.; CHEN, W. H. Integration of biomass torrefaction and gasification based on biomass classification: a review. **Energy Technology**, Weinheim, v. 9, n. 5, p. 2001108, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ente.202001108>. Acesso em: 1 ago. 2024.

LU, K. M.; LEE, W. J.; CHEN, W. H.; LIU, S. H.; LIN, T. C. Torrefaction and low temperature carbonization of oil palm fiber and eucalyptus in nitrogen and air atmospheres. **Bioresource Technology**, London, v. 123, p. 98-105, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.07.096>. Acesso em: 1 ago. 2024.

LUBWAMA, M.; YIGA, V. A. Characteristics of briquettes developed from rice and coffee husks for domestic cooking applications in Uganda. **Renewable Energy**, Oxford, v. 118, p. 43-55, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.003>. Acesso em: 1 ago. 2024.

MARREIRO, H. M. P.; SANTOS, R. F.; OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. C. **Empirical studies on biomass briquette production**: a literature review. Basel: MDPI, 2021.

MEI, Y.; ZHANG, Y.; WANG, X.; CHEN, W. H. Torrefaction of cedarwood in a pilot scale rotary kiln and the influence of industrial flue gas. **Bioresource Technology**, London, v. 177, p. 355-360, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.113>. Acesso em: 1 ago. 2024.

MENDOZA MARTINEZ, C. L.; GONZÁLEZ, J. A.; RODRÍGUEZ, M. A.; SÁNCHEZ, M. J.; PÉREZ, J. F. Production and characterization of coffee-pine wood residue briquettes as an alternative fuel for local firing systems in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 123, p. 70-77, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.02.013>. Acesso em: 1 ago. 2024.

MIŠLJENović, N.; BACH, Q. V.; TRAN, K. Q.; SALAS-BRINGAS, C.; SKREIBERG, Ø. Torrefaction influence on pelletability and pellet quality of norwegian forest residues. **Energy and Fuels**, Washington, v. 28, n. 4, p. 2554-2561, 2014.

MUAZU, R. I.; STEGEMANN, J. A. Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 133, p. 137-145, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.01.022>. Acesso em: 1 ago. 2024.

NUNES, L. J. R.; MATIAS, J. C. O.; CATALÃO, J. P. S. Biomass combustion systems: a review on the physical and chemical properties of the ashes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, v. 53, p. 235-242, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.053>. Acesso em: 1 ago. 2024.

OLIVEIRA, J. L.; SILVA, M. A.; SANTOS, R. F.; COSTA, A. C. Characterization and mapping of waste from coffee and eucalyptus production in Brazil for thermochemical conversion of energy via gasification. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 21, p. 52-58, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.025>. Acesso em: 8 ago. 2024

OKOT, D. K.; BILSBORROW, P. E.; PHAN, A. N. Effects of operating parameters on maize COB briquette quality. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 112, p. 61-72, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.02.015>. Acesso em: 1 ago. 2024.

OLADEJI, J. T.; ENWEREMADU, C. C. The effects of some processing parameters on physical and densification characteristics of corncob briquettes. **International Journal of Energy Engineering**, New York, v. 2, n. 1, p. 22-27, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5923/j.ijee.20120201.04>. Acesso em: 1 ago. 2024.

OLUGBADE, T.; OJO, O.; MOHAMMED, T. Influence of binders on combustion properties of biomass briquettes: a recent review. **BioEnergy Research**, New York, v. 12, n. 2, p. 241-259, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09973-w>. Acesso em: 1 ago. 2024.

PELAEZ-SAMANIEGO, M. R.; GONZÁLEZ, J. A.; RODRÍGUEZ, M. A.; SÁNCHEZ, M. J.; PÉREZ, J. F. Effect of temperature during wood torrefaction on the formation of lignin liquid intermediates. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v. 109, p. 222-233, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.06.008>. Acesso em: 1 ago. 2024.

PIETSCH, W. An interdisciplinary approach to size enlargement by agglomeration. **Powder Technology**, Amsterdam, v. 130, n. 1-3, p. 8-13, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(02\)00218-8](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(02)00218-8). Acesso em: 12 out. 2023.

PINTO, F.; FERREIRA, A.; MADEIRA, L.; BRITO, J.; SORIA, M. A. Improvement of gasification performance of Eucalyptus globulus stumps with torrefaction and densification pre-treatments. **Fuel**, Oxford, v. 206, p. 289-299, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.06.008>. Acesso em: 1 ago. 2024

PRADHAN, P.; MAHAJANI, S. M.; ARORA, A. Production and utilization of fuel pellets from biomass: a review. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 181, p. 215-232, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.09.021>. Acesso em: 1 ago. 2024.

RAMBO, M. K. D.; SCHMIDT, F. L.; FERREIRA, M. M. C. Analysis of the lignocellulosic components of biomass residues for biorefinery opportunities. **Talanta**, Oxford, v. 144, p. 696-703, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.06.045>. Acesso em: 1 ago. 2024.

RAMOS-CARMONA, S.; MARTÍNEZ, J. D.; PÉREZ, J. F. Torrefaction of patula pine under air conditions: a chemical and structural characterization. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 118, p. 302-310, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.062>. Acesso em: 1 ago. 2024.

RIAZA, J.; GONZÁLEZ, A.; GARCÍA, R.; SÁNCHEZ, M. Combustion of single biomass particles in air and in oxy-fuel conditions. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 64, p. 162-174, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.01>. Acesso em: 8 ago. 2024.

ROUSSET, P.; MACEDO, L.; COMMANDRÉ, J. M.; MOREIRA, A. Biomass torrefaction under different oxygen concentrations and its effect on the composition of the solid by-product. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v. 96, p. 86-91, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.03.009>. Acesso em: 1 ago. 2024.

SAIDUR, R.; ABU BAKAR, M. S.; MOHAMED, H. A.; KAMARUDDIN, M. A. A review on biomass as a fuel for boilers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, v. 15, n. 5, p. 2262-2289, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.015>. Acesso em: 8 ago. 2024.

SAN MIGUEL, G.; GARCÍA, R.; MARTÍNEZ, J. D.; PÉREZ, J. F. One-step torrefaction and densification of woody and herbaceous biomass feedstocks. **Renewable Energy**, Oxford, v. 195, p. 825-840, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.085>. Acesso em: 1 ago. 2024.

SANDOVAL-TORRES, S.; JOMAA, W.; MARC, F.; PUIGGALI, J.-R. Causes of color changes in wood during drying. **Forestry Studies in China**, Beijing, v. 12, n. 4, p. 167-175, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11632-010-0404-8>. Acesso em: 23 out. 2024.

SARKER, T. R.; AZARGOHAR, R.; DALAI, A. K.; MEDA, V. Characteristics of torrefied fuel pellets obtained from co-pelletization of agriculture residues with pyrolysis oil. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 150, p. 106108, 2021.

SARKER, T. R.; AZARGOHAR, R.; DALAI, A. K.; MEDA, V. Complementary effects of torrefaction and pelletization for the production of fuel pellets from agricultural residues: a comparative study. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 181, p. 114740, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114740>. Acesso em: 1 ago. 2024.

SHANKAR TUMULURU, J.; WRIGHT, C. T.; HESS, J. R.; KENNEY, K. L. A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications. **Industrial Biotechnology**, New Rochelle, v. 7, n. 5, p. 384-401, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/ind.2011.7.384>. Acesso em: 1 ago. 2024.

SINGH, R. K.; SARKAR, A.; CHAKRABORTY, J. P. Effect of torrefaction on the physicochemical properties of eucalyptus derived biofuels: estimation of kinetic parameters and optimizing torrefaction using response surface methodology (RSM). **Energy**, Oxford, v. 198, p. 117369, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117369>. Acesso em: 1 ago. 2024.

SITHOLE, T.; MASHININI, M. S.; MOKOENA, T. A review of the combined torrefaction and densification technology as a source of renewable energy. **Alexandria Engineering Journal**, Alexandria, v. 82, p. 330-341, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.09.080>. Acesso em: 1 ago. 2024.

SJOSTRJÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and application**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1993. 293 p.

SONG, X.; ZHANG, S.; WU, Y.; CAO, Z. Investigation on the properties of the bio-briquette fuel prepared from hydrothermal pretreated cotton stalk and wood sawdust. **Renewable Energy**, Oxford, v. 151, p. 184-191, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.003>. Acesso em: 1 ago. 2024.

SUN, P.; ZHANG, Y.; LIU, J.; WANG, X. Ash problems and prevention measures in power plants burning high alkali fuel: brief review and future perspectives. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 901, p. 165985, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165985>. Acesso em: 1 ago. 2024.

SYKOROVA, V.; KUBICA, K.; KOTOWICZ, J.; SKRZYPIC, G. Biomass pellets with organic binders – before and after torrefaction. **Renewable Energy**, Oxford, v. 221, p. 119771, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119771>. Acesso em: 1 ago. 2024.

THANAPAL, S. S.; KUMAR, A.; GHANDEHARIUN, H.; DAI, X. Carbon dioxide torrefaction of woody biomass. **Energy & Fuels**, Washington, v. 28, n. 2, p. 1147-1157, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ef4022625>. Acesso em: 1 ago. 2024.

TUMULURU, J. S.; WRIGHT, C. T.; HESS, J. R.; KENNEY, K. L. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Oxford, v. 5, n. 6, p. 683-707, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/bbb.324>. Acesso em: 1 ago. 2024.

TURSI, A. A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion. **Biofuel Research Journal**, Esfahan, v. 6, n. 2, p. 962-979, 2019. Disponível em: https://www.biofueljournal.com/article_88067.html. Acesso em: 1 ago. 2024.

FREDERICO, P. G. U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

VAN DER STELT, M. J. C.; JANSEN, J.; PRINS, W.; PIETERS, J. Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: a review. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 9, p. 3748-3762, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.023>. Acesso em: 1 ago. 2024.

VAN DIJK, M.; GOEDEGEBURE, R.; NAP, J. P. Public acceptance of biomass for bioenergy: the need for feedstock differentiation and communicating a waste utilization frame. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, v. 202, p. 114670, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114670>. Acesso em: 8 ago. 2024.

WATKINS, D.; YAO, Y.; CHEN, C.; XU, Y.; WANG, L. Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. **Journal of Materials Research and Technology**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 26-32, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2014.10.009>. Acesso em: 1 ago. 2024.

WAHEED, M. A.; AKOGUN, O. A. Quality enhancement of fuel briquette from cornhusk and cassava peel blends for co-firing in coal thermal plant. **International Journal of Energy Research**, Chichester, v. 45, n. 2, p. 1867-1878, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/er.5865>. Acesso em: 1 ago. 2024.

WANG, S.; DAI, G.; YANG, H.; LUO, Z. Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: a state-of-the-art review. **Progress in Energy and Combustion Science**, Oxford, v. 62, p. 33-86, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.05.004>. Acesso em: 1 ago. 2024.

YANG, I.; COOKE-WILLIS, M.; SONG, B.; HALL, P. Densification of torrefied *Pinus radiata* sawdust as a solid biofuel: effect of key variables on the durability and hydrophobicity of briquettes. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 214, p. 106719, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106719>. Acesso em: 1 ago. 2024.

YANK, A.; NGADI, M.; KOK, R. Physical properties of rice husk and bran briquettes under low pressure densification for rural applications. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 84, p. 22-30, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.09.015>. Acesso em: 1 ago. 2024.

ZHANG, Y.; CHEN, C.; QU, B.; JI, G.; LI, A. In-situ torrefaction-densification approach for pelletizing of rice hull/rice stalk and the combustion behavior analysis. **Process Safety and Environmental Protection**, London, v. 183, p. 365-377, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.01.038>. Acesso em: 8 ago. 2024.

.