



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2024) v. 11, n. 1, pp. 209–217
<https://doi.org/10.21712/lajer.2024.v11.n1.p209-217>

Pellets produzidos a partir da biomassa de capim elefante BRS Kurumi, lodo flotado e bagaço de mandioca

Pellets produced from BRS Kurumi elephant grass biomass, floated sludge and cassava bagasse

Anna Maria Remonti Juppa^{1,*}, Maria Paula Andriola¹, Victória Oliveira Diaz de Lima¹, Aline Bavaresco dos Santos², Luciano Caetano de Oliveira³, Adriana Ferla de Oliveira⁴

¹ Aluna do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, Universidade Federal do Paraná – UFPR, campus Palotina, PR, Brasil

² Técnica de Laboratório, Universidade Federal do Paraná – UFPR, campus Palotina, PR, Brasil

³ Professor do Departamento de Engenharia e Exatas, Universidade Federal do Paraná – UFPR, campus Palotina, PR, Brasil

⁴ Professora do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, Universidade Federal do Paraná – UFPR, campus Palotina, PR, Brasil

* E-mail: annamaria_juppa@hotmail.com

Received: 22 May 2024 | Accepted: 1 June 2024 | Published online: 5 June 2024

Resumo: Os *pellets* são biocombustíveis sólidos granulados produzidos a partir de biomassa vegetal moída e compactada. A presente pesquisa apresenta uma alternativa de aproveitamento da biomassa vegetal de capim elefante BRS Kurumi, lodo flotado junto à bagaço de mandioca como aglutinante, com o objetivo de produzir *pellets*. Os *pellets* foram caracterizados quanto a análise imediata, densidade aparente e a granel, poder calorífico superior e densidade energética. Observou-se que os *pellets* produzidos com 100% capim BRS Kurumi (TK) apresentaram um elevado teor de cinzas (14,66%), e com a adição de 20% do lodo flotado (TKL) esse valor diminuiu (7,28%), aumentando o teor de carbono fixo (18,14%), o que consequentemente aumentou o poder calorífico superior para 16,20 MJ.kg⁻¹. Com adição de 2% do bagaço de mandioca a densidade energética aparente foi de 15,15 GJ.m⁻³, enquanto TKL apresentou 17,73 GJ.m⁻³. De modo geral, todos os tratamentos propostos são possíveis de serem realizados apresentando características físico-químicas e energéticas promissoras para sua utilização como biocombustíveis sólidos. Palavras-chave: *Pellets*. Bioenergia. Capim BRS Kurumi. Lodo flotado. Bagaço de Mandioca.

Abstract: *Pellets* are solid granulated biofuels produced from ground and compacted plant biomass. This research presents an alternative way of using BRS Kurumi elephant grass plant biomass, flooded sludge and cassava bagasse as a binder, with the aim of producing *pellets*. The *pellets* were characterized in terms of immediate analysis, bulk and apparent density, calorific value and energy density. It was observed that the *pellets* produced with 100% BRS Kurumi grass (TK) had a high ash content (14,66%), and with the addition of 20% flocculated sludge (TKL) this value decreased (7,28%), increasing the fixed carbon content (18,14%), which consequently increased the higher calorific value to 16.20MJ.Kg-1. With the addition of 2% cassava bagasse, the apparent energy density was 15.15GJ.m⁻³, while TKL showed 17.73 GJ.m⁻³. In general, all the proposed treatments are possible to carry out and have promising physicochemical and energy characteristics for use as solid biofuels.

Keywords: *Pellets*. Bioenergy. BRS Kurumi grass. Flooded sludge. Cassava bagasse.

1 Introdução

A busca cada vez maior por matérias-primas que possam servir como fonte de energia é uma motivação para o aumento do uso de materiais lignocelulósicos atrelados a resíduos para produção de biocombustíveis sólidos, utilizando de processos de conversão que potencializem a eficiência energética desse produto final (Souza et al., 2020; Neuwald et al., 2022).

O *pellet* é um biocombustível sólido, granulado a base de biomassa vegetal moída e compactada em alta pressão, o que permite uma elevada densidade energética, utilizando ocasionalmente algum agente aglutinante, como o bagaço de mandioca, que por ser rico em amido, age como aglutinante, melhorando a adesão de partículas, resistência à compressão e abrasão (Garcia et al., 2016b; Muazu and Stegemann, 2017; Nalevaiko et al., 2021).

Os *pellets* geralmente são produzidos a partir de serragem de madeira como pinus e eucalipto, no entanto pesquisas com biomassa lignocelulósica vem sendo realizadas (Quenó, 2019). Como é o caso da biomassa vegetal proveniente do Capim elefante (*Pennisetum purpureum*) e seus genótipos como o capim BRS Kurumi tendo sido alvo de estudos para fins energéticos, devido a sua alta produção de forragem obtendo em média 30 toneladas por ano ($t \cdot ano^{-1}$) de matéria seca (MS), com velocidade elevada de rebrota de 20 a 30 dias, além da qualidade de biomassa e dos elevados teores de fibras e lignina na sua constituição (Almeida, 2020; Tanabe, 2017; Rosa, et al., 2019).

O lodo flotado é considerado uma biomassa de alto poder calorífico, sendo obtido a partir do tratamento físico-químico do efluente por flotação simples. A disposição final adequada deste lodo é uma etapa problemática. Esses efluentes são altamente poluentes e, comumente destinados à descarte ou à aterros sanitários, culminando por gerar resíduos indesejáveis, além da complexidade de seu tratamento e custos advindos de seu manejo adequado (Padilha et al., 2019; Garcia, 2016; Iwaki, 2018).

Sendo assim, nos últimos anos tem-se estudado a transformação deste resíduo a fim de gerar subprodutos de alto valor agregado (Fiorda, 2013; Ferreira et al., 2018). A peletização se torna uma alternativa viável tanto técnica como economicamente para transformá-lo em combustíveis com alta densidade energética competitivo perante outras fontes (Almeida et al, 2019; Souza et al., 2020).

A presente pesquisa apresenta uma alternativa de aproveitamento da biomassa de capim elefante BRS Kurumi, lodo flotado de efluente, tendo bagaço de mandioca como aglutinante. Como objetivos tem-se de produzir *pellets* de capim BRS Kurumi com lodo flotado de efluente agroindustrial e bagaço de mandioca, caracterizando estes *pellets* quanto a análise imediata e estimar o Poder Calorífico Superior, e densidade energética para os *pellets* produzidos.

2 Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Química Orgânica da Universidade Federal do Paraná- Setor Palotina, a biomassa proveniente de capim BRS Kurumi, composta por folhas e caules foi obtida a partir de um plantio com seis meses de idade, em uma propriedade rural na cidade de Palotina - PR. O lodo utilizado foi coletado na Estação de Tratamento de Efluente (ETE) de uma agroindústria na região oeste do Paraná, sendo proveniente do abate de aves, peixes e águas utilizadas na parte interna do complexo, tendo como coagulante cloreto férrico. E, o bagaço de mandioca foi coletado em uma amidonaria também na região oeste do Paraná.

Para determinação do teor de umidade no momento da coleta das amostras, seguiu-se conforme as normativas NBR 9898 (ABNT, 1987) e ASTM E-871- 82.

O teor de umidade de cada amostra coletada foi obtido pela diferença entre as massas da amostra, antes e depois de secagem.

Na Figura 1 pode-se visualizar o fluxograma dos procedimentos experimentais que foram realizados. O capim foi moído em farrageira-picador-moedor Dpm-4 marca Nogueira e assim como o lodo e o bagaço de mandioca seco em estufa até massa constante na sequência foram submetidos a trituração em um triturador farrageiro da marca Tramontina TRF25 com motor 2HP e saída lateral com peneira de abertura de 3 mm, obtendo partículas menores.

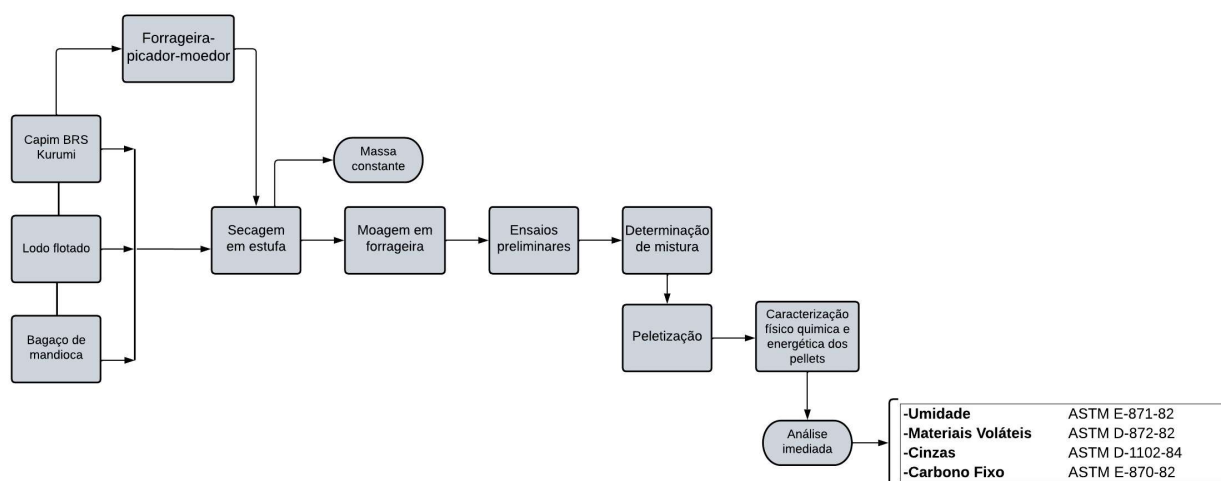


Figura 1. Fluxograma das etapas de produção e caracterização dos *pellets*.

Para as misturas (Tabela 1) seguiram com base em experimentos prévios com os materiais propostos. E, o bagaço de mandioca, utilizado como aglutinante, tem-se o percentual de mistura de até 2% (base mássica). Foram produzidos aproximadamente 10,0 kg de *pellets* para cada tratamento realizado.

Tabela 1. Determinação de proporções das misturas.

Tratamentos	Proporção de mistura em massa (%)
1 TK	100% Capim BRS Kurumi
2 TL	100% Lodo Flotado
3 TKL	80% Capim BRS Kurumi + 20% Lodo Flotado
4 TKLB2	78% Capim BRS Kurumi + 20% Lodo Flotado + 2% Bagaço de Mandioca

Para comparações, *pellets* de 100% maravalha (AMOSTRA 5 TM) também foram analisados.

O material foi compactado na empresa HMbio Energias Renováveis no distrito de Concórdia – Toledo - PR. Os *pellets* foram produzidos em uma prensa peletizadora da marca ATX, com matriz de peletização de orifícios de abertura de 6 mm.

O poder calorífico superior (PCS) foi determinado em bomba calorimétrica automática da marca IKA, modelo C5000, segundo norma ASTM D5865 – 10 (ASTM, 2010). A análise foi realizada na Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Setor Palotina no Laboratório de Nutrição Animal.

Para caracterização físico-química dos *pellets* seguiram-se as recomendações normativas conforme Tabela 2.

Tabela 2. Análises e referências para caracterização dos *pellets* produzidos.

Análises	Normas
Análise imediata	ASTM D1102-84 até E872-82 (ASTM, 1998).
Densidade a granel	EN 15103 (DIN, 2010).
Densidade aparente	Protásio et al. (2013b).
Densidade energética	Garcia et al. (2018).
Poder Calorífico Superior	ASTM D5865 – 10 (ASTM, 2010).

Para determinação da densidade a granel completou-se até a superfície superior de um recipiente com volume conhecido, fazendo assim a relação entre a massa e o volume, e para determinação da densidade aparente, a partir de 40 unidades de *pellets* foram obtidas as medidas da circunferência e altura de cada um, e através da Eq. (1), é possível obter o volume das amostras, e para os resultados das densidades aparente e a granel, foi realizado através da Eq. (2).

$$v = \pi \cdot r^2 \cdot h \tag{1}$$

$$D1 = \frac{m}{v} \tag{2}$$

Sendo r o raio (m), h a altura (m), v o volume (m^3), $D1$ a densidade a granel/aparente ($kg.m^{-3}$) e m a massa (kg).

E a densidade energética foi calculada multiplicando os valores do poder calorífico superior pelos valores de densidade a granel.

Os dados experimentais foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e posterior ao Teste de Tukey a um nível de significância de 95%. O software Statistica 7.0 foi utilizado para a análise estatística.

3 Resultados e discussões

3.1 Teor de umidade das amostras coletadas

Os resultados do teor de umidade das três amostras coletas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Teor de umidade das amostras no local de coleta.

Amostras	Teor de umidade (%)
Capim BRS Kurumi	$64,79 \pm 1,44$
Lodo flotado	$92,35 \pm 4,56$
Bagaço de mandioca	$89,88 \pm 0,13$

Ambos os materiais apresentaram elevado teor de umidade. Almeida (2019), obteve resultados de 70,10 % de umidade para o lodo colido em leito de secagem de reator, e analisou também o capim elefante verde, tendo teor de umidade de 63 %. Para o bagaço de mandioca, Nalevaiko et al. (2021) encontrou resultados de teor de umidade in natura superior a 85 %.

A maravalha de pinus apresentou um teor de umidade no momento da coleta de $7,80 \pm 0,036$. O baixo valor apresentado é referente ao material já ter sua secagem prévia na indústria.

O acúmulo de umidade prejudica a queima da biomassa, reduzindo seu poder calorífico, sendo este um fator limitante na qualidade da combustão da biomassa e a escolha do material a ser utilizado, devendo ter valores abaixo de 50 % para possuir uma quantidade de calor suficiente liberada, motivo pelo qual os materiais para serem utilizados para a combustão passam por secagem prévia quando necessário (Brand, 2010; Klatau, 2008).

3.2 Avaliação dos *pellets* produzidos

Todos os *pellets* produzidos tiveram diâmetro de aproximadamente 6 mm, entretanto com variações no comprimento. Nas Figuras 2 a 5, estão ilustrados os *pellets* produzidos, de acordo com a determinação das proporções de misturas, na Figura 6 os *pellets* 100% maravalha de pinus cedido pela empresa para comparação.



Figura 2. 100% Capim BRS Kurumi (TK).



Figura 3. 100% Lodo Flotado (TL).



Figura 4. 80% Capim BRS Kurumi + 20% Lodo (TLK).



Figura 5. 78% Capim BRS Kurumi + 20% Lodo + 2% Bagaço de Mandioca (TKLB2).



Figura 6. 100% Maravalha de pinus (TM).

O sistema de norma EN 14961-6 (DIN, 2012) define que o diâmetro dos *pellets* sejam de 6 ± 1 ou 8 ± 1 mm. Assim, todos os *pellets* produzidos atendem a especificação da normativa.

Na Tabela 4, são apresentados os valores médios em base seca para os teores de umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas obtidos a partir da análise imediata para as 5 amostras dos *pellets*.

Tabela 4. Análise imediata dos *pellets*.

Amostras	Umidade (%)	Materiais Voláteis (%)	Carbono Fixo (%)	Cinzas (%)
TK	$6,76 \pm 0,08$ a	$67,25 \pm 0,59$ c	$17,51 \pm 0,73$ a	$14,66 \pm 0,15$ d
TL	$0,79 \pm 0,22$ c	$87,30 \pm 1,01$ b	$6,43 \pm 0,39$ b	$6,25 \pm 0,61$ a
TKL	$5,68 \pm 0,16$ b	$74,56 \pm 4,26$ c	$18,14 \pm 3,69$ a	$7,28 \pm 0,67$ a
TKLB2	$5,99 \pm 0,19$ b	$76,10 \pm 2,52$ c	$14,96 \pm 2,45$ a	$8,92 \pm 0,12$ c
TM	$6,51 \pm 0,13$ a	$84,80 \pm 0,73$ b	$13,10 \pm 0,85$ a	$2,09 \pm 0,13$ b

Nota: Média seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Turkey, com significância de 5% ($p < 0,05$).

Os teores de umidade após a secagem em estufa variaram de 0,79 % (amostra TL) a 6,76% (amostra TK). Teores reduzidos de umidade são requeridos do ponto de vista técnico para o processo de peletização quanto para energia. Um menor teor de umidade nos *pellets* contribui de forma positiva para o aumento do poder calorífico (Magalhães et al., 2016).

Para teor de materiais voláteis, TK apresentou o menor teor 67,25 %, enquanto que para TL obteve-se o maior valor de materiais voláteis 87,30 %, a adição de aglutinante, contribuiu para o aumento deste teor (TKLB2 76,10%) em relação a TKL. Os materiais voláteis desempenham um papel importante no processo de ignição e degradam a biomassa com maior facilidade colaborando com a permanência da chama da combustão (Cortez et al., 2008). Para os teores de carbono fixo os resultados variaram de 18,14 % (TKL) a 6,43 % (TL), sendo que alto teor de carbono fixo contribui para o tempo de queima e eficiência do material, e apresenta uma relação inversamente proporcional ao percentual de materiais voláteis (Reis et al., 2012).

O tratamento TK apresentou o maior teor de cinzas (14,66 %). As cinzas são materiais inertes que não produzem calor, e seu aumento diminui o poder calorífico do material (Padilha et al., 2019). Estes maiores teores de cinzas presentes nos tratamentos são devido a sua maior quantidade de materiais inorgânicos, não voláteis, presentes no material. É notório que, quando adicionado lodo de efluente nas misturas o teor de cinzas diminuiu sendo 7,28 % para TKL e 8,92 % para TKLB2. Já os *pellets* compostos de maravalha apresentaram a menor quantidade de cinzas (2,09 %). A norma EN 14961-6 estipula valor máximo de 10 % do teor de cinzas para *pellets*. A amostra TK não se enquadra de acordo com a norma.

Quando comparado a literatura Almeida (2020), avaliou a produção de *pellets* utilizando o capim elefante verde e lodo proveniente de reator UASB com misturas de 50 % lodo e 50 % capim e 25 % lodo e 75 % capim tendo resultados, respectivamente, de teor de umidade de 12,12 % e 10,44 %, materiais voláteis 77,63 % e 70,70 %, carbono fixo 5,86 % e 19,69 % e cinzas 16,51 % e 9,61 %. Para *pellets* produzidos apenas de maravalha de pinus Camargo et al. (2017), obteve valores para umidade 12,36 %, materiais voláteis 80,86 %, carbono fixo 18,03 % e teor de cinzas 1,11 %.

Os resultados obtidos para análise imediata dos *pellets* produzidos estão próximos aos encontrados na literatura, entre os tratamentos TK destaca-se a mistura TKL, que possuiu menor teor de cinzas e umidade, e elevado teor de carbono fixo. E quando adicionado aglutinante a mistura TKLB2 apresentou resultados positivos.

3.2.1 Poder calorífico superior, densidade a granel, aparente e energéticas

O poder calorífico em *pellets* varia de acordo com o tipo de biomassa utilizado como matéria-prima no processo. Quanto maior for a densidade a granel dos *pellets* mais elevada é sua densidade energética, levando em consideração seu poder calorífico superior (PCS). É possível verificar, na Tabela 5, o PCS, as densidades a granel, aparente e as densidades energéticas para os *pellets* analisados.

Tabela 5. Poder calorífico superior, densidade a granel, aparente e energética dos *pellets*.

Amostras	PCS [MJ.Kg ⁻¹]	Densidade a granel [kg.m ⁻³]	Densidade energética a granel [GJ.m ⁻³]	Densidade aparente [kg.m ⁻³]	Densidade energética aparente [GJ.m ⁻³]
TK	15,09 a	525,36 c	7,92 a	857 a	12,93 a
TL	17,62 c	473,0 a	8,33 b	870 a	15,32 b
TKL	16,48 b	494,28 a	8,14 b	1018 d	16,77 c
TKLB2	18,35 d	508,02 b	9,32 c	889 b	16,31 c
TM	18,41 d	547,16 c	10,07 d	984 c	18,11 d

Nota: Média seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Turkey, com significância de 5% (p<0,05).

Para o PCS o maior valor médio obtido, entre os tratamentos TK, foi de TKLB2, 18,35 MJ.kg⁻¹, seguido de TL 17,62 MJ.kg⁻¹, a adição de aglutinante aos *pellets* aumentou o poder calorífico em relação ao tratamento TKL.

Em comparação com a maravalha de pinus TM que teve o maior PCS 18,41 MJ.kg⁻¹, está relacionado com a constituição química da madeira, principalmente a lignina e extrativos, valores que não são elevados para resíduos lignocelulósicos, fato observado em TK que possuiu o menor PCS 15,09 MJ.kg⁻¹.

Camargo et al. (2017), obteve 20,25 MJ.kg⁻¹ de poder calorífico superior para *pellets* de maravalha de pinus. Quando comparado as principais matérias-primas para geração de calor, Parikh, Channiwala and Ghosal (2005), utilizaram cavaco de pinus que obteve 20,18 MJ.kg⁻¹ e casca de pinus 22,18 MJ.kg⁻¹ para o PCS. Assim, os valores obtidos através da bomba calorimétrica não se mostraram muito divergentes ao comparados com os principais combustíveis utilizados, entretanto são valores abaixo dos mesmos.

A densidade a granel das amostras variou de 473,0 kg.m⁻³ (TL) a 547,16 kg.m⁻³ (TM). As amostras TK e TM obtiveram os maiores valores de densidade a granel, o que conseqüentemente aumenta as suas densidades energéticas, uma vez que quanto maior for a densidade a granel dos pellets mais elevada é sua densidade energética, levando em consideração seu poder calorífico superior.

A densidade energética indica o potencial da biomassa em termos energéticos por unidade de volume. A amostra TKLB2 obteve maior densidade energética a granel (9,32 GJ.m⁻³). A amostra TK apesar de obter valores elevados para densidade a granel (523,36 kg.m⁻³), não obteve valores elevados para a densidade energética a granel, devido ao seu poder calorífico superior ter sido baixo.

A densidade a granel de resíduos agrícolas e gramíneas variam entre 80 a 150 kg.m⁻³ e a densidade a granel da madeira, em cavacos ou serragem, de 150 a 250 kg.m⁻³. Sendo assim a compactação traz vantagens relacionadas ao volume e por calorífico (Tumuluru et al, 2011). Segundo Protásio et al., (2015) pellets com maior densidade energética liberam, durante a sua queima, maior quantidade de energia por unidade volumétrica, além de viabilizar o transporte dos mesmos a longas distâncias.

Já a densidade aparente dos tratamentos TKL e TKLB2 apresentaram as maiores densidades de 1018 kg.m⁻³ e 889 kg.m⁻³ respectivamente, o que implica que com a adição de lodo de efluente nas amostras aumentou sua densidade aparente, que leva em conta a altura, diâmetro dos *pellets* e massa, e os mesmos tratamentos obteve valores elevados para densidade energética aparente de 16,77 GJ.m⁻³ e 16,31 GJ.m⁻³ respectivamente.

Com relação a TM, foi observado uma elevada densidade aparente 984 kg.m⁻³ e a maior densidade energética aparente 18,11 GJ.m⁻³, devido ao elevado PCS presente na maravalha de pinus. Além disso, é importante notar que variáveis como tamanho de partícula, teor de umidade e a peletização, influenciam na densidade dos *pellets* produzidos.

4 Conclusões

- a) O teor de umidade para as biomassas estava em conformidade para realizar a compactação do material, de modo que foi possível realizar a peletização para os tratamentos propostos (TK, TL, TKL e TKLB2).
- b) Pelos resultados obtidos a adição de lodo ao capim BRS Kurumi proporcionou redução no teor de cinzas 14,66 % (TK) para 7,28 % (TKL), característica importante devido a contribuição negativa para o poder calorífico e para prevenção de corrosão em queimadores.
- c) A adição de bagaço de mandioca ao capim BRS Kurumi e ao lodo flotado, nas condições de umidade, granulometria e equipamento utilizado não contribuiu para a agregação das partículas;
- d) O qual pode ser observado pela densidade, onde o tratamento TKL apresentou maior densidade aparente e maior densidade energética, em comparação com TKLB2.
- e) É possível considerar que TKL foi melhor que os demais tratamentos, devido ao menor teor de cinzas e umidade, e elevado teor de carbono fixo que conseqüentemente aumentou o poder calorífico dos *pellets* produzidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) concedido pela Fundação Araucária pelo apoio financeiro, e a empresa HMBio Energias Renováveis na realização desta pesquisa.

Referências bibliográficas

- Almeida, CASM (2020) *Prospecção do lodo de ETE com capim elefante e óleo de cozinha residual como alternativa energética de pellets*. Dissertação Mestrado, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.
- American Society for Testing and Materials – ASTM (1998) ‘Standard Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels’, *ASTM E 871-82*. West Conshohocken, PA, USA.
- American Society for Testing and Materials – ASTM (1998) ‘Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels’, *ASTM E 872-82*. West Conshohocken, PA, USA.
- American Society for Testing and Materials – ASTM (2001) ‘Standard Test Method for Ash in Wood’, *ASTM D1102-84*. West Conshohocken, PA, USA.
- American Society for Testing and Materials – ASTM (2006) ‘Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuels’, *ASTM E870-82*. West Conshohocken, PA, USA.
- American Society for Testing and Materials – ASTM (2010) ‘Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke’, *ASTM D5865 – 10*. West Conshohocken, PA, USA.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1987) *NBR 9898 – Preservação e Técnicas de amostragem de afluentes líquidos e corpos receptores*. ABNT. Rio de Janeiro. RJ, BR.
- Brand, MA (2010) *Energia de biomassa florestal*. Rio de Janeiro: Editora Interciência.

- Camargo, BS, Junior, AB, Camargo, SKCA, Caraschi, JC (2017) ‘Análise de pellets de madeira produzidos a partir de diferentes composições’, *ConBRepro*, VII° Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa.
- Deutsches Institut für Normung – Din (2012) *EN 14961-6: Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 6: Non-woody pellets for non-industrial use*. Berlim, CEN, 16 p.
- Deutsches Institut für Normung - Din Certco (2015) *Certification scheme wood pellets for use in small furnaces – DINplus*. Berlim.
- Ferreira, A, Fagnani, KC, Alves, HJ, Colpini, LMS, Kunh, SS, Conserva, LRS, Melchiades, FG (2018) ‘Effect of incorporating sludge from poultry slaughterhouse wastewater treatment system in ceramic mass for tile production’, *Environmental Technology & Innovation*, [e-journal] v. 9, pp. 294-302. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2017.11.010>
- Fiorda, FA, Junior, MSS, Silva, FA, Souto, LRF, Grossmann, MVE (2013) ‘Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca’, *Ciência e tecnologia de alimentos*, [e-journal] v. 3, n.4, pp. 408-416. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000400005>
- Garcia, DP, Caraschi, J, Ventorim, G, Vieira, F, and Protásio, T (2018) ‘Comparative energy properties of torrefied pellets in relation to pine and elephant grass pellets’, *Bioresources*, v. 13, n. 2, pp. 2898-2906.
- Garcia, DP, Caraschi, JC, Ventorim, G, Vieira, FHA (2016) ‘Trends and challenges of brazilian pellets industry originated from agroforestry’, *Cerne*, [e-journal] v. 22, n. 3, pp. 233-240. <https://doi.org/10.1590/01047760201622032115>
- Garcia, NN (2016) *Uso do lodo de flotor de abatedouro de abes na produção de Biochar*. Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, f. 43.
- Iwaki, G (2018) ‘Destinação final de lodos de ETAs e ETEs’, *Scientech Ambiental*, São Paulo: Portal Tratamento de Água.
- Klatau, JVP (2008) *Análise experimental de uma fornalha a lenha de fluxo Cocorrente para secagem de grãos*. Dissertação, PPGERHA, Universidade Federal do Paraná.
- Magalhães, MA, Donato, DB, Canal, WD, Carneiro, ACO, Pereira, BLC, Vital, BR (2016) ‘Caracterização de pellets produzidos a partir de capim-elefante para uso energético’, *Brazilian Journal of Wood Science*, [e-journal] v. 7, n. 3, pp. 155-162.
- Muazu, RI, Stegemann, JA (2017) ‘Biosolids and microalgae as alternative binders for biomass fuel briquetting’, *Fuel*, [e-journal] v. 194, pp. 339-347. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2017.01.019>
- Nalevaiko, JZ, Cremonoz PA, Teleken JG (2021) ‘Utilização de subprodutos agroindustriais na produção de briquetes’, *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, [e-journal], v. 5, n.1, pp. 1-26. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2021v15n1p1-26>
- Neuwald, OA, Borghetti, M, Perondi, D, Hillih, E, Godinho M (2022) ‘Steam catalytic gasification of elephant grass pellets’, *Process Safety And Environmental Protection*, [e-journal] v. 162, n. 1, pp. 620-630. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.019>
- Padilha, J, Kurek, AP, Souza, O, Sellin, N (2019) ‘Avaliação da potencialidade energética de lodos gerados no tratamento de efluentes de abatedouro e frigorífico de ave’, *SWAN*, 30° Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, São Paulo.
- Parikh, J, Channiwala, SA, Ghosal, GKA (2005) ‘Correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels’, *Fuel*, [e-journal] v. 84, n. 5, pp. 487-494.
- Protásio, TP, Couto, AM, Reis, AA, Trugilho, PF (2013b) ‘Seleção de clones de Eucalyptus para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas’, *Scientia Forestalis*. v. 41, n. 97, pp. 15-28.
- Protásio, TP, Trugilho, PF, Siqueira, HF, Melo, ICNA, Andrade, CR, Guimarães Jr, JB (2015) ‘Caracterização energética de pellets in natura e torreficados produzidos com madeira residual de Pinus’, *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 35, n. 84, pp. 435-442.

REIS, AA, Melo, ICNA, Protásio, TP, Trugilho, PF, Carneiro, ACO (2012) ‘Efeito de local e espaçamento na qualidade do carvão vegetal de um clone de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake’, *Floresta e Ambiente*, [e-journal] v. 19, n. 4, pp. 497-505. <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2012.055>

Rosa, PP, Silva, PM, Chesini, RG, Oliveira, APT, Sedrez, PA, Faria, MR, Roll, VFB, Ferreira, OGL (2019) ‘Características do Capim Elefante *Pennisetum purpureum* (Schumach) e suas novas cultivares BRS Kurumi e BRS Capiacu’, *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, [e-journal] v. 25, n. 1/2, pp. 70-84. <https://doi.org/10.36812/pag.2019251/270-84>

Souza, MM, Carneiro, ACO, Vital, BR, Barbosa, AC (2020) ‘Produção e avaliação de pellets compostos por diferentes proporções de resíduos sólidos urbanos’, *Nature and Conservation*. [e-journal] v. 13, n. 3, pp. 80- 92. <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2020.003.0008>

Tanabe, AM (2017) *Capim elefante como uma fonte renovável para produção de energia*. Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Tumuluru, JS, Wright, CT, Hess, JR, Kenney, KLA (2011) ‘A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application’, *Biofuels*, Bioproducts and Biorefining, v.5, n.6, pp. 683- 707.