



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA**

**TOMÁS ANTÓNIO DIAS SOQUE**

**PELLETS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E DE CANA ENERGIA COM  
ADIÇÃO DE AGENTE AGLUTINANTE E TRATAMENTO POR TORREFAÇÃO**

**RIO LARGO  
2022.2**

**TOMÁS ANTÓNIO DIAS SOQUE**

**PELLETS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E DE CANA ENERGIA COM A  
ADIÇÃO DE AGENTE AGLUTINANTE E TRATAMENTO POR TORREFAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Ivo Silva

Coorientador: Prof. Me. Alson David Rodrigues da Silva

**RIO LARGO**  
2022.2

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias**  
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

V331p      Soque, Tomás António Dias

Pellets de bagaço de cana-de-açúcar e cana energia com  
adição de agente aglutinante e tratamento por torrefação / Tomás  
António Dias Soque. - 2022.  
46 f.; il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de  
energia) — Campus de Engenharias e Ciências Agrárias Universidade  
Federal de Alagoas. Rio Largo, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Ivo Silva.

Inclui bibliografia.

1. Bagaço de cana; 2. Pellets. 3. I. Título

CDU: 633.61

## Folha de Aprovação

Tomás Antônio Dias Souza

Pellets de bagaço de cana-de-açúcar e de cana-energia com adição de agente aglutinante e tratamento por torrefação

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Energia pela Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 19 de agosto de 2022.

---

Prof. Dr. Ivo da Silva (CAMPUS ARAPIRACA/UFAL) (Orientador)

Banca Examinadora:

gov.br

Documento assinado digitalmente

AMANDA SANTANA PEITER

Data: 08/03/2023 14:49:43-0300

Verifique em <https://verificador.itl.br>

---

Prof. Dra. Amanda Santana Peiter (CECA/UFAL) (1º Avaliador)

*Ricardo Araújo Ferreira Junior*

---

Prof. Dr. Ricardo Araújo Ferreira Junior (CECA/UFAL) (2º Avaliador)

*Kleber Jean Leite dos Santos*

---

Prof. Dr. Kleber Jean Leite dos Santos (CTEC/UFAL) (3º Avaliador)

*Dedico o meu tcc aos meus Pais António  
Cabita e Maria Helena Dias.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Primeiramente a Deus, por ter me ajudado a vencer todas as dificuldades durante o curso, dando-me muita força para alcançar o sonho de ser um engenheiro.*

*Ao meu pai, António Cabita, e à minha mãe, Maria Helena Dias, por serem minha fonte de sustentação;*

*Aos meus padrinhos, Henrieth e Tako, por todo apoio e força;*

*Aos meus queridos irmãos, Manoel, João, Cândido, António e Daniel, aos quais tive a oportunidade de compartilhar a minha história desde o início da vida.*

*Aos meus professores que sempre torceram por mim, Lucas Meili, João Inácio Solete, Ricardo, Márcio Cavalcante e Francisco Pteguar, por todos os conselhos, ajuda e paciência durante meu processo de aprendizagem;*

*Aos amigos, João Maria de Sousa, Oliveira Liro, Manuel Victor, Halbate Crima, Rodrigo Barros, Hallph Araujo, Juliana Sá, José Elidio, Maria Cecília, pela parceria, apoio e amizade durante o curso.*

*Aos meus rapazes da comunidade africana de Alagoas, a Barbára de Cássia;*

*Aos meus colegas da Lumen e da Inova Ambiental, Junior Barros, Paulo*

*Cesar,  
meu irmão Jaly Marcio Espindola e aos demais não mencionados aqui.*

*“Quem acredita sempre alcança.”*  
Mateus 17:20

## RESUMO

A biomassa é uma das fontes de geração de energia limpa e sustentável mais promissora que existe. O Brasil é um país com grande potencial de geração deste tipo de energia devido a sua vasta área territorial e a imensa variedade de biodiversidades. O cultivo da cana-de-açúcar é bastante difundido no país, produzindo, açúcar, álcool e energia através da queima do bagaço de cana. Todavia essa geração de energia é ineficiente devido ao alto teor de cinzas que reduz drasticamente a eficiência energética. Neste trabalho, desenvolveu-se *pellets* de bagaço de cana-comum e cana-energia, foi avaliado as propriedades energéticas com adição de 5% de óleo de cozinha residual como agente aglutinante e também o tratamento por torrefação a 230 °C, a fim de obter um produto com maior densidade, e comparou-se as análises feitas nos *pellets* de cana-comum aos *pellets* de cana-energia. Os *pellets* de cana energia apresentaram maior poder calórico que os *pellets* de cana comum e ambos tiveram um aumento significativo na eficiência energética com a adição de óleo de cozinha residual como também com o processo de torrefação. A adição do óleo de cozinha residual também apresentou redução no teor de cinzas, apresentando grande potencial como agente aglutinante melhorando as propriedades energéticas dos *pellets* de bagaço de cana tornando-o mais eficiente.

**Palavras-chave:** Pellets; Bagaço de Cana; Combustível Sólido; Sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

Biomass is one of the most promising sources of clean and sustainable energy generation that exists. Brazil is a country with great potential for generating this type of energy due to its vast territorial area and immense variety of biodiversity. The cultivation of sugarcane is widespread in the country, producing sugar, alcohol and energy through the burning of sugarcane bagasse. However, this energy generation is inefficient due to the high ash content that drastically reduces energy efficiency. In this work, common sugar cane and energy cane bagasse pellets were developed, the energy properties were evaluated with the addition of 5% of residual cooking oil as a binding agent and also the treatment by roasting at 230 °C, in order to obtain a product with greater density, and the analyzes carried out on the common sugarcane pellets were compared to the energy cane pellets. Energy cane pellets had higher calorific value than common sugar cane pellets and both had a significant increase in energy efficiency with the addition of residual cooking oil as well as with the roasting process. The addition of residual cooking oil also reduced the ash content, presenting great potential as a binding agent, improving the energy properties of sugarcane bagasse pellets, making them more efficient.

**Keywords:** Pellets; Sugarcane bagasse; Solid Fuel; Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b>	. Participação da biomassa na matriz energética, Balanço Nacional de Energia.....	19
<b>Figura 02</b>	. Cana-Comum .....	21
<b>Figura 03</b>	. Cana-Energia .....	22
<b>Figura 04</b>	. Fases do preparo, tratamento da matéria prima.....	29
<b>Figura 05</b>	. A) Balança digital; (B) forno mufla; (C) dessecador; (D) pinça; (E) estufa; (F) moinho e (G) pelletizadora.....	29
<b>Figura 06</b>	. Amostra de pellets de cana – energia torrefado.....	30
<b>Figura 07</b>	. Balança digital bioprecisa.....	30
<b>Figura 08</b>	. Pellets torrefado, cana – comum.....	31

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01 .</b>	Normas de padronização da Alemanha e da Suécia para <i>pallets</i> .....	24
<b>Tabela 02 .</b>	Normas de padronização Austríaca e Sueca.....	25
<b>Tabela 03 .</b>	Perda de massa dos pellets, após tratamento por torrefação.....	33
<b>Tabela 04 .</b>	Poder calorífico e teor de umidade dos pellets in natura e torrefados, para os quatros tratamentos.....	34
<b>Tabela 05 .</b>	Influência da massa na densidade básica dos pellets.....	36
<b>Tabela 06 .</b>	Densidade energética.....	37
<b>Tabela 07 .</b>	Teor de cinzas.....	38
<b>Tabela 08 .</b>	Durabilidade mecânica e teor de finos de pellets in natura e torrefados, feito no moinho de bolas a 100 rpm e 10 min.....	39

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**NBR** – Norma Brasileira Regulamentadora

**TCC** – Trabalho de Conclusão de Curso

**UFAL** – Universidade Federal de Alagoas

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Objetivo da pesquisa.....</b>	<b>17</b>
1.1.2 Gerais.....	17
1.1.3 Específicos.....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
3.1 Local da pesquisa.....	28
3.2 Tratamento da matéria prima.....	28
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
4.1 Torrefação.....	33
4.2 Teor de umidade e poder calorífico.....	34
4.3 Densidade básica.....	35
4.4 Densidade energética.....	36
4.5 Teor de cinzas.....	36
4.6 Durabilidade mecânica e teor de finos.....	38
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas mais eficientes na conversão de energia solar em energia química e os melhoristas (especialistas em melhoramento genético), desde o princípio, vêm explorando a ampla variabilidade genética presente na espécie *Saccharum officinarum*. Os tradicionais programas de melhoramento genético têm voltado suas atenções majoritariamente ao desenvolvimento de cultivares para a maior produção de açúcar e etanol. No entanto, recentemente, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos visando avaliar o seu desempenho e otimizar o seu potencial energético a partir de cultivares com maior teor de fibra e elevada produção de biomassa (SILVEIRA, 2014).

Assim sendo, a cana-energia é resultado de um cruzamento de híbridos comerciais e ancestrais para produção de uma cana mais robusta, resistente a pragas e a treze variações climáticas. Além disso, está também possui um maior teor de fibras e menos sacarose, sendo considerada uma alternativa na obtenção de etanol de segunda geração. Ademais, apresenta potencial para queima de caldeiras, junto a sua palha, tem alto poder calorífico, constituindo assim um material entre outras rotas já desenvolvidas para produtos e subprodutos da cana-energia (KIM; DAY, 2011).

Com um genoma complexo, a planta tem suas espécies derivadas de híbridos oriundos de cruzamentos entre espécie *Saccharum officinarum*, que foram à base para programas de melhoramento de cana em todo o mundo (DIAS et al., 2012). De acordo com Júnior e Agudo (2009), muitas das usinas e destilarias em atividade estão produzindo energia elétrica a partir dos resíduos (palha, ponteira e bagaço). No Brasil, na safra 2021/2022, a área plantada de cana-de-açúcar foi de 8317,33 mil hectares com produção de, 585.179,407 mil toneladas (CONAB, 2023).

Dessa forma, o Brasil é o principal produtor mundial de cana-de-açúcar, produzindo na safra 2020/2021, 654,5 milhões de toneladas destinados a produção de 41,2 milhões de açúcar e de 29,7 bilhões de litros de etanol. Para cada tonelada de cana-de-açúcar utilizada na produção sucroalcooleira, são produzidas em média 560 kg de resíduos (bagaço e palha), gerando anualmente  $15 \text{ t} \cdot \text{hat}^{-1}$  de resíduos de cana. Isto posto, é possível destacar que os resíduos agrícolas são importantes depósitos energéticos, sendo melhor aproveitados na forma de briquetes e *pellets*. (MASULLO et al., 2018).

Segundo Paiva e Lima (2017), o desenvolvimento econômico insustentável e os impactos na natureza foram gerando discussões como crescimento econômico versus proteção

da natureza. Com a crise do petróleo em 1970, iniciaram-se pesquisas em busca de energias alternativas, uma vez que as reservas energéticas oriundas dos combustíveis fósseis tiveram limites anunciados. Uma gama de tecnologia foi desenvolvida para criação de fontes alternativas de energia, menos impactantes ao meio ambiente, tais como: energia proveniente das marés, da radiação solar, do vento, da biomassa etc.

Por conseguinte, a biomassa é uma alternativa eficiente, limpa, sustentável e barata. O uso de resíduos de colheita, madeiras, bagaço de cana-de-açúcar etc. Para a produção de *pellets* tornou-se uma forma eficiente para diversificar a matriz energética, contribuindo para a conservação do meio ambiente, através da redução de gases de efeito estufa, (SILVA, 2021).

A pelletização de resíduos agrícolas e agroindustriais consiste na compactação desses resíduos, de modo a obter maior densidade energética (em  $kcal.m^{-3}$ ). A densidade energética representa a quantidade de energia que pode ser liberada por unidade de volume após combustão completa. Dependendo da composição química e condições físico- químicas desses resíduos, que para esses processos são considerados matérias-primas, eles devem passar por diversos tratamentos até à produção de *pellets*. (DIAS et al., 2012).

*Pellet* é um aglomerado combustível feito a partir de matéria resultante da biomassa, triturado e seco, sendo depois comprimido obtendo a forma final de pequenos cilindros; entretanto, para que o *pellets* tenha boa qualidade são necessárias outras operações unitárias que em conjunto, formam a planta de compactação de biomassa (DIAS et al., 2012).

No Brasil muitos estudos em torno da produção de *pellets* com bagaço de cana-de-açúcar ainda merecem ser realizados. Logo, autores como Uasuf & Becker (2011) destacam às análises das propriedades físicas, mecânicas e químicas visando controles de qualidade e o seguimento de normas internacionais de qualidade e comercialização dos *pellets*. Por seu lado, Almeida (2015) realizou um estudo no processo de pelletização de bagaço de cana-de-açúcar a fim de caracterizar as principais propriedades físicas, mecânicas e químicas do produto final, bem como o rendimento energético do processo de produção.

Outro destaque, é o trabalho de Melo et al. (2018) que teve como objetivo geral otimizar o processo de produção de *pellets*, a partir do bagaço de cana-de-açúcar, *in natura* ou utilizando-se aglomerantes orgânicos, analisando-se as variáveis envolvidas e a visibilidade de implantação dessa técnica de empacotamento de uma indústria de médio porte. Destaca-se a pesquisa de Masullo et al. (2018), que estudou o potencial de produção de *pellets* a partir de

resíduos da cana-de-açúcar, especificamente caracterizando as qualidades físico-mecânicas de *pellets* em diferentes proporções de bagaço e de palha da cana-de-açúcar.

Partindo disso, neste trabalho, foi utilizado o resíduo de óleo vegetal como agente aglutinante para a fabricação de *pellets*. Visando proporcionar finalidade adequada ao resíduo usado e obter um material que agregue uma série de vantagens, se comparado a utilização da biomassa em estado natural, principalmente no tocante ao armazenamento, manuseio, aumento de densidade e poder calorífico.

A taxa de combustão dos *pellets* é comparável à do carvão mineral, sendo que a combustão é mais uniforme, com redução de emissão de partículas e maior inflamabilidade. Na verdade, as dimensões uniformizadas garantem um menor custo de transporte e fácil armazenamento. Já o baixo teor de cinza, devido a adição do resíduo de óleo, faz com que esses combustíveis tenham grande viabilidade técnica, para uso principalmente em fornos de queima e caldeiras. Posto isso, a seguir serão expostos os objetivos da presente pesquisa.

## 1.1 OBJETIVOS

Para a realização desta pesquisa, destacam-se os objetivos listados a seguir.

Geral:

Caracterizar o potencial energético dos *pellets* de bagaço de Cana-Comum (RB951541) e de Cana-Energia (RB11999), avaliando a adição de agente aglutinante e tratamento por torrefação.

Específicos:

- Analisar o teor de umidade dos *pellets*;
- Avaliar o poder calórico dos *pellets*;
- Comparar as densidades básica e energética obtidas;
- Analisar o teor de cinzas dos *pellets* e
- Comparar a durabilidade mecânica dos *pellets in natura* e torrefados.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A biomassa é geralmente entendida como toda a matéria orgânica, não fóssil, de origem vegetal, animal ou microbiana. Ou seja, todo material orgânico de origem vegetal, derivado da reação entre gás carbônico, água e luz solar, logo, pelo processo de fotossíntese, o qual armazena fração de energia solar nas ligações químicas de seus componentes (SOUZA et al., 2002).

Para fins energéticos compreende: plantas cultivadas ou nativas; descartes das lavouras; florestas nativas ou cultivadas e resíduos florestais, ou de madeira inclusive de construções; esterco de animais domésticos; esgotos urbanos; lixo doméstico com resíduos de origem animal ou vegetal; formações orgânicas como a turfa; resíduos de matadouros e das indústrias de processamento de produtos agrícolas (DIAS et al., 2012).

Á vista disso, a biomassa pode ser utilizada diretamente para geração de calor ou de energia elétrica, ou ainda transformada em biocombustíveis sólidos, tais como briquetes e *pellets*, líquidos como etanol e biodiesel, ou gasosos, a exemplo do biogás e gás de síntese (BOLZAN, 2015). De acordo com Stermann et al. (2012), aplicando-se diferentes tecnologias, pode-se transformar estes biocombustíveis em energia nas formas mecânica, térmica ou elétrica, as quais podem ser utilizadas de diversas maneiras para suprir as necessidades das atividades humanas.

No que tange à biomassa no Brasil, o país dispõe de várias alternativas para geração de energia elétrica, dentre as quais resíduos de madeira, bagaço de cana-de-açúcar, resíduo de coco etc. Em relação a biomassa, particularmente, há uma grande variedade de recursos energéticos, desde culturas nativas até resíduos de diversos tipos. No entanto, segundo Goldemberg & Moreira (2005), a pouca informação a respeito do potencial energético desses resíduos limita o seu efetivo aproveitamento.

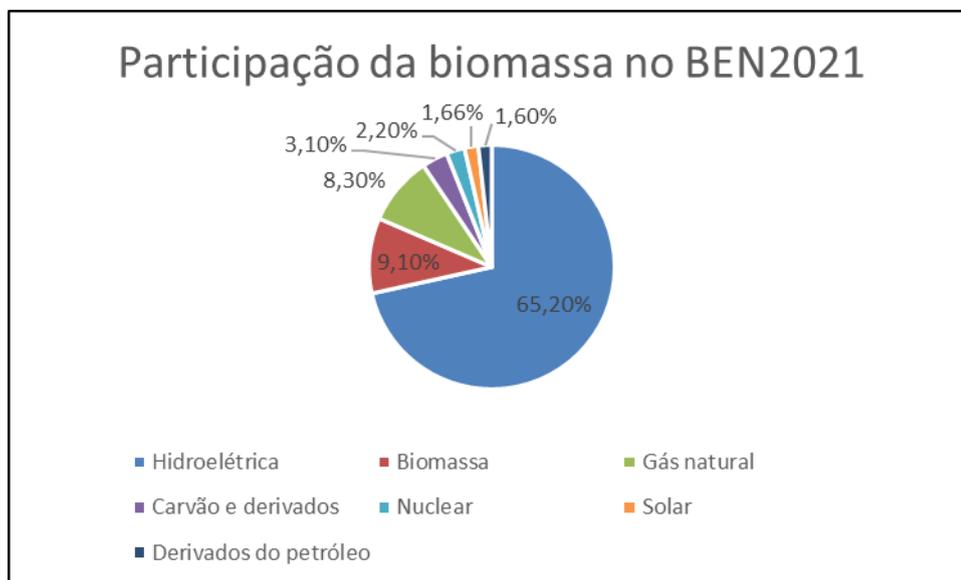
Uma pesquisa realizada por Sartori (2022), aponta que o Brasil é o nono maior país, produtor de *pellets*, na lista liderada pela China e EUA, Rússia em terceiro lugar, seguido do Canadá, Alemanha, Suécia, Finlândia e Áustria.

De acordo com o Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em novembro de 2022, 79,09% é gerado pelas hidroelétricas cerca de 70.754 MW, 18,51% pelas termoelétricas cerca de 18.387 MW, 2,37% pelas termonucleares cerca de 2.07 MW e 0,03% por outras fontes cerca de 22,09 MW (ANEEL, 2022).

Conforme os dados do Balanço Energético Nacional (2021), a participação da biomassa

na matriz elétrica brasileira foi de 9,1%, já no que se refere a matriz energética, a partir da utilização de lenha de carvão vegetal (7,5%), bagaço de cana-de-açúcar (16,3%) e outros (4,8%).

**Figura 1** – Participação da biomassa na matriz elétrica, Balanço Nacional de Energia, 2021.



**Fonte:** Autor 2022.

Vieira (2012) aponta que tanto em escala mundial como no Brasil, o potencial energético da biomassa é enorme, podendo se tornar uma das soluções para o fornecimento de eletricidade em comunidades isoladas, incentivando o desenvolvimento de atividades extrativistas sustentáveis que contribuam para o desenvolvimento destas comunidades.

Dessa forma, é possível apontar que o Brasil tem um grande potencial para geração de energias renováveis. Para a safra de 2020/2021, o país produziu 654,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar.

Na verdade, estima-se que há anos a biomassa representa 14% de todo consumo mundial de energia primária. Em alguns países em desenvolvimento esta parcela pode aumentar para 34%, chegando a 60% na África (TAVARES; SANTOS, 2013). O bagaço de cana-de-açúcar também pode ser aproveitado na forma de *pellets*, que é o nome dado ao produto resultante do processo de compressão aplicada a uma matéria-prima, sendo que em muitos casos essa é preparada previamente através do processo de secagem e moagem (MADRUGA, 2019).

No mesmo sentido, às principais características dos *pellets* em relação a sua matéria-prima, destacam-se maior densidade, menor umidade e variação higroscópica, além de possuir fácil manuseio e armazenamento, o que torna o produto final muito vantajoso se comparado à

matéria prima inicial. Com esse desenvolvimento a pelletização tem ganho mais espaço no mercado, também sendo direcionado para a produção de ração animal, combustível, etc. Em 2022, a demanda agregada mundial de *pellets* de biomassa foi superior a 30,8 milhões de toneladas métricas (Costa et al., 2020).

Conforme Goes (2008), o bagaço e a palha da cana-de-açúcar são matérias-primas de destaque como fontes energéticas nesse novo processo. Uma tonelada de cana contém a energia equivalente a 1,2 barril de petróleo, sendo que cerca de 1/3 dessa energia está armazenada quimicamente no caldo (açúcares) e o 2/3 restantes na biomassa de cana: metade no bagaço e metade na palha, aproximadamente.

Contudo, um dos grandes desafios é a implantação de unidades de cogeração que possam comercializar excedentes de energia elétrica a partir do bagaço e da palha, contribuindo com o sistema interligado nacional. (BARRETO, 2017). A decisão de adotar tecnologias de cogeração pouco eficientes tinha como premissa maximizar a queimado bagaço de cana-de-açúcar devido às dificuldades de estocagem e a pouca relevância do mercado para a venda de eventuais excedentes de bagaço in natura (SILVA, 2016).

Por seu turno, a produção elétrica nas usinas de açúcar e álcool, em sistemas de cogeração que usam o bagaço de cana como combustível, é prática tradicional desse segmento industrial em todo o mundo. O que muda, dependendo das condições particulares de cada país, é a eficiência de uso do bagaço. Em termos mundiais, para (Garcia, 2021), a experiência brasileira é importante em função do porte da atividade canavieira, mas não da eficiência com que a biomassa é empregada.

Os programas de melhoramento da cana em diversos países do mundo, inclusive o Brasil, têm procurado realizar melhorias da cultura em função do objetivo de seu uso. Em busca de melhores variedades desenvolveu-se a cana-energia, também conhecida como *energycane*, desenvolvida para geração de energia, visto sua alta capacidade produtiva de biomassa. Os clones desse material têm em geral menor teor de sacarose e maior teor de fibras totais, porém a alta produção de biomassa total é sempre o primeiro fator a ser considerado (ROSSETO, 2012).

Através cruzamento de espécies híbridas comerciais e ancestrais de cana-de-açúcar, é obtida a cana energia, que é uma forma gerada a partir desse processo. Através disso, a cana fica mais robusta, sendo ótima para fabricar biocombustíveis e bioquímicos de segunda geração e para geração e/ou cogeração de energia elétrica, tendo em vista que, a cana possui maior teor

de fibra e potencial produtivo, (cogeração é a produção simultânea de duas formas de energia a partir do mesmo combustível, por exemplo, nas usinas o bagaço é usado como combustível) (GranBio, 2015).

Em função da sua alta produtividade de biomassa, a cana-energia tem potencial para produzir muito mais açúcares celulósicos por hectare que as variedades convencionais. A Figura 2, mostra a diferença de uma plantação de cana-comum.

**Figura 2** – Cana- Comum.



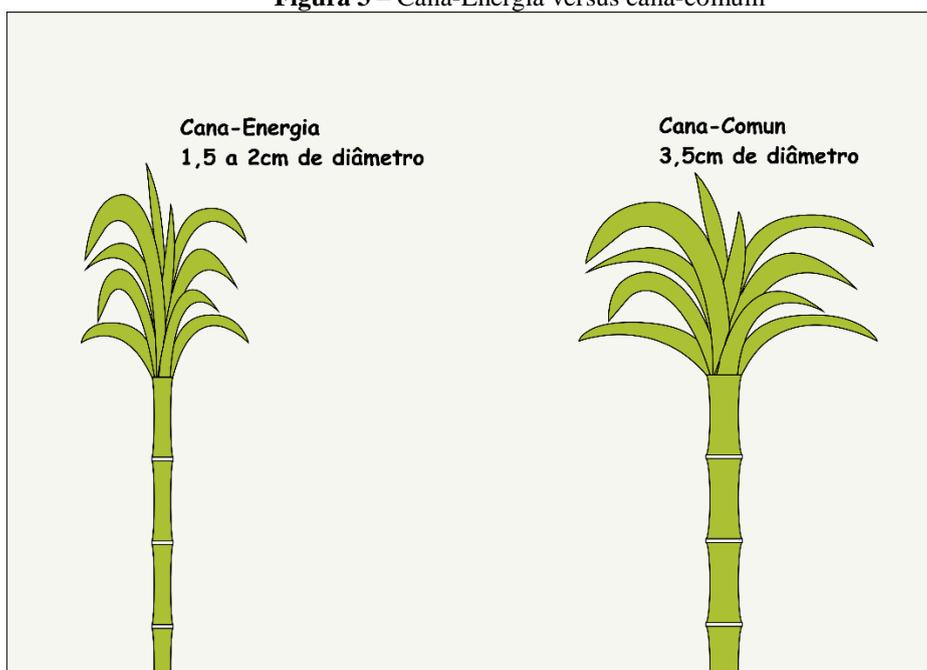
Fonte: Autor, 2022

Silva (2016), por exemplo, explicitou os caminhos pelos quais a cana-energia foi obtida a partir de um programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar tradicional, inicialmente idealizado em Porto Rico, no final da década de 1970, onde começaram as tentativas para obtenção de um material com elevados teores de celulose, hemicelulose e lignina. Para isso, recorreu-se a utilização de variedades mais rústicas de cana-de-açúcar.

Exemplares da espécie *Saccharum officinarum* foram cruzados com exemplares de *Saccharum Spontaneum*, que naturalmente já apresenta um alto teor de fibra. Vale destacar que uma de suas maiores vantagens é a sua flexibilidade, podendo ser cultivada em áreas com baixa aptidão agrícola. Isso permite a exploração de regiões desfavorecidas, o aumento da produtividade por hectare não competindo com a produção de alimentos. Suas principais características é uma maior quantidade de fibra (>18%), rusticidade, rebrotação na soca e facilidade na reprodução bem como raízes mais fortes e melhor resistência ao déficit, (SILVA, 2020).

A cana-energia apresenta algumas características que a distinguem da cana-de-açúcar tradicional: a cana-energia apresenta uma lâmina de folha mais estreita, uma haste mais fina e um perfilhamento mais profuso. Além disso, permite ainda um maior número de colhetas. De acordo com a Figura 3, a cana-energia é mais estreita, porém, mais produtiva do que a cana-comum.

**Figura 3** – Cana-Energia versus cana-comum



**Fonte:** Autor, 2022.

Ademais, foram sistematizadas as principais características das novas variedades obtidas de cana-energia. Diferentemente da cana-de-açúcar comum que apresenta declínio na produção a partir do primeiro corte, na cana-energia a touceira vai perfilhando em decorrência dos rizomas e mantém sua produtividade, sendo assim, a expectativa em relação à longevidade do canavial é de 10 anos. Como o genoma da cana-energia tem maior participação de ancestrais rústicos, ela é mais resistente às doenças que a cana-de-açúcar comum, podendo ser cultivada em áreas mais restritas como ambientes degradados, (CECÍLIA, 2017).

A cana-energia é uma alternativa para área sem que o plantio da cana-de-açúcar, visto sua maior produtividade em suco, açúcar, bagaço e biomassa. Se for considerada o elevado potencial produtivo e que o Brasil apresenta 32 milhões de hectares de pastagens degradadas está pode ser uma opção para suplementação alimentar para o rebanho.

O estudo do melhor material ligante é de fundamental importância no processo de

pelletização. O aglutinante escolhido não deve prejudicar as características energéticas do *pellet*, como por exemplo diminuir o rendimento calorífico e aumentar o teor de voláteis e cinzas, além disso seu custo, não poderá inviabilizar economicamente o produto (BENÍCIO et al., 2011). Entre os diversos resíduos sólidos urbanos temos o óleo residual de fritura. Que quando descartado inadequadamente, aumenta os riscos de poluição das águas e do solo (SILVA et al., 2013).

Agentes aglutinantes são compostos, geralmente de origem orgânica que são adicionadas na massa de partículas de biomassa, com a finalidade de melhorar a finalidade dos *pellets*, além de reduzir as emissões de poluentes e aumentar a sua eficiência, os aglutinantes aumenta a resistência mecânica do combustível, gerando *pellets* com maior durabilidade mecânica e menor geração de finos (SIQUEIRA, 2017).

O procedimento de pelletização de biomassa deixa a matéria-prima compacta, sendo utilizada a alta pressão e conseqüentemente chegando aos *pellets*, que possuem de 6 à 12 mm, de comprimento. (STAHL; BERGHEL, 2011). Feito no formato cilíndrico, tem alto poder calorífico, acima de 17 MJ/kg, umidade inferior a 10%, baixo teores de cinzas e densidade acima de 650 kg/m<sup>3</sup> que asseguram a facilidade operacional, diminuindo o volume de armazenamento e conseqüentemente deixando o transporte mais barato, bem como, a eficiência da combustão (RASGA, 2013).

Dessa maneira, em diversos momentos a matéria-prima necessita ser tratada por meio do processo de secagem e moagem anteriormente ao procedimento de finalização de pelletização. O contato da biomassa com o ar em temperaturas elevada, elimina a água do material, resultando em uma umidade menor e apropriada para o processo, ocorrendo então o processo de secagem (CORRÊA, 2003).

A diminuição da umidade, conseqüentemente, aumenta o poder calorífico, o aumento da densidade por meio da compactação, aumenta também a quantidade de energia por volume. Dito isso, temos a diminuição significativa do custo de transporte e armazenamento, como já foi dito anteriormente, à vista disso, esses são os principais aspectos característicos do processo de pelletização que os divergem da matéria-prima.

Acerca da norma internacional de *pellet* de biomassa, a norma internacional de qualidade, ISO 17225-6/2014, para comercialização de *pellets* de biomassa e biocombustíveis sólidos não lenhosos mais usados nos dias de hoje, pelos principais produtores e consumidores do mundo.

A Tabela 1, mostra a norma de qualidade dos pellets na Alemanha, a DIN51731, uma norma bastante rigoroso quanto a concentração de elementos químicos, ela estabelece valores máximos para essas emissões.

**Tabela 1:** Normas de padronização da Alemanha e dos Estados Unidos da América para *pallets*.

Especificação	Unid.	Alemanha		EUA		
		DIN 51731	HP1 <sup>2</sup>	SP <sup>3</sup>	P <sup>4</sup>	S <sup>5</sup>
Diâmetro [Ø]	mm	4 ≤ Ø ≤ 10		6,35 a 7,25		
Comprimento	mm	≤ 5. Ø		≤ 25,4		
Densidade a granel	kg/m <sup>3</sup>	> 600		640 a 736	608 a 736	
Finos < 3mm	%	max. 1		≤ 0,50		
Teor de umidade	%	< 12		≤6	≤8	≤10
Teor de cinzas	%	< 1,5		<1	< 3	
PCI	MJ/kg	17,5 a 19,5		Especificar o teor		
Durabilidade	%	≥ 95,0		≥ 97,5		≥ 95,0

Fonte: Autor,2022

- 1- PFI: Pellet Fuel Institute
- 2- HPI: Holz Pellets
- 3- SP: Super Premium
- 4- P: Premium
- 5- S: Standard
- 6- U: Unitário
- 7- < 2% material para auxiliary a pressão

Os *pellets* produzidos a partir de resíduos madeira, utiliza-se a norma M7135. A seguir, a Tabela 2 mostra a norma M7135, que reforça os padrões para emissão de efeito estufa residenciais, e um sistema de certificado dos *pellets*, assegura padrões de qualidade dos combustíveis, exigindo somente o uso de matéria- prima natural.

**Tabela 2:** Normas de padronização Austríaca e Suécia.

Especificação	Unid.	Áustria		Suécia		
		ÖNORM M7135		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
		madeira	casca			
Diâmetro [Ø]	mm	4 a 20	20 a 120	4 ≤ Ø ≤ 10		
Comprimento	mm	máx. 100	máx. 400	4. Ø	5. Ø	6. Ø
Densidade a granel	kg/m <sup>3</sup>	> 600		≥ 600	≥500	
Finos < 3mm	%	máx. 1		≤ 0,8	≤1,5	
Densidade Real	kg/m <sup>3</sup>	≥ 1,0				
Teor de umidade	%	≤ 12	≤ 18	≤ 10		≤ 12
Teor de cinzas	%	≤ 0,50	≤ 6,0	≤ 0,7	≤1,5	
PCI	MJ/kg	≥ 18		16,9		15,1
Enxofre	%	≤ 0,04	≤ 0,08	≤ 0,08		Indicar
Cloro	%	≤ 0,02	≤ 0,04	≤ 0,03		Indicar
Aditivos	%	máx. 2 (natural)		Indicar na embalagem		
Durabilidade	%	≥ 95,0		≥ 95,0		

Fonte: Autor,2022

Assim, é válido enfatizar a comparação das propriedades de *pellets* feitos através da matéria-prima bagaço de cana-de-açúcar com *pellets* feitos através de outros tipos de biomassa e outros biocombustíveis sólidos, pois estes podem vir a ser utilizados pelos mesmos consumidores e tipos de equipamentos, LFP Almeida (2015).

Dentre o parâmetro densidade a granel, com exceção da norma PFI/2011, todas utilizam o critério com valores acima de  $600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . O mesmo acontece com a durabilidade e o teor de finos, onde quase todas as normas partem de valores similares. No parâmetro umidade, as normas referenciam valores abaixo de 10%, sendo abaixo de 12% apenas na norma ISO 17225-6/2014. Para o poder calorífico é exigido valores acima de  $14,5 \text{ MJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$  pela norma ISO 17225-6/2014 e valores acima de  $16,5 \text{ MJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$  para as outras normas, sendo os valores de nitrogênio, enxofre e cloro diferenciados para cada norma, MJS Madruga (2019).

Em se tratando da durabilidade, este é um fator físico fundamental dos *pellets* de biomassa e se caracteriza por não se desagregarem em finos ou pó, os quais são indesejados, a durabilidade depende principalmente da taxa de compressão definida entre a razão do diâmetro e comprimento do furo da matriz de pelletização (taxa = D/L) e da temperatura alcançada durante o processo (ALMEIDA, 2015). Os finos e pó gerados podem prejudicar à saúde humana caso sejam inalados, além de poder proporcionar risco de explosão e incêndio se estiverem em concentração acima do permitido pela legislação internacional, (TEMMERMAN et al., 2006).

Ainda sobre a durabilidade, esta é definida pela razão entre o peso dos pellets, menos o peso de finos e pó, dividido pelo peso total da amostra. Este resultado é apresentado em percentual, que é medido após aplicação do teste de durabilidade, o qual consiste em colocar uma amostra em uma caixa acoplada a um motor com rotação constante por um determinado período. Após as rotações, como apontam Garcia et al. (2018), é realizado o peneiramento da amostra e o seu peso é comparado com a amostra inicial, determinando-se a quantidade de finos gerada, com a qualidade mínima de 97,5%, segundo a norma ISO 17225-6 (2014).

O teor de cinzas, este corresponde à fração mássica dos resíduos restantes após a calcinação do material orgânico. De acordo com Montovani et al. (2013), normalmente, nas cinzas são encontrados cobre, cálcio, ferro, magnésio, potássio, e sódio, portanto, elevados teores de cinzas são indesejados na queima de biomassas. A presença destes elementos diminui o poder calorífico da biomassa pois reduz o percentual de material combustível disponível para queima. Outra consequência indesejada é a corrosão de equipamentos, diminuindo a vida útil dos mesmos, bem como o problema que pode ser gerado na hora do descarte das cinzas, visando a preservação do meio ambiente (FARIAS; TEIXEIRA, 2002).

A Comissão Europeia revelou, segundo estudo publicado no início de 2016, que o uso da biomassa é a maneira mais econômica de atingir as metas estabelecidas para redução de emissão dos gases de efeito estufa. Estima-se que até 2030, o Japão deve importar entre dez e vinte milhões de toneladas de biomassa peletizadas. Provavelmente uma parcela relevante desta demanda será atendida pela biomassa de cana-de-açúcar disponível no Brasil (NEGÓCIOS E EMPRESAS, 2016).

Com o aumento expressivo na demanda por biomassa sustentável, a cana-de-açúcar tem o potencial de suprir uma parcela crescente do mercado. Estima-se que há um potencial de cerca de 80 milhões de toneladas de *pellets* que poderiam ser geradas apenas pelo setor sucroalcooleiro no Brasil e que hoje ainda não é explorado - o montante equivale a três vezes o mercado mundial de biomassa peletizada. Apenas no estado de São Paulo este potencial chega a 45 milhões de toneladas de *pellets* (NEGÓCIOS E EMPRESAS, 2016).

De acordo com os estudos do Ministério de Minas e Energia (2020), a biomassa no Brasil apresenta um grande potencial de crescimento nos próximos anos, e é uma alternativa viável para a diversificação da matriz energética do país, em substituição dos combustíveis fósseis (PORTAL BRASIL, 2011).

Por sua parte, o consumo do carvão vegetal está diretamente relacionado ao setor industrial, em especial à indústria siderúrgica. O setor industrial consumiu 8,7 milhões de toneladas de carvão vegetal em 2005, 90,5% do total. As atividades industriais que mais consomem o carvão vegetal são a produção do ferro gusa (84,9%), a produção de ferro liga (10,1%) e a fabricação de cimento (4,4%) (BRASIL, 2006 apud UHLIG, 2008). O comércio de carvão vegetal em 2005 totalizou 5,5 milhões de toneladas e gerou 1,7 bilhões de reais em vendas (UHLIG et al., 2008).

Partindo desses pressupostos, é possível inferir que, como dito anteriormente, com o aumento expressivo na demanda por biomassa sustentável, a cana-de-açúcar tem o potencial de suprir uma parcela crescente do mercado, o que revela a relevância da investigação.

Tais aspectos serão explorados nas seções seguintes de discussões e resultados das análises.

### 3. MATERIAIS E METÓDOS

No decorrer dessa seção, será apresentado mais informações acerca da nossa operacionalização da pesquisa, começando pelo local de coleta da matéria-prima, onde foi possível desenvolver as atividades e os testes. Em seguida, as informações a respeito das matérias-primas objeto de estudo da presente investigação, com figuras para ilustração.

#### 3.1 Local de pesquisa

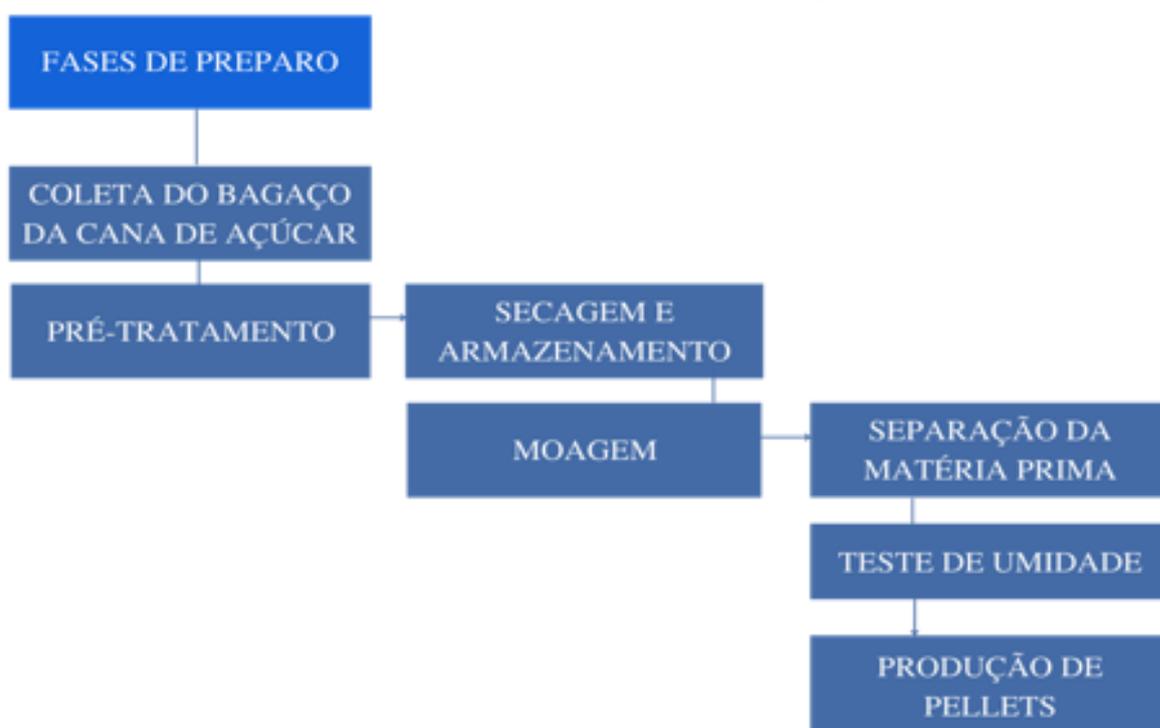
A matéria-prima foi coleta no campus de engenharias e ciências agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA - UFAL). Os testes foram feitos nos laboratórios do CTEC – UFAL.

#### 3.2 Tratamento da matéria prima

A cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum*), variedade RB951541(Cana-comum) e a RB11999 (Cana-energia), foram coletadas no Campus de Engenharias e Ciências Agrária da Universidade Federal de Alagoas(CECA- UFAL). Após a coleta, a mesma foi seca em temperantura ambiente e armazenada na mini usina do Centro Tecnológico da UFAL (CTEC - UFAL), em condições ambiente.

A Figura 4 mostrar as fases do preparo da produção da matéria prima.

**Figura 4-** Fases do preparo, tratamento da matéria prima



O teor de umidade dos tratamentos 1 (Cana- comum, T1), tratamento 2 (Cana-comum mais aglutinante, T2), tratamento 3 (Cana-energia, T3) e tratamento 4 (Cana-energia mais agente aglutinante, T4) e nos outros quatro tratamentos torrefados denominados T5, T6, T7 e T8, foram feitos no laboratório de sistema de separação e operação de processos da Universidade Federal de Alagoas (LASSOP -UFAL).

Dito isso, o processo ocorreu da seguinte forma, foi utilizada uma balança de secagem por infravermelho (ID50), onde foi pesado 1g da amostra e o material foi exposto a temperatura de 105 °C, durante 30 min. A perda de massa foi determinada em porcentagem.

Após o material passar no moinho de facas, obtida a granulometria, colocando cada resíduo em peneiras vibratória de diâmetros orbital e posteriormente foi adicionado 5% de aglutinante (resíduo de óleo vegetal nos tratamentos T2 e T4).

Por sua vez, a compactação das partículas de cana-de-açúcar foi realizada na pelletizadora da mini usina da Universidade Federal de Alagoas, no processo contínuo. Produzido os *pellets*, realizou-se a torrefação no forno elétrico (mufla), uma queima com o mínimo possível de oxigênio e, em seguida, determinou-se a perda de massa (Equação 1 ). Onde:  $M_i$  é a massa inicial e  $M_f$ , a massa obtida após a torrefação.

$$\text{Perda de massa} = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

Em continuidade às ilustrações abaixo são possíveis ver, nas Figura 5-8, a balança de secagem, o forno mufla, o dessecador, a pinça e a estufa (à esquerda). O moinho e a pelletizadora (à direita), essenciais nos processos relatados ao longo do presente trabalho.

**Figura 5-** (A) Balança digital, (B) forno amufla, (C) dessecador, (D) pinça, (E) estufa, (F) moinho e a (G) pelletizadora.



Fonte: autor, 2022.

Figura 06 – Amostra de *pellets* de cana-energia, torrefados.



Fonte: Autor, 2022

**Figura 7-** Balança digital bioprecisa (FA2104N)



**Fonte:** Autor, 2022.

**Figura 8-** *Pellets* de cana-comum, torrefado.



**Fonte:** Autor, 2022

O poder calorífico superior foi determinado utilizando um calorímetro digital modelo 6400, localizado no laboratório da Embrapa, no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. A densidade base foi determinada a partir da relação da massa sobre o volume, já a densidade a granel, foi utilizado um cilindro de 500 ml, o qual foi preenchido de *pellets*, e como auxílio de uma balança analítica, adaptando a norma NBR 6922 (ABNT, 1981), obteve-se a massa pela mesma relação a cima, determinou-se a densidade a granel. A densidade energética foi determinada a partir da relação entre poder calorífico e a densidade básica dos pellets assim como mostra a equação (5). A determinação de cinzas é por diferença de massa, então

com uma pinça, foi colocado o cadinho numa estufa a uma temperatura de 105° C, durante uma hora, para retirar qualquer umidade, o cadinho foi pesado para obter a tara, logo em seguida foi pesado 3g da amostra, com a balança tarada, carbonizou-se a amostra e esse material foi levado para forno de mufla durante 4 horas a 550° C, depois levamos a amostra para o dessecador, para resfriar durante 1 hora e 30 minutos e depois pesamos o material. Ao final, o percentual de cinzas foi determinado como expresso na equação 2.

$$\% \text{ cinzas} = \frac{(\text{massa do cadinho} + \text{cinza}) - (\text{massa do cadinho})}{\text{massa da amostra}} \times 100 \quad \text{equação (2)}$$

Em se tratando da resistência mecânica, a partir do moinho de bolas, foi determinado a durabilidade do material, ou o teor de finos, numa rotação de 100 rpm, durante 10 min.. Dessa forma, para determinar a durabilidade mecânica foram testadas 100 g de pellets, em triplicata, após a execução do ensaio, separou-se com uma peneira, as partículas menores das maiores e a durabilidade mecânica foi determinada pela equação 3:

$$\% \text{ DU} = \frac{(100 \times M_r)}{M_i} \times 100 \quad \text{equação (3)}$$

Onde: du: durabilidade mecânica; mr: é a massa que passou pela peneira e mi: é a massa inicial. Do mesmo procedimento, obteve-se também, o teor de finos das amostras, pela equação 4:

$$\% F = \frac{MA}{ME} \quad \text{equação (4)}$$

Onde MA; é a massa antes de ser peneirada e ME; é a massa após ser peneirada.

$$\text{Densidade energética} = D_b \times P_{CS} \quad \text{equação (5)}$$

Onde Db; é a densidade básica e PCS; poder calorífico superior

## 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Partindo dos pressupostos apresentados ao longo da presente monografia, a seguir apresentaremos um apanhado dos resultados dos testes e investigações, apresentando uma discussão acerca de todo o processo, começando pela torrefação, teor de umidade e poder calorífico, passando pelas densidades básicas e energéticas, concluindo com o teor de cinza, durabilidade mecânica e teor de finos.

### 4.1 Torrefação

Após a torrefação a 230 ° C, durante 20 minutos, foi observado perdas de massa dos *pellets* torrifados, conforme mostra a Tabela 3: tratamentos 5 (Cana- comum torrifado T5), tratamento 6 (Cana- comum mais aglutinante torrifado, T6), tratamento 7 (Cana- energia torrifado, T7) e tratamento 8 (Cana-energia mais agente aglutinante torrifado, T8)

**Tabela 3-** Perda de massa dos *pellets*, após tratamento por torrefação.

Tratamentos	Perda de massa após torrefação %
T5- Cana-comum torrefado	2,09
T6- Cana-comum mais aglutinante torrefado	1,9
T7- Cana-energia torrefado	1,82
T8- Cana-energia mais aglutinante torrefado	1,72

**Fonte:** Autor, 2022

Portanto, entende-se que quanto maior o tempo de torrefação, maior a perda de massa. Outrossim, o maior rendimento do processo acontece no menor tempo de residência e conseqüentemente, menor será a perda energética envolvida na obtenção dos *pellets* ou resíduos lignocelulósicos (PROTÁSIO et al., 2015).

Este tratamento térmico de combustíveis sólidos (torrefação) resultou na adição de carbono fixo, concentrado no combustível e reduziu a concentração de oxigênio contido na biomassa. Assim é possível observar que o poder calorífico superior (PCS) aumentou com

crescimento do teor de carbono fixo e diminuiu com o aumento do teor de umidade (GARCIA et al., 2018).

#### 4.2 Teor de umidade e poder calorífico

No pré-tratamento, foi posta a amostra para secar e diminuir a umidade. É muito importante conhecer esse teor porque dependendo do valor pode ser viável ou inviável a utilização da biomassa para queima. As análises do teor de umidade foram determinados pelo método de secagem, o qual consiste na desidratação da amostra utilizando uma lâmpara de radiação infravermelha (MACIEL, 2017). A tabela 4 apresenta os resultados do teor de umidade e o poder calorífico destas.

O teor de umidade encontrado na biomassa vai de encontro com os estudos realizados por Pincelli & Queiroz (2021) e Padilla et al. (2016). O poder calorífico superior (PCS) é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado (QUIRINO et al., 2005).

**Tabela 4-** Poder calorífico e teor de umidade dos *pellets in nature* e torrefados, para os tratamentos T1- Cana comum; T2- Cana comum mais aglutinante; T3- Cana energia; e T4- Cana energia mais aglutinante

<i>pellets</i>	Teor de umidade <i>in nature</i> (%)	Poder calorífico <i>in nature</i> (kcal.kg <sup>-1</sup> )	Teor de umidade (Torrefado) %	Poder calorífico torrefado (kcal.kg <sup>-1</sup> )
T1	12,0	4182	0,89	4358
T2	13,7	4275	1,67	4652
T3	14,67	4271	0,90	4493
T4	14,77	4463	1,40	4861

**Fonte:** Autor, 2022

É possível observar, conforme a Tabela 4, que os biocombustíveis torrefados, apresentam menor teor de umidade. Segundo Protásio et al. (2015), isso ocorre em função das degradações das hemiceluloses e, conseqüentemente, dos sítios de sorção na biomassa vegetal. Sabe-se que as hemiceluloses são instáveis termicamente e sendo degradadas durante a torrefação, pois se decompõem em baixas temperaturas (220 – 315 °C). Além disso, essas moléculas são as principais responsáveis pela adsorção de água da biomassa.

A diferença do poder calorífico encontrada entre os *pellets* torrefados e os não torrefados, do ponto de vista prático, para geração de energia, pode ser considerada significativa,

pois foi maior que 300 ( $\text{kcal.Kg}^{-1}$ ) (GARCIA et al., 2018a). Todavia torna-se favorável a torrefação do combustível visto que adiciona a concentração de carbono fixo, reduz a quantidade de água presente no biocombustível, conforme escrito por Padilla et al. (2016).

Assim sendo, os valores apresentados na Tabela 4 estão de acordo com os encontrados em Protásio et al. (2015), uma vez que os autores observaram um poder calorífico superior dos *pellets* produzidos com os seguintes materiais: *Pellets* de pinus *in natura* (8 mm), 4.491 ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ ) Serragem de pinus sp. 4.12 ( $\text{kcal.Kg}^{-1}$ ); Serragem de eucalipto 4.08 ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ ), Cavaco de pinus 3.882 ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ ) e resíduos de milho 4.191 ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ ).

Estudos mostram que *Pellets in natura* de 4.815 ( $\text{kcal.Kg}^{-1}$ ) para uma umidade de 8,0% e encontraram para os torrefados a 220 °C um poder calorífico de 5.200 ( $\text{kcal.Kg}^{-1}$ ) para uma umidade de 1,6% os torrefados a 250 °C, um poder calorífico superior de 5.23 ( $\text{kcal.Kg}^{-1}$ ), com 1,1% de umidade. Já Ivo da Silva et al. (2018) encontraram um poder calorífico superior de *pallets* produzidos com madeira de sabiá *in natura* de 4.800 ( $\text{kcal.Kg}^{-1}$ ), para uma umidade de 4,8% (JACINTO et al., 2016).

#### 4.3 Densidade básica

A densidade básica é um dos principais índices de qualidade dos *pellets* para o uso energético pois influencia diretamente na densidade energética. Entretanto, quanto maior a densidade básica, melhor a qualidade do *pellet*. Fatores como custos com transporte e a densidade energética são essenciais na viabilidade econômica do uso da energia da biomassa, pois permite transportar maior quantidade de energia por unidade de volume (GALVÃO, 2018). Tais informações podem ser observadas na Tabela 5 a seguir:

**Tabela 5-** influência da massa na densidade básica dos *pellets*, a média de perda de massa foi de 7%.

Tratamentos	Massa <i>in natura</i> (g)	Densidade básica <i>in natura</i> ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	Massa torrefado (g)	Densidade básica torrefado ( $\text{kg.m}^{-3}$ )
T1	25,92	518,4	24,62	492,4
T2	28,44	568,8	27,24	544,8
T3	27,89	557,8	26,38	527,6
T4	30,38	607,6	29,28	585,6

Fonte: Autor, 2022

A densidade é representada pela equação 5:

$$Db = \frac{M}{V} \quad \text{equação (5)}$$

Onde,  $Db$  é a densidade básica ( $\text{kg.m}^{-3}$ ),  $M$  é a massa (em kg) e  $V$ , o Volume ( $\text{m}^3$ ). Desta forma, observou-se que os pellets in natura apresentam valores numericamente superiores aos tratados termicamente, permitindo a inferência de que o aumento da temperatura de torrefação provocou uma redução desta propriedade, como visto na Tabela 5.

#### 4.4 Densidade energética

A densidade energética foi obtida através da equação (5), e convertidos em ( $\text{Gcal.m}^{-3}$ ). Dessa forma observou-se que a densidade energética dos *pellets in natura* dos tratamentos 1 e 3 (perdas de massa superiores a 2%), foram estaticamente superiores aos torrefados. Isso devido a perda de massa no tratamento térmico dessas amostras. Este resultado demonstra que dependendo da temperatura e o tempo de torrefação, o tratamento térmico pode ser inviável. Tais informações podem ser visualizadas na Tabela 6 a seguir:

**Tabela 6** - Densidade energética

Tratamentos	Densidade energética <i>in nature</i> ( $\text{Gcal.m}^{-3}$ )	Densidade energética torrefado ( $\text{Gcal.m}^{-3}$ )
T1	2,167	2,145
T2	2,431	2,534
T3	2,384	2,361
T4	2,711	2,846

**Fonte:** Autor, 2022

Dentre os combustíveis granulados, os *pellets in nature* apresentaram maior valor para densidade energética a granel ( $3,07 \text{ kg.m}^{-3}$ ), resultado atribuído a alta densidade básica. Os mesmos autores observaram também que, com o aumento da temperatura de torrefação, houve uma redução da densidade a granel dos pellets segundo Protásio e colaboradores (2015).

Ademais, os estudiosos concluíram que em temperaturas altíssimas o decréscimo da densidade básica chega a ser maior que valor do poder calorífico e recomendam redução da temperatura de torrefação, visando melhorar o emprego do tratamento térmico. Segundo Magalhães et al. (2019), os efeitos do tratamento térmico de *pellets* de madeira observaram decréscimo da densidade a granel após torrefação dos *pellets*, reduzindo a massa significativamente.

Todos os tratamentos atenderam as normas internacionais, segundo a literatura, já que o Brasil não possui normas de comercialização de pellets. Como mostra a norma alemã DIN 51731 (DEUTSCHES INSTITUTE F. NORMUNG, 1996) e a norma sueca SS 18 71 20 (SWEDISH STANDARDS, 1999), os *pellets* devem apresentar densidade a granel superior a  $600 \text{ kg.m}^{-3}$  para que possam ser comercializados nos referidos países, independente da classe para a primeira normativa e como classe 1 para a segunda. Logo, apenas os *pellets in natura* atenderam essa exigência internacional e poderiam ser exportados para a Alemanha e Suécia.

#### 4.5 Teor de cinzas

O resultado obtido no teor de cinzas evidencia que os pellets in natura apresentam estatisticamente, uma percentagem de cinzas inferior aos torrefados. Este parâmetro pode ser decisivo e limitante para a comercialização desses combustíveis sólidos, pois os óxidos minerais diminuem o valor calórico e aumenta a corrosão dos equipamentos destinados a conversão energética (PROTÁSIO et al., 2015). A Tabela 7 exhibe os valores dos teores de cinzas.

**Tabela 7** – Teor de cinzas.

Tratamento	Teor de cinzas <i>in natura</i> %	Teor de cinzas torrefados %
T1	3,7	2,7
T2	3,6	1,98
T3	3,8	2,9
T4	3,7	1,94

**Fonte:** Autor, 2022

O teor de cinzas é a percentagem em massa de cinzas após a queima completa do *pellet*. A maioria dos resíduos de biomassa tem baixo teor de cinzas, exceto a cascade arroz que pode conter até cerca de 25% de cinzas, devido ao alto conteúdo de sílica da matéria-prima. Altos teores de cinzas podem levar também à corrosão do queimador e a desgastes de todos os equipamentos por abrasão, o que se torna mais crítico quando o teor de cinzas for superior a 4%. (PETRICOSKI et al., 2017).

#### 4.6 Durabilidade mecânica e teor de finos

A durabilidade constitui uma designação dada à resistência de sólidos compactados ou aglomerados em termos de força necessária para promover a sua fratura. Os resultados são demonstrados na Tabela 8.

A durabilidade é uma propriedade que está intimamente ligada à qualidade física de

biocombustíveis sólidos que são susceptíveis ao cisalhamento que pode levar à formação de partículas finas durante o transporte, transbordo e armazenamento. Pode ocorrer a formação de poeira que prejudica a escolha do produto pelo consumidor e afeta a saúde do trabalhador

**Tabela 8** – Durabilidade mecânica e teor de finos dos *pellets in nature* e torrefados feitos no moinho de bolas 100 rpm e 10 min

Tratamento	Teor de finos <i>in nature</i> (%)	Durabilidade mecânica <i>in nature</i> (%)	Teor de finos torrefados (%)	Durabilidade mecânica torrefado (%)
T1	0,46	99,5	0,46	99,5
T2	0,46	99,5	0,46	99,5
T3	0,46	99,5	0,46	99,5
T4	0,46	99,5	0,46	99,5

Fonte: Autor, 2022

## CONCLUSÃO

No presente trabalho, os experimentos foram pautados na comparação entre a Cana-comum a Cana-energia, avaliando o poder calorífico, teor de umidade, durabilidade mecânica, teor de cinzas e densidade energética.

Diante do exposto, concluiu-se que através da adição de aglutinantes nos tratamentos 2 e 4 (T2, T4), os mesmos mostraram maiores valores de poder calorífico e densidade energética comparado aos sem adição, o que influenciou em menor teor de cinzas do produto. Quanto a durabilidade mecânica, os valores foram iguais aos sem adição, (que deixa em aberto a possibilidade de estudos mais aprofundado sobre a durabilidade mecânica), mostrando que a adição de aglutinante não influenciou na durabilidade mecânica. Logo, percebeu-se que há maior vantagem na adição de aglutinante nos *pellets* de bagaço de cana, pois o torrefado torna-se mais eficiente.

Quanto ao tratamento por torrefação, os resultados também apresentaram maiores valores no poder calorífico e densidade energética com adição de aglutinantes. Já comparando os valores dos tratamentos com e sem torrefação, os tratamentos torrefados obtiveram maiores valores de poder calorífico e densidade energética. Isso acabou levando aos valores dos teores de umidades ainda menores do que nos tratamentos *in natura*. Contudo, percebe-se que os tratamentos torrefados apresentaram mais eficiência que os *in natura*.

Desta forma, diante dos testes, investigação e análise, os resultados sugerem que os experimentos com a cana-energia obtiveram maior eficiência que a cana comum

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. F. P. **Pelletização do Bagaço de Cana-de-Açúcar: Estudo das Propriedades do Produto e Rendimento do Processo**. 2015. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015.
- BENÍCIO, E. L. **Utilização de Resíduo Celulósico na Composição de Briquetes de Finos de Carvão Vegetal**. 2011. 55 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.
- CANAL ONLINE. Pellets de Biomassa da Cana Passa a ser “Negócio de Peso”. 2016. Disponível em: <http://www.canaonline.com.br/conteudo/pellets-de-biomassa-da-cana-passa-a-ser-negocio-de-peso.html>. Acesso em 27 de abril de 2022.
- PESQUISA FLORESTAL BRASILEIRA. Goais: Associação Brasileira de Editores Científicos, 2015. 10.4336/2015.pfb.35.84.843
- COSTA, A. C. L. A. *et al.* **Caracterização Física, Química e Mécânica de Pellets de Bagaço de Cana-de-Açúcar**. Energia na Agricultura, v. 35, n. 1, p. 38–45, 2020.
- CORRÊA, J. L. G. **Discussão de Parâmetros de Projeto de Secadores Ciclônicos**. 2003, 169 f. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003, Campinas.
- DIAS, J. D. S. *et al.* **Produção de Briquetes e Péletes a Partir de Resíduos Agrícolas, Agroindustriais e Florestais**. Embrapa Agroenergia - Documentos (INFOTECA-E), 2012.
- BALANÇO NACIONAL DE ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em 27 de abril de 2022
- FARIAS, J. S.; TEIXEIRA, R. M. **A Pequena e Micro Empresa e o Meio Ambiente: A Percepção dos Empresários com Relação aos Impactos Ambientais**. Organizações & Sociedade, v. 9, n. 23, p. 1-21, 2002.
- FERNANDES, M. d. S. **Avaliação do impacto da aplicação de produtos químicos e nutricionais junto ao solo e corpos hídricos em uma lavoura de cana-de-açúcar situada no interior de Minas Gerais**. 2020. 88f. Tese (doutorado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2020.

- FERREIRA, I. R. *et al.* *Sorghum (sorghum bicolor) pellet production and characterization*. **Floresta Ambient.**, Seropédica, v. 26, n. 3, e20171001, 2019. Disponível em: [http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2179-80872019000300111&lng=en&nrm=iso](http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872019000300111&lng=en&nrm=iso). Acesso em 05 de maio de 2022.
- GALVAO, L.G.O. **Efeitos da Acústica e da Temperatura no Processo de Torrefação e nas Propriedades Energéticas da Madeira de *Eucalyptus grandis***. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL.DM – 305/2018. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 2018.
- GARCIA, D. P. *et al.* **Qualidade dos Pellets de Biomassas Brasileiras para Aquecimento Residencial: Padrões da Norma Iso 17225**. Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science), v. 9, n. 1, 2018.
- GARCIA, D. P. *et al.* **Comparative Energy Properties of Torrefied Pellets in Relation to Pine and Elephant Grass Pellets**. Bio Resources, v. 13, n. 2, p. 2898–2906, 2018.
- GRANBIO. Cana-Energia. São Miguel dos Campos. 2015. Disponível em: <http://www.granbio.com.br/conteudos/cana-energia/>. Acessado em 19 de maio de 2022
- GOES, T. **A Energia que Vem da Cana-de-Açúcar**. Área de Informação da Sede-Artigo emperiódico indexado (ALICE), A Lavoura, ano 111, n. 668, p. 27-29, out., 2008., 2008.
- GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. **Política Energética no Brasil**. Estudos avançados, v. 19, n. 55, p. 215-228, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v19n55/14.pdf>. Acesso em 28 de abril de 2022
- HOFFELDER, J. **Pellets de Bagaço de Cana-de-Açúcar na Matriz Energética**. 2011. 51f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/37074/000793032.pdf>. Acesso em 28 de abril de 2022
- SARTORI, Roberto. **Indústria de Pellet de Madeira Para o Uso Interno e Exportação no Brasil**. 2022. Tese (Doutorado) – Bioenergia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/105/105131/tde-11022022-122855/publico/Roberto\\_Scorsatto\\_Sartori\\_versao\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/105/105131/tde-11022022-122855/publico/Roberto_Scorsatto_Sartori_versao_revisada.pdf). Acesso em: 29 de maio de 2022.

**INDIAMART.** Biomass Pallet, 2022. Disponível em:

<https://www.indiamart.com/proddetail/25mm-firewood-biomass-pellet-22324186155.html>. Acesso em: 25 fevereiro de 2022.

**SILVA, Ivo et al. UNIVERSIDADE DIGITAL. Otimização dos Pellets de Bagaço de Cana-de-Açúcar Utilizando Óleo de Fritura Residual Como Agente Aglutinante e Pós-Tratamento por Torrefação.** Disponível em:

<https://ud10.arapiraca.ufal.br/repositorio/publicacoes/3516>. Acesso em: 28 de maio de 2022.

**JACINTO, R. C. et al. Análise Da Qualidade Energética da Falha de Pinhão para a Produção de Briquetes. Analysis Of The Energy Quality Pinion Fails To Produce Briquettes. Sci. For.,** Piracicaba, v. 44, n. 112, p. 821-829, dez. 2016.

**JÚNIOR, R.; AGUDO, R. Análise da Viabilidade do Aproveitamento da Palha da Cana-de-Açúcar para Cogeração de Energia numa Usina Sucroalcooleira.** 2009. 164f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciências Térmicas, 2009,

**KIM, M.; DAY, D. F. Composition of Sugar Cane, Energy Cane, and Sweet Sorghum Suitable for Ethanol Production at Louisiana Sugar Mills.** Journal of industrial microbiology and biotechnology, Oxford University Press, v. 38, n. 7, p. 803–807, 2011.

**MADRUGA, M. d. J. d. S. Qualidade da Cachaça com Cana Moída em 3 Intervalos de Tempos Diferentes após o Corte em 24, 48, e 72 horas, Corrigindo o ph, com e sem o Controle de Temperatura na Fermentação.** 2018. 40f. TCC (Graduação) –

Curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira, Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/16003/1/MJSM08102019.pdf>.

Acesso em 16 de maio de 2022

**BRAZILIAN JOURNAL OF WOOD SCIENCE.** Revista Ciência da Madeira, v. 10, n. 1, 2019.

**REVISTA BRASILEIRA DE PRODUTOS AGROINDUSTRIAIS,** Campina Grande, v.18, n.3, p.305-312, 2016 305 ISSN: 1517-8595. Disponível em:

<https://silo.tips/download/panorama-da-producao-brasileira-de-briquetes-a-partir-de-residuos-vegetais>. Acesso em : 20 de outubro de 2022.

**REVISTA VIRTUAL DE QUÍMICA.** São Paulo. Sociedade Brasileira de Química, 2022, ISSN 1984-6835.

MELO, C. G. d. **Desenvolvimento de sistemas CD: ABZ, Formulação de Pellets, Aplicação em Comprimidos Associação Dose Fixa Filaricida com Ivermectina e Doxiciclina e seus Respectivos Controles de Qualidade.** 2019. 95f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Inovação Terapêutica. Recife, 2019.

MELO, T. S. de. **Avaliação e Caracterização da Pelletização do Bagaço de Cana-de-Açúcar e Custos de Implementação de uma Indústria Sucroalcooleira.** 2018. 40f. TCC (Graduação) – Curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira, Departamento Tecnologia Sucroalcooleira, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/16003/1/MJSM08102019.pdf>. Acesso em 14 de maio de 2022.

MONTOVANI, A. T. et al. **Utilização de Cinzas de Biomassa Florestal na Fabricação de Tijolos ecológicos.** 2012. 21f. Projeto de Ciências Rurais. Curso de Ciência Rurais, Universidade Federal de Santa Catarina. Curitiba, 2012.

NACHILUK, K. **Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana.** Análises e Indicadores do Agronegócio, São Paulo, v. 16, n. 6, jun. 2021, p. 1-5. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20maior%20de%20litros%20de%20etanol1>. Acesso em: 27 de novembro de 2022.

**CANA ENERGIA.** São Paulo. Cana Energia 2022  
<https://www.canalenergia.com.br/noticias/4927506/cosan-e-sumitomo-criam-joint-venture-para-comercializar-pellet-de-biomassa>. Acesso em: 28 de novembro de 2022.

OLIVEIRA, Celso. **Pellets e Um Lucrativo Combustível Renovável e Zero Carbono, 2021**. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/informe-internacional-pellets-abib-brasil-biomassa-energia-renov%C3%A1vel>. Acesso em: 28 de novembro de 2022.

**REVISTA VIRTUAL DE QUÍMICA**. Ceará. Sociedade Brasileira de Química, v. 08, n. 14, p. 294-xx, jan./jun. 2019. ISSN 2317-028X.

PEREIRA, B. L. C. *et al.* **Influência da Adição de Lignina Kraft nas Propriedades de Pellets de Eucalipto**. Floresta, v. 46, n. 2, p. 235–242, 2016.

PETRICOSKI, Silvia Maccari. *et al.* **Briquetes Produzidos Com Mistura de Podas Urbanas, Glicerina e Resíduos de Processamento de Mandioca**. Feiden Armin: 2017. 83f. Dissertação (Mestrado)

– Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura, Cascavel 2017.

**BIOENERGIA EM REVISTA**. São Paulo. Diálogos, ano/vol. 11, n. 2, julho/dez. 2021. P. 52-68  
Parâmetros físico-químicos de diferentes resíduos agroindustriais para fins energéticos PINCELLI, Ana Lúcia Piedade Sodero Martins; QUEIROZ,

PROTÁSIO, T. de P. *et al.* **Caracterização Energética de Pellets In Natura e Torrificados Produzidos Com Madeira Residual de Pinus**. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 35, n. 84,p.435–442, 2015.

**PORTAL SOLAR**. Fontes de Renováveis. 2022. Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/fontes-de-energia-renovaveis.html>. Acesso em: 28 de novembro de 2022.

PAULILLO. Luis.

**Sugarcane Genetic Improvement And Integration With New Technologies For The Pro Duction Of Biofuels.Dialogo & Ciência**. São Paulo, n° 39, p. (85 - 100), Janeiro 2017

QUIRINO, W. F. *et al.* Poder Calorífico da Madeira e de Materiais Ligno-Celulósicos. Revistada madeira, v. 89, n. 100,p. 100–106, 2005.

RASGA, Rodrigo Ottobri Sucena.; **Pellets De Madeira e Sua Viabilidade Econômico-Financeira na Substituição Do Óleo BPF-A1 em Pequenos e Médios Consumidores no Estado de SãoPaulo**. Prof. Dr. Ricardo Ratner Rochman: 2013, 165 f. Dissertação (Mestre em Agroenergia) - Escola de Economia de São Paulo da fundação Getúli Vargas, São Paulo 2013.

ROSSETTO, R. A. **A Bioenergia, a Cana-Energia e Outras Culturas Energéticas**, 2012. Pesquisa & Tecnologia 9: 1-6. Disponível em:

<<http://hdl.handle.net/11449/204187>>.

ROBETTI, L. **Uso de Bentonita Como Aglutinante Para a Fabricação de Briquetes Com Finos Decarvão Vegetal**. 2013. 12f. TCC (Graduação) – Curso de Tecnologia em Cerâmica,Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2013. Disponível

em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/1801/1/Luciano%20Robetti.pdf>. Acesso em 14 de maio de 2022.

SILVA, A. M. N. **Gestão do Óleo Vegetal Residual de Fritura Visando a Sustentabilidade**. São Cristóvão, jan. 2013. Disponível em:

[https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/4069/1/ANGELA\\_MARIA\\_NEVES\\_SILVA.pdf](https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/4069/1/ANGELA_MARIA_NEVES_SILVA.pdf). Acesso em: 14 de agosto de 2022.

SILVA, S. I. d. S. **Biomassa Para Geração de Energia: Eucalipto, Cana-Energia e Bagaço de Cana-de-Açúcar**. Universidade Federal da Paraíba, 2016. 46f. TCC (Graduação) – Curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira, Departamento Tecnologia Sucroalcooleira, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SILVEIRA, L. C. I. d. **Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar para Obtenção de Cana- Energia**. 2014. 84f. Tese (doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SOUZA, S. N. d.; SORDI, A.; OLIVA, C. A. **Potencial de Energia Primária de Resíduos Vegetais no Paraná: 4º Encontro de Energia no Meio Rural**. Proceedings of the 4th Encontro de Energiano Meio Rural, SciELO Brasil, 2002.

SOUZA, S. N. M. de; SORDI, A; OLIVA, C. A. **Potencial De Energia Primária de Resíduos Vegetais no Paraná: 4º Encontro de Energia no Meio Rural**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Disponível em: [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022002000200042&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200042&lng=en&nrm=abn). Acesso em 28 de abril de 2022.

SIQUEIRA, Humberto Fauller de, M.Sc. **Efeitos De Aditivos na Qualidade de Pellets Para Uso Energético**. Angelica de Cássia Oliveira Carneiro: 2017. 50 pag. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Minas- Gerais, 2017.

STERMAN, J. *et al.* *Climate interactive: The C-roads Climate Policy Model*. WileyBlackwell, 2012.

STAHL, M.; BERGHEL, J. **Energy Efficient Pilot-scale Production of Wood Fuel Pellets Made From a Raw Material Mix Including Sawdust and Rapeseed Cake**. *Biomass and bioenergy*, v. 35, p. 4849-4854, 2011.

TAVARES, S. R. de L.; SANTOS, T. E. dos. **Uso de Diferentes Fontes de Biomassa Vegetal Para a Produção de Biocombustíveis Sólidos**. *Holos*, v. 5, p. 19–27, 2013.

UASUF, A.; BECKER, G. **Wood Pellets Production Costs and Energy Consumption Under Different Framework Conditions in Northeast Argentina**. *Biomass and Bioenergy*, Elsevier, v.35, n. 3, p. 1357–1366, 2011.

**REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIA**, Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Planejamento Energético. v. 14, n. 2, p. 67–85, 2008.

SILVA, Vera da fonseca. **Processos termoquímicos de conversão de Biomassa**. Ana Maria Alves: 2021, 109 pag. Dissertação (Mestrado)- Escola superior de Tecnologia e Gestão de Bragança, Programa de pós graduação em Energias Renováveis e Eficiência Energética, Bragança 2021.

VIEIRA, Ana Carla. **Caracterização Da Biomassa Proveniente De Resíduos Agrícolas**. Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza: 2012, 72 pag. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Programa de Pós- Graduação em Energia na Agricultura, Cascavel, 2012.

**ANÁLISE E INDICADORES DO AGRONEGÓCIO**. São Paulo: Instituto de Economia Agrícola, 2021. INSS 1980 - 0711

**GRANBIO**. O que é a cana-energia? Alagoas: São Miguel, GranBio 2015.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2017, Paraná, **Análise de pallets de madeira produzidos a partir de diferentes composições**, Paraná, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Bruno-Camargo-5/publication/344448014\\_Analise\\_de\\_pellets\\_de\\_madeira\\_produzidos\\_a\\_partir\\_de\\_diferentes\\_composicoes\\_Analysis\\_of\\_wood\\_pellets\\_produced\\_from\\_different\\_compositions/links/5f769a94a6fdcc0086501c6f/Analise-de-pellets-de-madeira-produzidos-a-partir-de-diferentes-composicoes-Analysis-of-wood-pellets-produced-from-different-compositions.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Bruno-Camargo-5/publication/344448014_Analise_de_pellets_de_madeira_produzidos_a_partir_de_diferentes_composicoes_Analysis_of_wood_pellets_produced_from_different_compositions/links/5f769a94a6fdcc0086501c6f/Analise-de-pellets-de-madeira-produzidos-a-partir-de-diferentes-composicoes-Analysis-of-wood-pellets-produced-from-different-compositions.pdf). Acesso em: 20 de dez. 2022.

MACIEL, Paulo Fantoni. *Determinação de Umidade em Amostras de cháss de Cymbopogon citratus s., Matricaria recutita L., Mentha spp. e Pimpinella anisum L. através de métodos gravimétricos e termogravimétrico.* Prof. Dr. Martin Steppe: 2017. 30. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso de Farmácia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.