



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**MARIA JÚLIA DE ASSUNÇÃO EZIRIO**

**BIOCOMBUSTÍVEL SÓLIDO COMO FONTE DE ENERGIA TÉRMICA NA  
AGRICULTURA FAMILIAR**

Palhoça

2022

**MARIA JÚLIA DE ASSUNÇÃO EZIRIO**

**BIOCOMBUSTÍVEL SÓLIDO COMO FONTE DE ENERGIA TÉRMICA NA  
AGRICULTURA FAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitária.

**ORIENTADOR: PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. RACHEL FAVERZANI MAGNAGO**

Palhoça

2022

**MARIA JÚLIA DE ASSUNÇÃO EZIRIO**

**BIOCOMBUSTÍVEL SÓLIDO COMO FONTE DE ENERGIA TÉRMICA NA  
AGRICULTURA FAMILIAR**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitária e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 01 de dezembro de 2022.

---

Dr<sup>a</sup>. Rachel Faverzani Magnago  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

MSc. José Gabriel da Silva  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

MSc. Susana Claudete Costa  
Defesa Civil do Estado de Santa Catarina

Com muito carinho, dedico este trabalho a minha família, principalmente a minha mãe, meu pai, minha filha e meus avós. Durante toda minha vida tive suporte familiar que foram essenciais para a conclusão desta conquista.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por toda proteção divina, por todos os propósitos que me fizeram chegar até aqui.

Aos meus pais que me auxiliaram e me conduziram no caminho do bem, sempre me incentivando. Minha mãe Debora, agradeço por tudo, principalmente por sempre estar comigo, independente dos percalços no caminho, sei que posso contar contigo sempre e pra sempre. Ao meu pai Ricardo, obrigada por sempre dizer que sou capaz, mesmo que muitas vezes eu tenha duvidado de mim mesma.

Aos meus irmãos, Amanda e Gabriel, obrigada pelos conselhos e por serem quem são. Aos meus avós, Tulio, Ione e Cirlei, agradeço pelos ensinamentos e por tudo que vocês fizeram e fazem pela nossa família. Ao meu namorado Thiago, obrigada pelo companheirismo e pelo carinho. Sou muito feliz de ter vocês na minha vida.

Muitas vezes acontecem coisas em nossas vidas que não são como gostaríamos, quero registrar aqui, meu agradecimento especial ao meu avô Joaquim (in memoriam), minha tia/madrinha Fabiane (in memoriam) e meu tio Júlio (in memoriam), vocês não estão mais aqui fisicamente, mas com certeza estão vibrando comigo de onde estiverem por esta conquista tão almejada e importante.

Lorena, agradeço imensamente por ter me escolhido como mãe, você veio para somar e completar os meus dias com teu brilho e felicidade.

Desde o início da faculdade tenho tido apoio e direcionamento que contribuíram muito para minha vida profissional e pessoal, gratidão a professora e orientadora Dr. Rachel Faverzani Magnago, por sempre me instruir e por estar do meu lado durante todo esse período.

Agradeço também aos meus colegas da instituição, em especial a Susana que compartilhou comigo seu conhecimento no início do projeto, e a Fran que sempre me auxiliou na realização dos ensaios de compressão dos briquetes. A todos os colegas de laboratório (Química e Civil) gratidão por não medirem esforços e me auxiliar quando precisei.

Durante toda a minha vida tive fé que realizaria várias conquistas, a conclusão do ensino superior sempre foi muito almejada para mim. Agradeço imensamente a todos que fizeram parte disso.

"Porque tu, ó Senhor, és o meu refúgio! No Altíssimo fizeste a tua habitação. Nenhum mal te sucederá, nem praga alguma chegará à tua tenda. Porque aos seus anjos dará ordem a teu respeito, para te guardarem em todos os teus caminhos.

Eles te sustentarão nas suas mãos, para que não tropeces com o teu pé em pedra." (Salmo 91: 9-12).

## RESUMO

A procura por fontes de energia que possam substituir os combustíveis fósseis é de extrema importância, tanto no aspecto econômico, como socioambiental, uma alternativa viável para isso é a produção de biocombustível sólido, a partir do uso de biomassa para geração de energia térmica. Dentre inúmeras possibilidades de biomassas, a casca de arroz e de cítricos está entre as fontes renováveis que apresentam uma produção expressiva. O objetivo deste trabalho foi adaptar a produção de biocombustível sólido a partir da biomassa da casca de arroz, casca de cítricos e casca de batata como fonte de energia térmica na agricultura familiar. Foram produzidas 3 amostras com diferentes composições utilizando biomassas de resíduos (casca de arroz, casca de cítricos e casca de batata) e efetuados testes para aferir a viabilidade da produção dos briquetes, sendo possível obter o Teor de Umidade, Teor de Cinzas, Poder Calorífico Superior (PCS), Poder Calorífico Inferior (PCI), Densidade Aparente, Resistência mecânica a compressão, emissão de fumaça pela Escala Ringelmann e a viabilidade econômica dos biocombustíveis produzidos em laboratório. Os valores ótimos encontrados para PCS e PCI foram os briquetes com composição de casca de limão (50g), casca de arroz (10g) e casca de batata inglesa (100g), resultando em  $15,8 \pm 0,06$  -  $17,16 \pm 0,06$  MJ/Kg, respectivamente. As 3 amostras ultrapassaram valor de 0,006 MPa de resistência a compressão, considerados para uso de briquetes domésticos. Estimou-se os custos de produção a partir de pesquisas e estimativas, tendo como base a comercialização de briquetes confeccionados no laboratório de química da faculdade. Após, adaptou-se o processo de produção de biocombustíveis para uma propriedade rural. Sendo assim, foi possível confeccionar os briquetes e demonstrar a possibilidade de produção em propriedade familiar, através do reaproveitamento de resíduo agrícola como fonte de energia térmica. Desta forma, apresentou-se uma possibilidade de incentivar e desenvolver tecnologias e inovações nos setores rurais, considerando a busca por alternativas para a produção de energia térmica.

Palavras-chave: Biocombustível sólido; Energia térmica; Casca de resíduos agrícolas; Agricultura familiar.

## ABSTRACT

The search for energy sources that can replace fossil fuels is extremely important, both in the economic and socio-environmental aspects, a viable alternative for this is the production of solid biofuel, from the use of biomass to generate thermal energy. Among countless possibilities of biomass, rice and citrus husks are among the renewable sources that present an expressive production. The objective of this work was to adapt the production of solid biofuel from rice husk biomass, citrus peel and potato peel as a source of thermal energy in family farming. Three samples with different compositions were produced using waste biomass (rice husk, citrus peel and potato peel) and tests were carried out to assess the viability of briquette production, making it possible to obtain the Moisture Content, Ash Content, Calorific Value Higher (PCS), Lower Calorific Value (PCI), Apparent Density, Mechanical resistance to compression, smoke emission by the Ringelmann Scale and the economic viability of biofuels produced in the laboratory. The optimal values found for PCS and PCI were the briquettes with lemon peel (50g), rice peel (10g) and potato peel (100g), resulting in  $15.8 \pm 0.06$  -  $17.16 \pm 0.06$  MJ/Kg, respectively. The 3 samples exceeded a compressive strength value of 0.006 MPa, considered for use in domestic briquettes. Production costs were estimated from research and estimates, based on the commercialization of briquettes made in the college's chemistry laboratory. Afterwards, the biofuel production process was adapted to a rural property. Thus, it was possible to manufacture the briquettes and demonstrate the possibility of production on family property, through the reuse of agricultural waste as a source of thermal energy. In this way, a possibility was presented to encourage and develop technologies and innovations in the rural sectors, considering the search for alternatives for the production of thermal energy.

Keywords: Solid biofuel; Thermal energy; Agricultural waste husk; Family farming.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fontes de biomassa e seus processos de conversão.....	19
Figura 2. Árvores de frutas cítricas presentes na região. ....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Densidade aparente e desvio padrão de cada amostra confeccionada....	35
Gráfico 2. Valores obtidos do Teor de Umidade (%) e Teor de cinzas (%) dos biocombustíveis sólidos. ....	36
Gráfico 3. Média do Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder calorífico Inferior (PCI) demonstrando a média do desvio padrão obtidos das amostras confeccionadas.....	38
Gráfico 4. Resistência mecânica a compressão da média dos 3 (três) briquetes de biocombustíveis sólidos. ....	40
Gráfico 5. Média das Emissões de Fumaça Preta na Escala de Ringelmann.....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidade de biomassa residuais utilizadas para a confecção dos biocombustíveis.....	29
Tabela 2. Valor total do custo variável dos briquetes. ....	42
Tabela 3. Custos fixos e variáveis dos briquetes produzidos no laboratório. ....	42
Tabela 4. Valor absorvido total dos briquetes produzidos no laboratório. ....	43
Tabela 5. Margem de contribuição unitária dos briquetes produzidos no laboratório. .....	43

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	OBJETIVOS .....	14
1.1.1	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>14</b>
1.1.2	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
1.2	JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1	BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA.....	18
<b>2.1.1</b>	<b>Propriedades físicas da biomassa.....</b>	<b>21</b>
2.1.1.1	Massa específica aparente.....	21
2.1.1.2	Densidade .....	21
2.1.1.3	Teor de umidade .....	21
2.1.1.4	Teor de cinzas.....	22
2.1.1.5	Poder calorífico.....	22
2.1.1.6	Resistência mecânica à compressão .....	22
2.1.1.7	Medição da emissão de fumaça preta.....	23
2.2	PRODUÇÃO DE ARROZ NO BRASIL .....	23
2.3	PRODUÇÃO DE FRUTAS CÍTRICAS NO BRASIL.....	24
2.4	AGRICULTURA FAMILIAR .....	25
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1	MÉTODO DE PREPARAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS .....	27
<b>3.1.1</b>	<b>Confecção dos combustíveis sólidos no laboratório.....</b>	<b>28</b>
3.1.1.1	Caracterização para a produção dos espécimes.....	29
3.1.1.2	Viabilidade econômica dos briquetes produzidos no laboratório .....	31
<b>3.1.2</b>	<b>Confecção dos combustíveis sólidos na agricultura familiar .....</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>34</b>
4.1	CONFECÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS NO LABORATÓRIO .....	34
<b>4.1.1</b>	<b>Caracterização para a produção dos briquetes .....</b>	<b>34</b>
4.2	CONFECÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS NA AGRICULTURA FAMILIAR.....	44
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de combustíveis não-renováveis gera grande preocupação ambiental devido ao fato de serem potencialmente poluentes e na maioria dos casos apresentam maior custo (SILVA et al., 2007). O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas e florestais do mundo, e apresenta grande potencial na produção de briquetes, pois os resíduos dessas biomassas são encontrados em abundância nas propriedades rurais do país. Alguns materiais provenientes de fontes renováveis como os resíduos vegetais estão se tornando uma alternativa para a geração de bioenergia, com o intuito de reduzir a utilização de combustíveis de origem fóssil e não renovável (SOARES et al., 2015).

A busca por alternativas para a produção de energia também auxilia no reaproveitamento de resíduos de produção agrícola e/ou agroindustriais (SOARES et al., 2015). Estima-se que a cultura do arroz produza cerca de 200 t de biomassa para cada 1 mil t de grãos colhidos (ABIB, 2011). Considerando que o processamento do arroz gera cerca de 20% de resíduos de casca. No Brasil, no ano de 2019 foi produzido 10.368.611 t de arroz, gerando 2.073.722 t de resíduos (IBGE, 2020).

Segundo Alexandrino et al. (2007), em média 96% da produção de laranja é transformada em suco, o que gera grande quantidade de resíduos. Esse problema também foi relatado por Rezzadori e Benedetti (2009), sendo que indústrias processadoras de suco de laranja produzem resíduos sólidos e líquidos que equivalem a 50% do peso da fruta. De acordo com o IBGE (2020) foi gerado 8.195.325 t de resíduos de casca de laranja no Brasil em 2019.

Diante disso, o aproveitamento da biomassa florestal e industrial tem grande importância no processo de gestão sustentável e da cadeia de responsabilidade, nas questões econômicas, sociais e ambientais. As populações locais devem ser cada vez mais sensibilizadas acerca das vantagens de utilizar as biomassas como fontes de energia renováveis, especialmente na forma de combustível sólido, por exemplo, briquetes. Os briquetes são feitos de materiais sólidos, geralmente na forma de partículas finas ou pó, que são prensados em equipamentos hidráulicos ou prensas mecânicas para obter um material compactado, geralmente na forma de pequenos cilindros ou discos, para uso como combustível (FILIPPETO, 2008).

Tem-se aprimorado cada vez mais a busca por alternativas para repensar a construção e disponibilização de conhecimentos e tecnologias voltadas ao desenvolvimento rural, melhorando as condições e os resultados desenvolvidos. Além de proporcionar maior disponibilidade ao ambiente social e produtivo, para ser apropriado e utilizado pelos agricultores. Isso reflete a necessidade de reformular e fortalecer instituições de ensino, pesquisa, extensão e outras iniciativas interinstitucionais que se referem a outros atores sociais (DIAS, 2012).

Segundo Dias (2012), é fundamental ampliar e desenvolver trabalhos para incentivar as tecnologias e inovações nos setores rurais, com o intuito de gerar melhoria na qualidade de vida da população e disponibilizar novas ferramentas, que possam ser utilizadas para contribuir com o desenvolvimento das comunidades rurais. Destaca-se que os produtores rurais são desenvolvedores natos de tecnologias sociais, principalmente a partir da experimentação, vão encontrando soluções simples e de imediata aplicabilidade, mesmo desconhecendo os métodos científicos, resolvem os problemas mais próximos.

As inovações organizacionais podem ser formadas contribuindo consideravelmente com a ampliação de parcerias e diferentes métodos de tecnologias no ambiente produtivo. Advindo do mesmo intuito, tem-se a Lei nº 10.973/2004, com a nova redação dada pela Lei nº 13.243/2016.

“O Art. 1º estabelece medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, com vistas à capacitação tecnológica, ao alcance da autonomia tecnológica e ao desenvolvimento do sistema produtivo nacional e regional do País”.

É muito importante desenvolver pesquisas que possam auxiliar na qualidade de vida das pessoas em consonância com o meio ambiente, principalmente pela capacidade de produzir, com uma certa sofisticação ou advindos de um certo conhecimento científico. Considerando a perspectiva dos atores locais como agentes principais, especialmente no processo de construção do conhecimento, inicialmente precisa-se de um esforço conjunto, desta forma as instituições e organizações buscam, a partir da sua realidade de vida e de suas atividades, gerando condições para o agricultor e criando tecnologias que facilitarão o trabalho na propriedade.

Neste contexto, pode-se produzir um biocombustível sólido desenvolvido por meio de pesquisa acadêmica dentro do laboratório da faculdade, visando apresentar e adequar a forma de desenvolver estes biocombustíveis de maneira mais usual

principalmente na propriedade rural. Objetivando a confecção deste biocombustível para utilizar como fonte de energia térmica. Sabe-se da importância da agricultura familiar para o desenvolvimento agrícola, aumentar as fontes de utilização de matéria e desenvolver estratégias aprofunda esse segmento, fortalecendo as economias locais/regionais e a ascensão da qualidade de vida das populações rurais e urbanas.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Adaptar a produção de biocombustível sólido a partir da biomassa da casca de arroz, casca de cítricos e casca de batata como fonte de energia térmica na agricultura familiar.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Desenvolver biocombustível sólido a partir da casca de arroz, casca de cítricos e casca de batata na agricultura familiar;
- b) Avaliar viabilidade da produção dos briquetes através de Teor de Umidade, Teor de Cinzas, Poder Calorífico Superior (PCS), Poder Calorífico Inferior (PCI), Resistência Mecânica a Compressão, Densidade Aparente e emissão de fumaça pela Escala Ringelmann;
- c) Analisar a viabilidade econômica da produção de briquetes em laboratório;
- d) Produzir os biocombustíveis advindos da agricultura da localidade e região; e com os equipamentos da propriedade;
- e) Demonstrar a possibilidade de utilizar um novo conceito de reaproveitamento de resíduo agrícola como fonte de energia térmica;
- f) Identificar a possibilidade e problemáticas de confeccionar um biocombustível sólido a partir de resíduos agrícolas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O Brasil tem potencial para a produção de energia renovável, e o desenvolvimento de pesquisas para diversificar potenciais espécies produtoras de

biomassa, concedendo ao Brasil uma vantagem competitiva no cenário mundial na produção de energia renovável. O país vem se destacando nas questões energéticas e desponta como uma das matrizes mais diversificadas e limpas do planeta, portanto permanece a necessidade de incentivar um aumento de medidas para desenvolver sua cadeia de abastecimento de forma sustentável. Isso inclui necessariamente a exploração, análise e desenvolvimento de tecnologias voltadas para a produção e qualidade da biomassa, bem como para a melhoria do processamento, conversão e aplicação de produtos energéticos.

O Balanço Energético Nacional (BEN) mostra que 48% do mix energético do país provém de fontes renováveis, enquanto a média global tem origem não renovável de 86%, destacando o petróleo e o carvão. O fruto de investimento em energia limpa no Brasil vem se destacando cada vez mais, principalmente após o compromisso assumido pelo país na COP26 de reduzir 50% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) até 2030. Segundo a EPE, a matriz do setor contou com 26% de biocombustíveis produzidos nacionalmente e deve ser ampliado contando com o apoio da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio).

As questões favoráveis à adoção dos biocombustíveis vêm de setores estratégicos, geopolíticos, permitindo que os importadores diminuam a dependência dos países produtores de petróleo. O uso de áreas agrícolas excedentes nos países industrializados fornece melhor manejo da terra, redução nos níveis de emissões de CO<sub>2</sub>, criação de empregos, reciclagem de nutrientes, fornecimento de vetores energéticos modernos a comunidades rurais nos países em desenvolvimento, controle de resíduos. Como a maior parte da biomassa é produzida na zona rural, a sua exploração promove uma maior fixação da população local, gerando empregos, sobretudo para pessoas com pouca ou nenhuma qualificação.

Os sistemas de bioenergia são sujeitos a configurações legais, técnicas, ambientais, econômicas e sociais. De certo modo, a implantação de bioenergia pode ser associada a riscos e preocupações, principalmente em relação às plantas de combustão em larga escala (SCHUBERT, 2010). Essas preocupações referem-se à biodiversidade, desmatamento, aumento da demanda por escassez de terra e água, tendo impacto na aceitação social da bioenergia (MCCORMICK, 2010). No entanto a nível regional, sendo desenvolvida a partir de resíduos da agricultura familiar e para uso destas comunidades, a bioenergia pode incorporar tradições agrícolas e

oferecer soluções de gestão de resíduos, sendo que agroecologia estabelece as bases para a construção de estilos de agricultura sustentável (ZABANIOTOU, 2018).

. O desenvolvimento econômico e social são processos complexos que necessitam disponibilidade de abastecimento adequado e confiável de energia (SCHUBERT, 2010). A questão social, em especial, é um importante complemento aos benefícios de aplicar os biocombustíveis nas matrizes energéticas dos países, pois permite a geração de emprego em larga escala por meio do estabelecimento de novas cadeias produtivas no campo. Em alguns casos, também podem proporcionar a reutilização de áreas degradadas e o desenvolvimento industrial.

O aproveitamento de resíduos agroindustriais pode representar importante matéria prima para a produção de biocombustíveis avançados, se desenvolvido de forma adequada, o aproveitamento de resíduos para a produção de bioenergia e de biocombustíveis tem potencial de contribuir com a reutilização de resíduos que muitas vezes estão descartados em local inadequado, gerando vetores e incapacitação de material com potencial. Portanto, a utilização destes resíduos como combustível se faz importante quanto ao controle ou eliminação de vetores oriundos do acúmulo destes nos campos (FERNÁNDEZ et al., 2012). Estas são questões importantes para sociedade e desafios acadêmicos, uma vez que envolve aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

No aspecto ambiental, os resíduos podem ser utilizados como matéria-prima para uma variedade de produtos, desde fontes energéticas até produtos químicos. Os biocombustíveis tem grande potencial e são considerados ecologicamente favoráveis, pois liberam 98% menos enxofre e 50% menos material particulado, além de serem biodegradáveis e não tóxicos (DEMIRBAS, 2004). O impacto da pressão antrópica sobre remanescentes florestais é maior em pequenas áreas florestadas, tornando difícil a sua conservação. O progresso mundial no consumo de energia, baseado na combustão de combustíveis fósseis, condicionou a matriz energética incerta e cara, sobretudo, muito prejudicial ao meio ambiente.

O uso de biocombustíveis oferece uma gama vantagens, é uma fonte renovável, emite gases menos poluentes durante a combustão, reduz dependência de recursos fósseis e contribui para o aumento de empregos nas zonas rurais. A vasta produção agrícola mundial gera também uma grande produção de biomassa residual através dos seus sistemas de cultivo e processamento, sendo estes resíduos utilizados como matéria-prima sustentável, em linha com o modelo de

economia circular. A utilização da biomassa remanescente como matéria-prima pode influenciar positivamente diversos segmentos de mercado (EMBRAPA, 2020).

As vias sustentáveis da bioenergia devem ser selecionadas na base de alta eficiência, nesse contexto, foi desenvolvido um estudo inicial de composição com objetivo de caracterizar os briquetes confeccionados com casca de arroz, casca de batata e casca de frutas cítricas. Efetuado a verificação quanto ao teor de umidade, teor de cinzas, poder calorífico superior inferior, a cor da fumaça pela escala de Ringelmann e a viabilidade econômica da produção dos briquetes em laboratório. Após, foi adaptado e inserido esse meio de produção dos briquetes no setor agrícola para a produção de biocombustível sólido no local.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir serão apresentados os conceitos de biomassa, energia térmica, agricultura familiar. Além disso, caracterizado as biomassas utilizadas nesse trabalho, sendo, mais especificadamente sobre as cascas de arroz e cascas de cítricos.

Também foram citadas as propriedades físicas das biomassas, como a massa específica, densidade, teor de umidade, teor de cinza e poder calorífico, resistência mecânica a compressão, pois influenciam na utilização da biomassa como biocombustível.

### 2.1 BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA

A bioenergia é uma alternativa que pode substituir parcialmente os combustíveis fósseis, embora não possa resolver totalmente o problema energético mundial (GOLDEMBERG et al., 2008). A biomassa é uma matéria-prima barata e facilmente disponível que armazena grandes quantidades de energia, carbono, oxigênio e hidrogênio. É uma das poucas fontes que facilita a produção de energia em larga escala sendo sustentável e apoiando o desenvolvimento da sociedade.

Geralmente, o termo biomassa é usado para descrever um grupo de produtos energéticos e matérias-primas renováveis derivadas de matéria orgânica gerada biologicamente. Do ponto de vista energético, a biomassa é qualquer recurso renovável derivado da matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado para produzir energia. (SEYE, 2003).

Um aspecto importante da biomassa é ser um recurso que se renova em curtos intervalos, por isso é referido como um recurso renovável no planeta, ao contrário de fontes de energia fósseis como carvão ou petróleo, que levam milhões de anos para se renovar. Considerada como subproduto do agronegócio e da indústria de processamento de alimentos e bebidas, incluindo os centros de abastecimento e distribuição de alimentos, a biomassa é normalmente descartada por esses players em estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários.

A biomassa pode ser classificada em dois grandes grupos:

- (1) Biomassa tradicional, que é composta essencialmente por resíduos naturais e pela lenha;

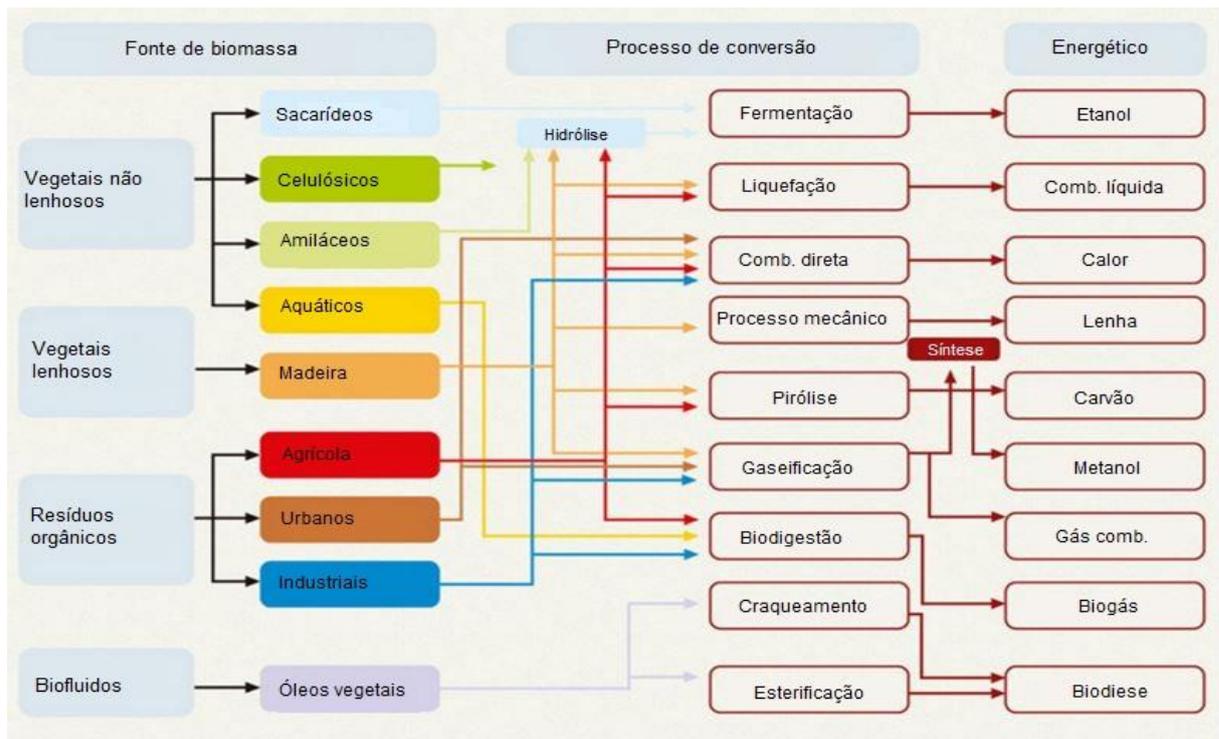
(2) Biomassa moderna, produzida a partir de processos eficientes e tecnológicos avançados, tais como biocombustíveis briquetes, pellets, cogeração (bagaço de cana) e os cultivos dedicados de espécies como da cana-de-açúcar e o das florestas plantadas

A principal fonte de produção de energia a partir da biomassa são os resíduos, principalmente de origem vegetal, podendo ser gerada de várias formas. Seu principal uso como insumo energético são:

- Produção de biocombustíveis sólidos para produção de energia térmica (carvão e resíduos agroflorestais);
- Biocombustíveis líquidos (álcool combustível e biodiesel utilizados em motores de combustão interna);
- Produção de eletricidade (combustão direta, gaseificação, combustão de gases, entre outras tecnologias).

A composição e estrutura da biomassa tem forte influência na natureza e no rendimento do processo de conversão de biomassa em energia (TAMANINI; HAULY, 2004). A biomassa pode ser obtida de plantas lenhosas, plantas não lenhosas e/ou resíduos orgânicos e convertida em energia através de vários processos de conversão (Figura 1).

Figura 1. Fontes de biomassa e seus processos de conversão.



Fonte: Brasil, (1982).

O processo de cogeração consiste na produção simultânea de energia térmica (utilizada como fonte nesta indústria de calor para processos em geral) e mecânica (pode ser utilizada na forma de trabalho), da mesma fonte de energia primária.

O potencial de cada combustível depende de propriedades termoquímicas como: composição elementar, densidade, granulometria, teor de cinzas, teor de umidade, que definem o poder calorífico da biomassa. Para verificar a conversão termoquímica da biomassa em bioenergia devem ser observadas características químicas, físicas e mecânicas, visto que estas propriedades influenciam a eficiência de conversão, o desempenho, e a qualidade do produto final. Por se tratar de materiais heterogêneos e com composições químicas diversas, a análise físico-química e a determinação da composição desempenham um papel importante na caracterização da biomassa, tanto para produção de energia quanto para seu uso em química fina (VAZ, 2015).

Dentre classes de biomassa vegetal que apresentam potencial econômico para exploração industrial, destaca-se a biomassa lignocelulósica, formada por celulose e hemicelulose, que são polímeros polissacarídeos, e a lignina, uma macromolécula fenólica. Algumas características, como o poder calorífico, a análise da composição, a química elementar, química imediata, a quantidade de cinzas e a composição granulométrica, são fundamentais para aferir se a biomassa está sendo empregada em plena capacidade e o melhor uso da mesma (MARAFON, 2016).

Segundo Sawin et al, (2012) a biomassa pode ser usada de modo direto para produzir calor, energia elétrica, ou convertida em biocombustíveis sólidos, como briquetes e pellets, líquidos, como etanol e biodiesel, ou gases, como biogás e gás de síntese. Utilizando diversas tecnologias, esses biocombustíveis podem ser convertidos em energia mecânica, térmica ou elétrica, podendo ser utilizados de diversas formas para atender as necessidades das atividades humanas.

Atualmente, há uma boa perspectiva nessa área com a implantação da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio – lei nº 13.576/2017), noticiada como o novo marco legal dos biocombustíveis no Brasil. Conforme apontado pelo Ministério de Minas e Energia (Brasil, 2022), o programa RenovaBio é uma política de estado, que visa traçar estratégias para reconhecer o papel de diversos biocombustíveis na matriz energética brasileira, tanto para a segurança energética quanto na mitigação e redução das emissões de gases de efeito estufa. Porém,

ainda faltam políticas públicas integradas de longo prazo para alavancar o uso da bioenergia no agronegócio brasileiro.

### **2.1.1 Propriedades físicas da biomassa**

É necessário determinar algumas propriedades que influenciam a capacidade da biomassa na produção dos biocombustíveis.

#### **2.1.1.1 Massa específica aparente**

A Massa Específica Aparente é a razão entre a massa de uma quantidade de substância e o seu volume, incluindo os poros permeáveis à água. (ECKERT et al., 2013).

#### **2.1.1.2 Densidade**

Densidade é um parâmetro importante na compactação, pois quanto maior for a densidade, maior energia/volume. Então, produtos que tem a densidade alta são mais preferidos por ter melhor qualidade de manuseio, armazenamento e transporte. A densidade dos compactados depende da densidade do resíduo lignocelulósico de origem, da pressão de briquetagem ou de peletização e, em certo grau, do tempo e temperatura de processamento (DERMIBAS Et al., 2004).

Segundo Dias (2012), em geral, materiais com maior teor de umidade e tamanhos de partículas maiores tendem a diminuir a densidade do produto final, enquanto temperaturas e pressões de processo mais altas aumentam a densidade dos produtos. Devido à baixa densidade de alguns tipos de biomassa utilizados para geração de energia, existe uma preocupação especial na viabilização da coleta e transporte destas matérias-primas, podendo gerar inconvenientes como a decomposição da matéria-prima quando a mesma é estocada por longos períodos de tempo.

#### **2.1.1.3 Teor de umidade**

O teor de umidade indica a quantidade de água presente no material estudado. Dependendo do processo de compactação e do tipo de matéria-prima

existe uma faixa de teor de umidade em que o material pode estar adequadamente briquetado ou peletizados. Vários estudos recomendam que o valor de umidade deva estar entre 5 e 10%, pois, se a umidade for excessiva pode causar explosões devido à formação de vapor, mas se a matéria-prima estiver muito seca dificulta os mecanismos de ligação entre as partículas (DIAS, 2012).

#### 2.1.1.4 Teor de cinzas

O teor de cinzas é a percentagem em massa de cinzas após a queima completa do briquete ou pélete. Altos teores de cinzas podem levar também à corrosão do queimador e a desgastes de todos os equipamentos por abrasão (DIAS, 2012).

#### 2.1.1.5 Poder calorífico

É definido como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa do material analisado. O poder calorífico é dividido em superior e inferior. O poder calorífico superior (PCS) é aquele em que a combustão ocorre a volume constante e em que a água produzida durante a combustão condensa e o calor obtido dessa condensação é recuperado. O poder calorífico inferior (PCI) é a energia realmente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas por evaporação de água (BRIANE et al., 1985; DIAS, 2012).

#### 2.1.1.6 Resistência mecânica à compressão

Os testes de compressão são usados para determinar a curva tensão-deformação dos materiais, podendo ser realizados em máquinas universais de teste mecânico, envolvendo aplicação de pressão uniaxial a uma amostra (geralmente de forma cilíndrica ou prismática) em condições distintas para cada tipo de material.

### 2.1.1.7 Medição da emissão de fumaça preta

Para a medição da intensidade de emissão de fumaça preta foi utilizada a escala de Ringelmann. A escala Ringelmann está demonstrada na Imagem 1, sendo uma escala gráfica para avaliação colorimétrica visual, constituída de um cartão com tonalidades de cinza correspondentes aos padrões de 1 a 5, sendo que o nº 1 é densidade 20%, nº 2 densidade de 40%, nº 3 densidade de 60%, nº 4 densidade de 80% e nº 5 densidade de 100%.

Imagem 1. Escala de Ringelmann



Fonte: CETESB (2012).

A Escala Ringelmann é uma metodologia de fácil implementação e de baixo custo, sendo amplamente adotada entre os estados.

## 2.2 PRODUÇÃO DE ARROZ NO BRASIL

Segundo a Conab (2022), o Brasil tem destaque na produção de arroz, com uma produção anual em torno de 10 milhões de toneladas, podendo variar para mais ou para menos (dependendo das condições climáticas de cada ano). Somente na safra 2021/2022, o país produziu 10,803 mil toneladas de grãos em 1,619 mil hectares, segundo dados do Boletim Safra de Grãos da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Dessa produção total, cerca de 90% para consumo interno e o restante, de 1,3 milhão de toneladas, exportado para todo o mundo.

Segundo dados da Conab, a maior produção de arroz está na região Sul do Brasil, no Rio Grande do Sul, estados como Santa Catarina, Tocantins e Mato Grosso também contribuem com uma produção significativa para o total nacional.

Em Santa Catarina, os dados da Conab referentes à última safra de 2021/22, apontam para uma colheita de 1,25 mil toneladas de arroz. Diante desse cenário, a importância econômica do arroz no estado é bastante notável. A cultura gera empregos e contribui para a arrecadação do Produto Interno Bruto (PIB) e do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) do país.

A casca do arroz é a camada externa da semente do arroz, removida durante o processo da moagem, a casca representa o maior volume entre os subprodutos gerados durante o beneficiamento do arroz, podendo chegar a uma média de 22%. Normalmente a casca do arroz tem a seguinte composição:

- Proteína (%) = 2,0 - 2,8
- Gordura (%) = 0,3 - 0,8
- Fibras (%) = 34,5 - 45,9
- Cinzas (%) = 13,2 - 21,0
- Carboidratos (%) = 22,0 - 34,0

Deste modo, durante a queima a casca produz muita cinza e sua fumaça é pouco poluente, pois não tem enxofre na composição.

Geralmente esse resíduo fica disposto aglomerado em local inadequado, podendo atribuir para aumento de vetores e doenças, além de ser queimado ao ar livre ou descartado em locais inadequados. Deste modo, é muito importante ter uma aplicação interessante eficiente e economicamente viável deste subproduto ao ponto de destinar corretamente tal resíduo.

### 2.3 PRODUÇÃO DE FRUTAS CÍTRICAS NO BRASIL

O Brasil é um importante produtor de frutas cítricas (laranjas, limões, limas e tangerinas) seja em consumo in natura ou não. As frutas cítricas são culturas perenes, existem muitas produções e variedades desenvolvidas para cada região. A citricultura está presente em todos os estados brasileiros. Mas para os cultivos comerciais, Minas Gerais e São Paulo ocupam posição de destaque no ranking nacional. Conforme dados do IBGE, em 2019, a área cultivada com laranja era de 592 mil hectares, limão 56 mil hectares e tangerina 52 mil hectares.

O processamento de suco de laranja, é uma das mais importantes indústrias global, sendo que o Brasil também é líder na exportação mundial de suco de laranja, em 2020 os embarques superaram US\$ 1,4 bilhão.

Os resíduos da cadeia de suprimentos emergiram como um recurso com um potencial significativo a ser empregado como matéria-prima, dados os abundantes volumes gerados globalmente, sua diversidade de componentes químicos e a oportunidade de serem utilizados como combustível, por exemplo, no processamento da fruta. Apesar de avanços nas pesquisas para aumentar a produtividade por hectare plantado, ainda se tem um volume elevado de resíduos sólidos dos frutos cítricos, sendo, de modo geral, entre 40% a 50% do fruto (IBGE, 2019; LIN et al., 2013). A biomassa residual resultante da extração de suco são uma fonte importante de limoneno, etanol, pectina, celulose, fibra antioxidante e óleos essenciais, (J.M. FERNÁNDEZ-GINÉS et al., 2004; LIN et al., 2013; VIUDA-MARTOS et al., 2009).

As cascas e outros bioprodutos são secos e comercializados, através de tecnologias inovadoras, esses resíduos que seriam descartados viram uma alternativa eficiente, barata e sustentável. Além de contribuir na diminuição da destinação desses resíduos para locais inadequados, principalmente aos aterros sanitários (BIER, 2011).

## 2.4 AGRICULTURA FAMILIAR

A agricultura familiar é a principal responsável pela produção de alimentos disponíveis para o consumo da população brasileira, sendo formada por pequenos produtores rurais, povos e comunidades tradicionais, assentados da reforma agrária, silvicultores, aquicultores, extrativistas e pescadores.

A Lei 11.326, de 24 de julho de 2006, define as diretrizes para formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e os critérios para identificação desse público. De acordo com a legislação:

É considerado agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, possui área de até quatro módulos fiscais, mão de obra da própria família, renda familiar vinculada ao próprio estabelecimento e gerenciamento do estabelecimento ou empreendimento pela própria família.

Os agricultores familiares estão significativamente envolvidos na produção de alimentos que vão para a mesa dos brasileiros. Na agricultura familiar, a gestão da propriedade é compartilhada pela família e a produção agrícola é a principal fonte de renda.

Além disso, o agricultor familiar tem uma relação especial com a terra, seu local de trabalho e sua casa. Nas lavouras permanentes, o segmento responde por 48% do valor da produção de café e banana; nas lavouras temporárias, respondem por 80% do valor da produção da mandioca, 69% do abacaxi e 42% da produção do feijão. A diversidade produtiva também é um traço distintivo dessa indústria, que muitas vezes combina a produção para consumo próprio com a produção para o mercado, gerando renda familiar (GOV, 2022).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A realização deste trabalho foi dividida em duas etapas, a primeira realizada pelo método quantitativo, onde foram efetuados a produção e qualificação experimental dos corpos de prova confeccionados e após, utilizado o método qualitativo, com a transferência da produção dos briquetes para a agricultura familiar. Sendo um estudo de caso, a técnica de pesquisa utilizou como objeto principal, verificar a possível confecção deste biocombustível sólido feito a partir de resíduos das biomassas de casca de arroz, casca de cítricos no cotidiano da agricultura familiar.

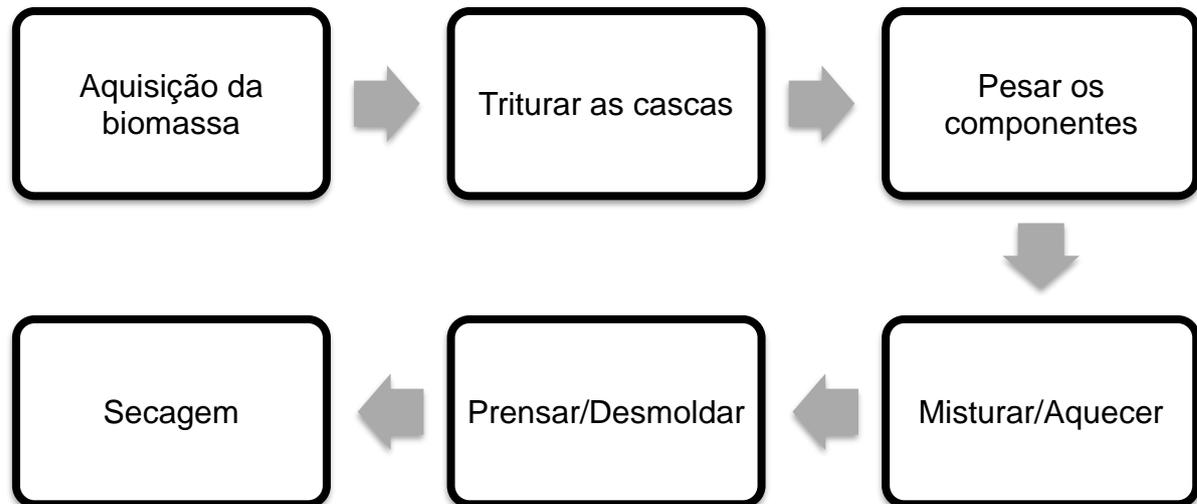
Na primeira etapa a confecção dos corpos de prova e os experimentos foram realizados no laboratório de Práticas Integradas II, e no laboratório de Engenharia Civil na Universidade do Sul de Santa Catarina, no Campus Pedra Branca. Os insumos foram preparados previamente sendo que as cascas das frutas cítricas foram secas em estufa a 30 °C e trituradas. As cascas de batatas-inglesas foram congeladas até seu uso. A casca de arroz foi usada como recebido, sendo uma doação de Arroz Ligeyrinho.

O objeto do estudo foi transferir a metodologia desenvolvida em laboratório na confecção de combustível sólido para uma residência agrícola, estes, foram produzidos a partir de resíduos demonstrados na Tabela 1, com potencial para aproveitamento e reutilização para produção de energia térmica.

#### 3.1 MÉTODO DE PREPARAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS

A metodologia utilizada para a confecção dos corpos de prova foram as mesmas, porém, em cada local foi adaptado para cada objetivo. Quando a produção foi efetuada em laboratório elaborando uma produção mais prática e quantitativa, com teor analítico. E para a produção na agricultura familiar foi adaptado uma produção mais adequada para a realidade da residência, tornando o método mais usual possível. O processo para o desenvolvimento dos corpos de prova está demonstrado no Fluxograma 1.

Fluxograma 1. Processo de Produção dos corpos de prova.



Fonte: Autora (2022).

### 3.1.1 Confeção dos combustíveis sólidos no laboratório

Para a preparação dos espécimes, foram trituradas as cascas de batata Inglesa (*Solanum Tuberosum L.*) e as cascas de laranja Pêra (*Citrus sinensis*), cascas de tangerina Ponkan (*Citrus reticulata*), cascas de limão Tahiti (*Citrus latifolia*), as cascas de batata trituradas foram misturadas manualmente em 100 ml de água destilada. A mistura foi então aquecida numa chapa de aquecimento durante aproximadamente 10 min a uma temperatura de 90 °C.

Após algum tempo, a mistura foi engrossando e caracterizou um aspecto semelhante a gel, pois a casca de batata quando misturada em água e aquecida libera amido e serve como ligante, então, adicionou-se casca de arroz (*Oryza sativa*) e as cascas de cítricos moídas. A mistura foi colocada em moldes PVC de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro (Norma ASTM D 63890) em seguida, foram comprimidos manualmente por uma pressão de 100 N durante aproximadamente 1 min. Após, as amostras foram secas em estufa (DeLEO®) durante 48 h a 105 °C, passando esse período, as amostras foram desmoldadas manualmente.

Preparou-se seis amostras de cada composição de acordo com a Tabela 1, foram utilizadas cascas de frutas cítricas (laranjas, tangerinas e limões) de cultivo orgânico.

Tabela 1. Quantidade de biomassa residuais utilizadas para a confecção dos biocombustíveis.

Briquetes Biocombustíveis	100 ml de água destilada e 100 g de casca de batata			
	Casca de arroz (g)	Casca de laranja (g)	Casca de tangerina (g)	Casca de limão (g)
1	10	50	-	-
2	10	-	50	-
3	10	-	-	50

Fonte: Autora (2019).

### 3.1.1.1 Caracterização para a produção dos espécimes

Os briquetes foram confeccionados em quantidades e dimensões adequadas para realização dos ensaios, verificando a Densidade Aparente, o Teor de Umidade, Teor de Cinzas, Poder Calorífico Superior (PCS), Poder Calorífico Inferior (PCI), Resistência mecânica a compressão e emissão de fumaça pela Escala Ringelmann.

Considerando o diâmetro do briquete e a sua altura, através da Equação (1) calculou-se o volume de cada espécime.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (1)$$

Sendo:

V: O volume do combustível sólido em cm<sup>3</sup>; r: o raio em cm; e h: a altura do combustível sólido.

A densidade aparente foi calculada através da massa do briquete e o seu volume, conforme Equação (2):

$$D = \frac{m}{v} \quad (2)$$

Sendo:

M: Massa do corpo de prova em gramas; v: o volume em cm<sup>3</sup>.

Para obter o Teor de Umidade, foram divididas cinco amostras de cada composição de briquete, foi pesado cada uma delas com a balança de precisão previamente tarada, e levado à estufa a uma temperatura de 105 ± 2°C, após, foi

retirado da estufa e resfriado em dessecador com cloreto de cálcio anidro e pesado. A operação de aquecimento e resfriamento foi repetida até peso constante, conforme NBR 8112/86. Foi usada a Equação (3):

$$TU (\%) = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

m<sub>0</sub>: Massa inicial; m<sub>1</sub>: Massa final. Ambas expressas em gramas.

Para obter o valor do Teor de Cinzas, foram divididas cinco amostras de cada composição e colocadas em uma cápsula de porcelana isenta de umidade. Esta foi transferida a um cadinho, previamente seco e tarado, e levado à mufla (700 +/-10 °C) por um período de 3 horas. Após este processo, o material foi resfriado em dessecador com cloreto de cálcio anidro até massa constante. E efetuado a Equação (4).

$$CZ (\%) = \frac{m_1 - m_0}{m} \times 100 \quad (4)$$

Sendo:

CZ: Teor de cinzas em %; Mo: Massa do cadinho; M1: Massa do cadinho adicionado à massa do resíduo após combustão; e m: a massa da amostra seca, expressos em gramas.

Para obter os valores de Poder Calorífico Superior e Inferior foi utilizado o método descrito em pesquisas da Embrapa, cuja referência foi a FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura).

A Equação (5) apresenta o cálculo para obter o Poder Calorífico Superior.

$$PCS = 20 \times (1 - A - M) \quad (5)$$

Sendo:

PCS: Poder calorífico superior em MJ/kg; A: Teor de cinzas e M: Teor de umidade do combustível, medidos na prática.

A Equação (6) apresenta o cálculo para obter o Poder Calorífico Inferior.

$$PCI = 18,7 \times (1 - A) - 21,2 \times M \quad (6)$$

Sendo:

PCI: Poder calorífico inferior em MJ/kg; A: é o teor de cinzas e M: é o teor de umidade do combustível, medidos na prática.

Os testes mecânicos foram realizados com método de compressão com célula de carga de 30 kN em equipamento de teste universal (EMIC DL-30000). Nestes testes, seis corpos de prova cilíndricos (10 cm de altura e 4,5 cm de diâmetro) foram submetidos a incrementos de pressão até que a deformação plástica ocorresse à temperatura ambiente (ISO 17831-2: 2015).

Foi efetuado o Monitoramento de Fumaça dos corpos de prova, estes foram colocados dentro de uma cápsula de porcelana, e queimados e a avaliação da fumaça foi realizada usando a escala de Ringelmann. O experimento foi conduzido por cerca de 5 min em um exaustor. As imagens de fumaça foram capturadas e comparadas à escala Ringelmann, usando o software VirtualRingelmann®.

### 3.1.1.2 Viabilidade econômica dos briquetes produzidos no laboratório

Para calcular a viabilidade econômica dos bicomcombustíveis produzidos a partir dos componentes presentes na Tabela 1, foram utilizados para cálculo dos custos de produção dados do espécime 1.

Afim de obter os cálculos dos custos de produção utilizou-se a condição FOB (Free On Board) onde não tem valores de frete incluso no produto, ou seja, o comprador deve se responsabilizar pelo transporte da mercadoria. Os custos fixos foram considerados como aqueles que não variam em função da quantidade produzida pela empresa (MARTINS, 2003).

#### a) Depreciação dos bens

Os ativos da empresa são constantemente desvalorizados, principalmente devido ao desgaste, envelhecimento e progresso tecnológico. A depreciação é, portanto, a diferença entre o preço de compra de um bem e seu valor de troca (valor residual) após um determinado período de uso. Normalmente, as empresas adotam o método linear para lançamentos contábeis. Mesmo utilizando o método linear na contabilidade, uma empresa pode utilizar um método diferente para determinar o

custo de produção de seus produtos, uma vez que a depreciação é um custo para a empresa (KUHNNEN, 2001).

Foi utilizado o cálculo de depreciação linear (7), este, é o método mais simples e mais utilizado. Consiste em dividir o total a depreciar pelo número de anos de vida útil do bem.

$$DL = \frac{PV - R}{n} \quad (7)$$

Onde:

PV: valor inicial do bem, ou seja, valor pelo qual o bem foi adquirido; R: valor final ou valor de sucata do bem; n: número de períodos de vida útil do bem.

Os valores dos equipamentos (liquidificador, chapa de aquecimento, estufa e a prensa) foram utilizados para calcular a depreciação. Foi atribuído um valor período de 10 anos de vida útil dos bens.

A determinação da mão-de-obra foi realizada com base na divisão de setores, sendo, cada funcionário responsável por um setor.

- 1º. Setor: Separação, pesagem e mistura dos componentes;
- 2º. Setor: Compactação e inserção dos briquetes na estufa;
- 3º. Setor: Retirar os briquetes da estufa e embalar.

A remuneração da mão de obra foi realizada de acordo com uma pesquisa salarial, com base no Salário de Operador de Processo de Produção na Cidade de Palhoça SC (2021), foi considerado a média salarial de R\$ 1.479,56.

Foram considerados custos variáveis aqueles que variam de acordo com a quantidade de briquetes produzida pela empresa (MARTINS, 2003).

O custo foi considerado de acordo com o material necessário para a produção de cada briquete. Obteve-se os valores de cada produto a partir de uma pesquisa de mercado, após, foi calculado o que seria gasto de matéria prima para produzir cada briquete. Para obter valores em demanda, foi considerado uma produção por lote, onde cada lote equivale a 1.000 (mil) briquetes. Foi inserido o gasto necessário para embalar o produto final.

- a) Energia elétrica e água

O custo da energia foi calculado de forma separada, sendo o primeiro de acordo com o gasto médio dos equipamentos para confecção de cada briquetes, o

segundo custo de energia foi com base nos demais gastos (ar condicionado, lâmpada e geladeira). Utilizando a Equação (8).

$$Kwh = \frac{W \times h}{1000} \quad (8)$$

Onde:

Kwh: Energia consumida (Consumo); W: Potência do equipamento; H: Número de horas utilizadas.

Para efetuar o cálculo do valor consumido de água, foi estimado um valor de consumo (m<sup>3</sup>), inserido em uma planilha de Excel disponibilizado no site da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN, 2020).

### **3.1.2 Confeção dos combustíveis sólidos na agricultura familiar**

Para confecção dos biocombustíveis foram utilizadas cascas das frutas cítricas e as cascas de batata, produzidas na localidade, e as cascas de arroz obtidas por meio de doação. Para a preparação dos espécimes, as cascas de cítricos foram secas no forno elétrico a 50 °C e trituradas no liquidificador até formar pó. As cascas de batata misturadas em água foram batidas em liquidificador até homogeneização.

Então adicionou-se as cascas de arroz e as cascas de cítricos trituradas e misturado todos os componentes numa bacia de alumínio. Após, colocou-se tudo em uma forma de alumínio de (C:22,5 cm; L: 22,5 cm; A: 6,5 cm) em seguida, foram comprimidos manualmente, utilizando uma forma menor, durante aproximadamente 1 min, então, as amostras foram secas em um forno durante 2 h a 100 °C, passando esse período, as amostras foram desmoldadas manualmente e armazenadas em ambiente arejado.

## 4 Resultados E Discussões

### 4.1 CONFECÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS NO LABORATÓRIO

Foi possível obter os biocombustíveis a partir das biomassas apresentadas na Tabela 1. Os briquetes apresentaram boas características, após a finalização do procedimento para confecção puderam ser armazenados e transportados normalmente. Foi possível observar que obtiveram boa compactação e resistência quando manuseado.

Na Figura 1 visualiza-se o briquete obtido de biomassa orgânica de 10 g casca de arroz, 50 g casca de limão e 100 g casca de batata, sendo que os outros apresentaram semelhança.

Figura 1. Caracterização dos briquetes produzidos no laboratório



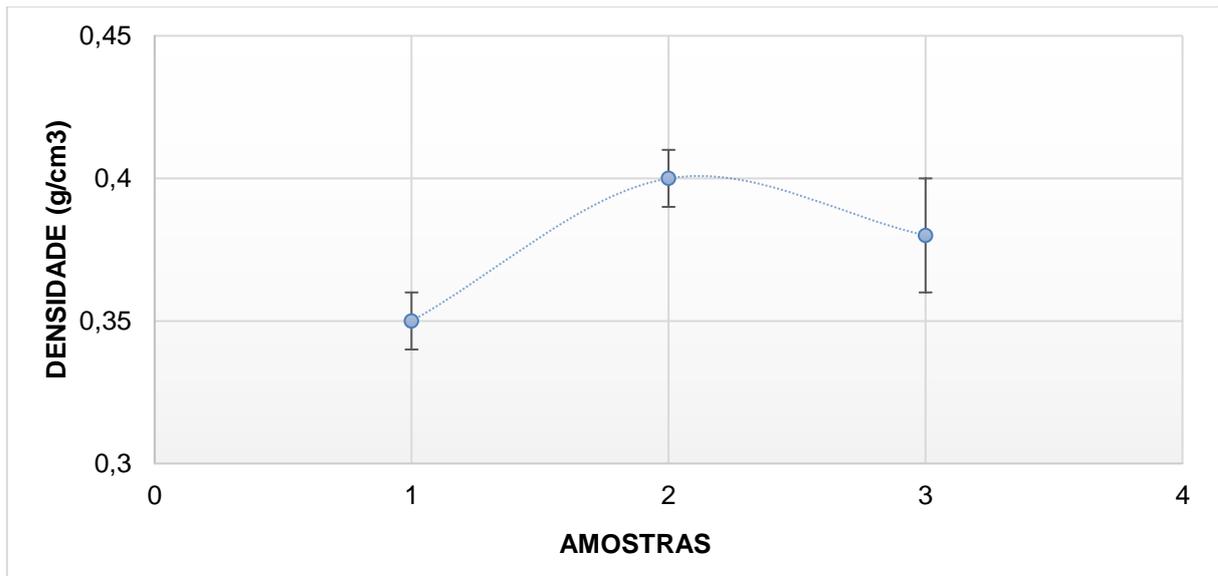
Fonte: Autora (2019).

#### 4.1.1 Caracterização para a produção dos briquetes

A partir dos testes efetuados para aferir a viabilidade da produção dos briquetes, foi possível obter o Teor de Umidade, Teor de Cinzas, Poder Calorífico Superior (PCS), Poder Calorífico Inferior (PCI), Resistência mecânica a compressão, Densidade Aparente e emissão de fumaça pela Escala Ringelmann e a viabilidade econômica dos biocombustíveis produzidos em laboratório.

A densidade aparente dos corpos de prova foi determinada utilizando o método estereométrico, foi considerado a massa e o volume de cada Amostra e feito a média e o desvio padrão. O volume foi calculado considerando a forma cilíndrica de cada corpo de prova, e a massa foi obtida através da medição com uma balança analítica. O Gráfico 1 demonstra os resultados obtidos para cada amostra.

Gráfico 1. Densidade aparente e desvio padrão de cada amostra confeccionada.



Fonte: Autora (2022).

Observa-se no Gráfico 1 a densidade e o desvio padrão de todas as amostras, sendo que a amostra 1 apresentou uma densidade de  $0,35 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ . A amostra 2 foi de  $0,4 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ , e a amostra 3 de  $0,38 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ .

Geralmente a biomassa de alimentação é muito leve, com densidades variando de  $0,05$  a  $0,18 \text{ g/cm}^3$  e, devido à natureza volumosa, é normalmente armazenada em campo aberto para garantir a aeração natural. De modo geral, a densidade aparente dos briquetes pode variar de  $0,5$ - $1,2 \text{ g/cm}^3$  enquanto a dos péletes entre  $0,5$ - $0,75 \text{ g/cm}^3$ . A densidade a granel dos briquetes dificilmente excede  $0,5 \text{ g/cm}^3$  (DIAS, 2012).

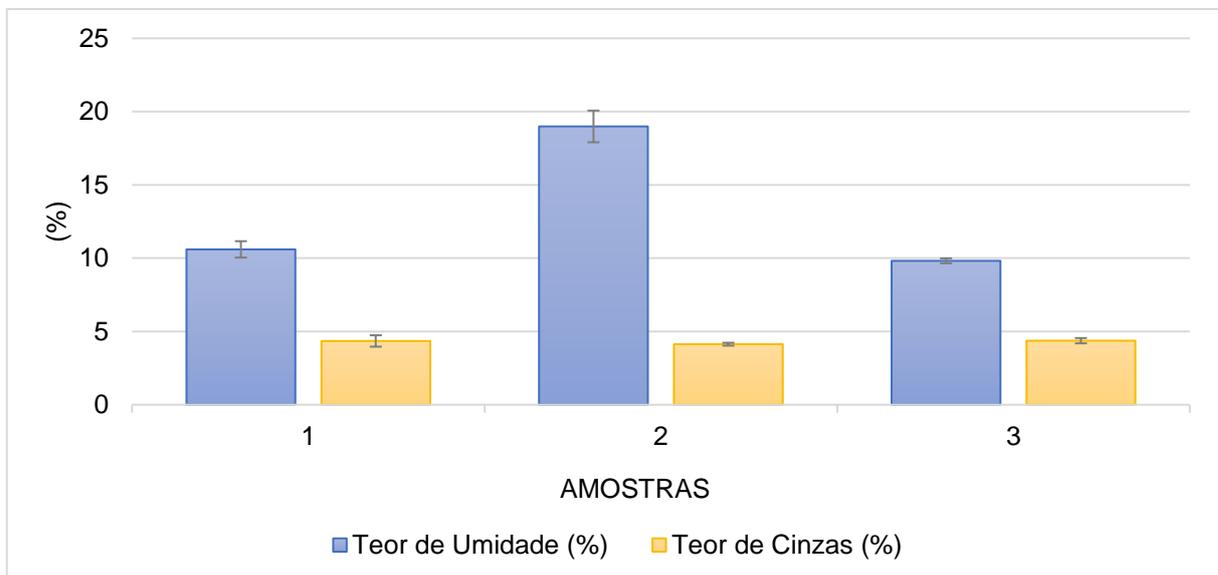
Pode-se aferir os valores das densidades encontradas nas amostras principalmente pelas biomassas escolhidas para a confecção, e também ao método de produção, pois, optou-se por não triturar as cascas de arroz, o que afetou o tamanho das partículas e a compactação dos espécimes. A prensa utilizada foi uma prensa hidráulica manual para a compactação dos briquetes, o procedimento foi efetuado no laboratório de Engenharia Civil (UNISUL), foram comprimidos

manualmente por uma pressão de 100 N durante aproximadamente 1 min. Observou-se que houve uma expansão na altura do briquete entre a compactação e após a secagem na estufa.

O tamanho inicial das partículas influencia também na densidade final dos briquetes, matéria-prima de baixa dimensão de partículas resulta em briquetes mais densos, porém precisam de pressões e temperaturas muito elevadas para aglomerar as partículas sem adição de ligantes (DIAS, 2012).

Na confecção de briquetes das biomassas de tauari e casca de arroz, quando as partículas foram mais finas elevou-se a densidade aparente, este comportamento também foi descrito por Kaliyan & Morey (2009). Então, para aumentar a densidade aparente dos briquetes sugere-se diminuir o tamanho da partícula, fazendo com que haja melhor compactação. Além disso, partículas finas abrangem maior área de superfície, promovendo melhor interação das biomassas.

Gráfico 2. Valores obtidos do Teor de Umidade (%) e Teor de cinzas (%) dos biocombustíveis sólidos.



Fonte: Autora (2022).

Após a qualificação do Teor de umidade de cada amostra confeccionada, efetuou-se uma média para determinar o Gráfico 2, neste também está apresentado o valor do desvio padrão de cada amostra. Sendo que a amostra 1 apresentou Teor de umidade de  $10,6\pm 0,56\%$ , a amostra 2 obteve  $18,99\pm 1,08\%$ , e a amostra 3 foi de  $9,82\pm 0,17\%$ .

Segundo Demirbas et al. (2004) o teor de umidade para a maioria das biomassas, é ideal se estiver entre 5-10%, pois resulta em um produto mais estável, durável e denso, quando comparados com os teores acima de 15%. No entanto, se as biomassas forem advindas de serragem ou palha de trigo, outros estudos sugerem teores de umidade entre 15 e 23%. Além disso, o baixo teor de umidade (<5%) pode resultar em quebra e perda do material, e geração de finos durante o transporte e armazenamento.

Sendo assim, pode se constatar que a amostra 2 obteve o melhor resultado de teor de umidade, pois se mantém dentro do limite de referência. Enquanto as amostras 1 e 3 apresentaram valores abaixo, porém, ainda foi acima de 5%, considerando um bom resultado. De modo geral, as 3 amostras obtiveram os valores permitidos para geração de energia, pois o teor de umidade relatado não prejudicaria os briquetes.

De acordo com o Gráfico 2 os resultados do Teor de cinzas de amostra 1 foi  $4,35\pm 0,39\%$ , a amostra 2 foi de  $4,13\pm 0,1\%$  e a amostra 3 obteve  $4,37\pm 0,18\%$ . O teor de cinzas é a porcentagem em massa de cinzas após a queima completa do briquete ou pélete.

A maioria dos resíduos de biomassa utilizados para produção de briquetes tem baixo teor de cinzas, exceto a casca de arroz que pode ter até 25% de cinzas, devido conter como matéria prima a sílica. De modo geral, altos teores de cinzas podem facilitar o desgaste de todos os equipamentos por abrasão e à corrosão do queimador, isso pode ocorrer principalmente se o teor de cinzas for superior a 4% (MANDE, 2009). Pode-se constatar que todas as amostras apresentaram valores próximos, ficando entre  $4,13\pm 0,1\%$  e  $4,37\pm 0,18\%$ , de acordo com a norma BS EN 14961-1:2010, que admite valores para o teor de cinzas desde 0,7% até 6%, deste modo, todas as amostras apresentaram valores dentro da norma.

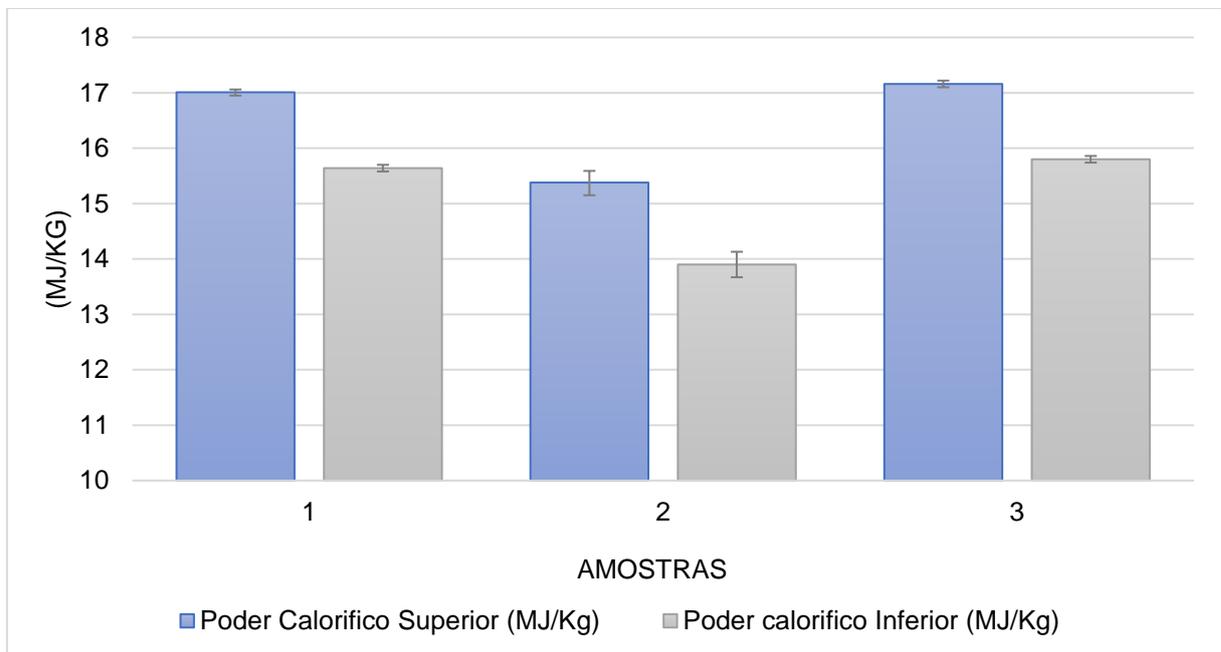
É importante ressaltar que a quantidade de cinzas geradas ocorreu principalmente pelas matérias primas utilizadas (casca de arroz, casca de frutas cítricas e casca de batata), sabe-se que as cinzas são substâncias com presença de

material inorgânico e possuem relação indireta com o poder calorífico, por isso é estimado que após a queima dos briquetes, haja a menor quantidade de resíduos possíveis, indicando que grande parte do material foi utilizada na geração de calor.

As cinzas que foram geradas também podem ser utilizadas, visto que este resíduo tem como sua principal composição a sílica, que pode ser utilizada em natura, pois contém elementos (cálcio e magnésio, entre outros) na sua composição que quando aplicados nas plantas, possui um fator de correção da acidez do solo, servindo como corretor de pH e solo. Além disso, também pode haver a extração dessa sílica, a obtenção da biosílica tem sido utilizada com sucesso como suplemento de cimento para misturas de concreto, produção de materiais de baterias, assim como, sua aplicação para preparar biocatalisadores ativos e estáveis por meio da imobilização de lipases (FOLETTO et al., 2005; MACHADO et al., 2019).

O Gráfico 3 apresenta os valores obtidos a partir da média efetuada de cada amostra de Poder Calorífico Superior e Inferior (MJ/Kg) e o desvio padrão.

Gráfico 3. Média do Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder calorífico Inferior (PCI) demonstrando a média do desvio padrão obtidos das amostras confeccionadas.



Fonte: Autora (2022).

No Gráfico 3 o resultado de PCS da amostra 1 foi de 17,01±0,05 MJ/Kg, da amostra 2 foi de 15,38±0,21 MJ/Kg e da amostra 3 foi 17,16±0,06 MJ/Kg. E para o PCI da amostra 1 foi de 15,64±0,06 MJ/Kg, da amostra 2 foi de 13,9±0,23 MJ/Kg e

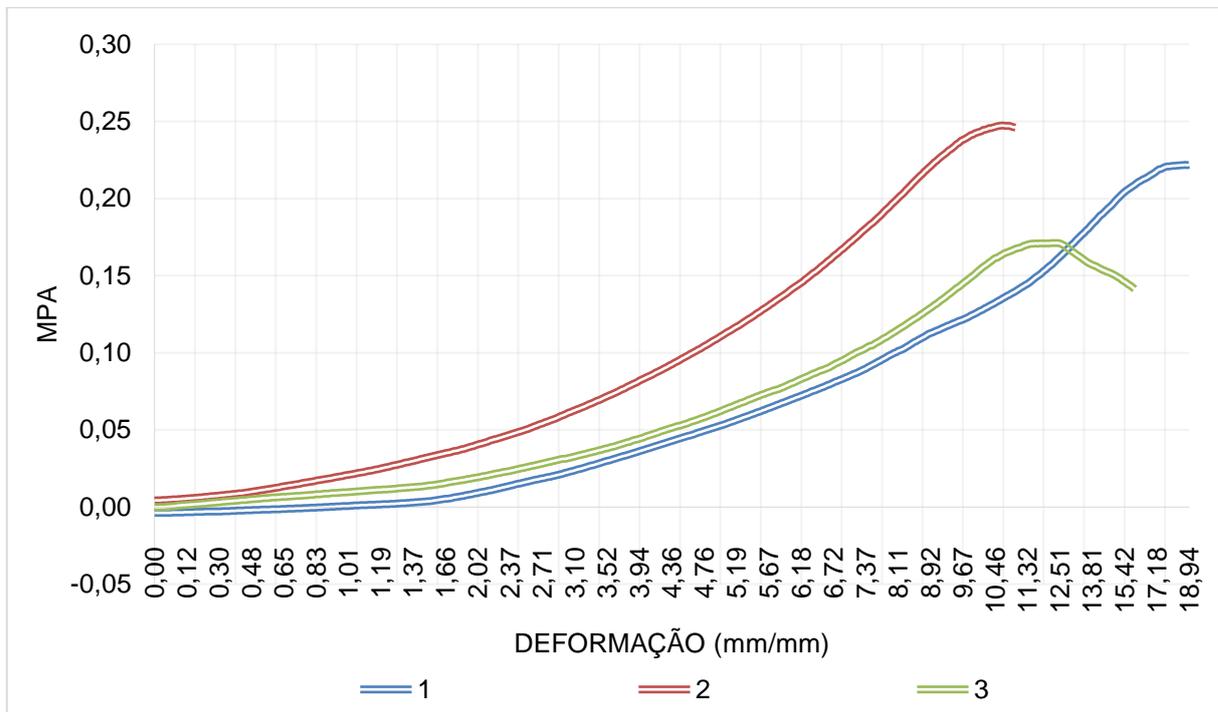
da amostra 3 foi  $15,8 \pm 0,06$  MJ/Kg. Os valores obtidos foram bem próximos, e a amostra 3 apresentou o melhor resultado, tanto para PCS quanto para PCI.

Para alguns tipos de combustíveis sólidos como os pellets não-lenhosos, a norma europeia ISO 17225-6, determina limites de até 6,0% de cinzas e poder calorífico inferior  $\geq 14,1$  MJ kg<sup>-1</sup>. Visto que, o resultado satisfatório do PCS e o PCI é ligado diretamente com o baixo Teor de umidade e de cinzas dos biocombustíveis, ficando de modo geral entre 10% e 15%, e a para a maioria dos briquetes de madeira e resíduos agroindustriais, os valores resultantes caloríficos são encontrados na faixa de PCS: 17-18 MJ/kg e para PCI: 15,4-16,5 MJ/kg (FAO, 2012a).

Os briquetes possuem no mínimo cinco vezes mais energia que os resíduos que os originaram, sendo que o seu poder calorífico foi superior ao da lenha, que fica em torno de 1,70-2,50 MJ/kg. Utilizou-se como referência também PCS e PCI do estudo feito por Costa (2016), onde foi confeccionado briquetes de diferentes composições utilizando casca de arroz como componente principal. Os valores de PCS foram entre 9,29-13,47 MJ/Kg, e de PCI foram de 8,10-12,07 MJ/Kg. Dessa forma, pode-se constatar que os biocombustíveis produzidos neste trabalho obtiveram ótimos valores de poder calorífico quando comparado com as referências, sendo que a amostra 3 obteve o melhor resultado (PCS:  $17,16 \pm 0,06$  MJ/Kg e PCI:  $15,8 \pm 0,06$  MJ/Kg). Deste modo, os valores encontrados foram bem satisfatórios, visto que o Poder Calorífico é a quantidade de calor despreendido pela combustão completa.

No Gráfico 4 pode ser observada a média da resistência mecânica a compressão para os 3 espécimes preparados a partir de resíduos de biomassa de cítricos, casca de batata e casca de arroz.

Gráfico 4. Resistência mecânica a compressão da média dos 3 (três) briquetes de biocombustíveis sólidos.



Fonte: Autora (2022).

Briquetes para uso como combustível industriais (0,375 MPa) devem apresentar maior resistência mecânica que briquetes para uso doméstico, sendo 0,006 MPa (Richards, 1990; ISO 17831-2). Deste modo, é observado que todos os valores dos briquetes no Gráfico 4, ultrapassaram 0,006 MPa de tensão, sendo considerados para uso de briquetes domésticos. Os valores de resistência mecânica dos briquetes biocombustíveis preparados variaram de 0,17 a 0,25 MPa.

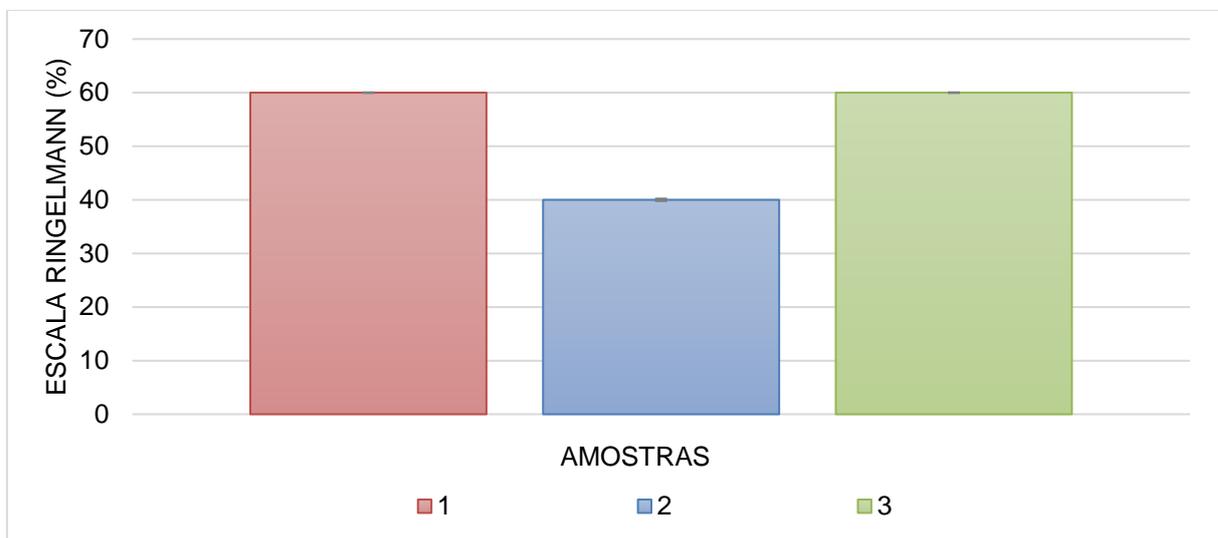
A propriedade mecânica de compressão dos briquetes de biocombustíveis foi atribuída principalmente ao inter cruzamento das fibras das biomassas residuais utilizadas, mas também reticulação da pectina e amido (COLODEL et al., 2018; RAFIQ et al., 2016, MENEGUIN et al., 2017). Os três grupos ácido carboxílico do ácido cítrico ( $\text{CO}_2\text{HCH}_2\text{C}(\text{CO}_2\text{H})(\text{OH})\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$ ) podem ter contribuído e formado ligações do tipo ésteres com os grupos OH do amido, ou ainda com celulose e hemicelulose, atuando como um agente reticulante. Bem como a possibilidade de ligações entre hemicelulose com a celulose, e ainda com pectina e amido, em pH ácido, devido a presença dos ácidos dos citrinos apresentam aglutinação (COLODEL; 2009). Deste modo produziu-se espécimes a partir de cascas de citrus e de batata com resistência à compressão adequada para serem utilizados como briquetes de

uso doméstico, e não atingiram resistência mecânica suficiente para serem considerados combustíveis para uso industrial.

Foi empregado a escala Ringelmann para avaliar o grau da cor da fumaça, que aponta com cores pré-definidas, representando a escala de avaliação, constituída de cinco níveis de classes: nível 1- densidade 20%; nível 2- densidade 40%; nível 3- densidade 60%; nível 4- densidade 80% e nível 5- densidade 100%.

No Gráfico 5 está demonstrando os espécimes durante o monitoramento da cor da fumaça, classificada através de Escala Ringelmann após a queima dos espécimes preparados.

Gráfico 5. Média das Emissões de Fumaça Preta na Escala de Ringelmann



Fonte: Autora (2022).

Todas as amostras ficaram entre o nível 2 e 3 da escala Ringelmann, sendo que a amostra 1 e 3 apresentaram classificação nível 3 (reticulado com linhas pretas de 3,7 mm de espessura, deixando, como intervalos, quadrados brancos de 6,3 mm de lado, até 60% de névoa), correspondendo a densidade de 60% da fumaça e a amostra 2 obteve classificação nível 2 (reticulado com linhas pretas de 2,3 mm de espessura, deixando, como intervalos, quadrados brancos de 7,7 mm de lado, até 40% de névoa), correspondente a densidade de 40%.

De acordo com os níveis da escala Ringelmann a amostra 2 obteve o melhor resultando, pois obteve o nível 2, um dos níveis de fumaça mais próximo do branco. Além disso, foi analisado visualmente que durante a queima a fumaça emitida pelos espécimes foi branco em todos os registros,

Para calcular os custos de produção dos briquetes no laboratório, foram considerados os dados da Tabela 1, das Amostras 1 (casca de arroz e casca de laranja). Para das início aos cálculos, foi utilizado uma média de preço de mercado pela matéria prima, a partir daí foi calculado a quantidade consumida de matéria prima para confeccionar um briquete. Obteve-se assim, o custo variável unitário e multiplicando pela quantidade de briquetes produzidos por lote (considerado 1.500 espécimes) encontrou-se o valor total do custo variável, Tabela 2.

Tabela 2. Valor total do custo variável dos briquetes.

<b>Custo Variável</b>						
Briquete	Matéria-Prima	Quantidade Consumida (Kg)	Preço de Compra da Matéria-Prima (Kg)	Custo Variável Unitário (R\$)	Custo Variável (R\$)	Custo Variável Total (R\$)
1	Casca de arroz	0,010	0,04	0,00		
	Casca de laranja	0,050	5,00	0,25	0,28	420,53
	Água destilada	0,100	0,30	0,03		

Fonte: Autora (2021).

Utilizando os cálculos dos custos de produção foi possível obter os custos variáveis e fixos, demonstrados na Tabela 3, sendo descritos os custos para os espécimes 1.

Tabela 3. Custos fixos e variáveis dos briquetes produzidos no laboratório.

<b>Briquete 1</b>				
<b>Custos Variáveis</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor real R\$</b>
Matéria prima	Kg	0,28035	1.500	280,35
Embalagem	Saco	0,8	1.500	1.200,00
Energia Elétrica (maq.)	KWh/mês	350,93	1.500	17.994,15
Energia Elétrica (Ilum.)	KWh/mês	373,07	-	373,07
Água	m <sup>3</sup> /mês	70	-	2.428,30
Sub total				22.275,87
<b>Custos Fixos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor real R\$</b>
Depreciação	Ano	637,00	1	637,00
Mão-de-obra	Mês	1.479,56	3	4.438,68
Sub total				5.075,68
<b>Total</b>				<b>27.351,55</b>

Fonte: Autora (2021).

Considerando o tempo de produção unitário dos briquetes pode-se obter o valor absorvido total, Tabela 4.

Tabela 4. Valor absorvido total dos briquetes produzidos no laboratório.

<b>Briquete</b>	<b>Tempo de Produção Unitário (min.)</b>	<b>Tempo de Produção Total (min.)</b>	<b>Valor Unitário Absorvido (R\$)</b>	<b>Valor Absorvido Total (R\$)</b>
1	50,00	2.930,00	2,54	2.544,35

Fonte: Autora (2021).

A Tabela 5 demonstra a margem de contribuição unitária de cada briquete e o total, tendo em conta um faturamento de R\$ 5.250,00 por lote, o cálculo foi feito livre de impostos.

Tabela 5. Margem de contribuição unitária dos briquetes produzidos no laboratório.

<b>Briquete 1</b>		
( + ) Faturamento	R\$	5.250,00
( - ) Impostos		
( - ) Custos Variáveis	R\$	22.275,87
( = ) Margem de Contribuição Bruta	-R\$	17.025,87
( - ) Custos por Absorção	R\$	2.544,35
( = ) Margem de Contribuição Líquida	-R\$	19.570,22

Fonte: Autora (2021).

Analisando a Tabela 5 observou-se que a margem de contribuição bruta do briquete 1 foi negativa de -R\$ 17.025,87. Considerando o método de custos por absorção, subtraímos desses valores o custo por absorção e tivemos a Margem de Contribuição Líquida (negativa) de -R\$ 19.570,22. Deste modo, levando em consideração a forma que os briquetes foram produzidos e o volume produzido, o resultado não foi viável economicamente.

Nesses termos, para abater os custos é necessário que o faturamento seja em torno de R\$ 42.000, nesse caso, seria necessária uma produção de no mínimo 6.000 briquetes por Lote. Porém, não foram considerados esses valores com o intuito de manter o processo de produção mais próximo com o descrito neste estudo.

## 4.2 CONFEÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS NA AGRICULTURA FAMILIAR

Para dar início a produção dos biocombustíveis em uma moradia rural foi compartilhado primeiro os benefícios de produzir os biocombustíveis, reutilizar resíduos orgânicos que já eram produzidos na moradia e inserir esses resíduos para o desenvolvimento do processo de confecção dos biocombustíveis.

O próximo passo foi verificar a disponibilidade das matérias prima. A referida propriedade fica localizada em Angelina – SC, nesta, foi possível registrar que obtém diversas árvores de cítricos, o que favorece a disponibilidade da matéria prima. Além disso, também há plantação de batatas e o morador local conseguiu obter a doação das cascas de arroz de um produtor conhecido da região.

Na Figura 2 tem-se o registro de três árvores de cítricos, sendo que a Figura A é bergamoteira; Figura B é laranjeira e a Figura C é limoeiro.

Figura 2. Árvores de frutas cítricas presentes na região.



Fonte: Autora (2022).

Para dar início a confecção dos biocombustíveis foi iniciada a coleta das frutas cítricas que estavam disponíveis na época, com base nos resultados obtidos de poder calorífero superior e inferior obtido no estudo de laboratório. É possível afirmar que, é viável o aproveitamento das diversas frutas cítricas, pois, independente se for laranja (*Citrus sinensis*), tangerinas (*Citrus reticulata* e *Citrus deliciosa*), limões (*Citrus limon*), o seu poder calorífico está dentro do limite.

Deste modo, pode-se dizer que tem se uma extensa variedade de frutas disponíveis para a produção dos biocombustíveis. Podendo até haver o

congelamento das cascas para serem utilizadas após algum tempo, pois isso não afetou o bom funcionamento dos corpos de prova, porém se houver o congelamento precisará de mais tempo para a secagem dos mesmos antes de iniciar o processo de produção.

As batatas também foram extraídas da próprias da localidade, tem-se uma pequena plantação com algumas verduras. Somente as cascas de arroz tiveram que ser obtidas por outros meios, pois não há plantação nesta fazenda, na localidade há muitas plantações de arroz, foi possível obter o contato de um produtor local que disponibilizou umas cascas de arroz afim de contribuir com o projeto.

Após a obtenção de todas as biomassas necessárias, pode-se iniciar a produção seguindo o Fluxograma 2.

Fluxograma 2. Processo da aquisição da biomassa até cada uma obter a forma para a iniciar a preparação dos espécimes.



Fonte: Autora (2022).

Em uma panela colocou-se as cascas de batata moída, em fogo baixo, foi aquecido e misturado manualmente todos os outros componentes. É essencial haver esse pré-aquecimento das biomassas pois, uma vez que as fibras são amolecidas

pelo aquecimento, acontece uma diminuição na resistência da compactação, e isso resulta na redução da pressão, tornando necessária para o adensamento e das forças friccionais, levando à diminuição de cisalhamento. O pré-aquecimento também promove uma boa performance nos briquetes, pois quando as fibras estão soltas (sem pressão), elas podem se expandir e se emaranhar melhor durante o processo de compactação, aumentando assim a densidade do produto final.

A temperatura máxima no pré-tratamento deve estar restrita a faixa de 250 a 300 °C de modo a evitar danos à biomassa, considerando a natureza combustível da matéria-prima, ela pode ser propensa à combustão espontânea ou decomposição pelo aquecimento. Considerando isso, foi utilizado fogo baixo para não ultrapassar essa temperatura e conseguir misturar com melhor eficácia os componentes.

Após esse processo, foi inserida a mistura em uma forma de alumínio (C:22,5 cm; L: 22,5 cm; A: 6,5 cm), afim de efetuar o processo de produção com todos os utensílios já existentes no local, depositado toda a mistura na forma, foi aplicado uma compressão com outra forma (um pouco menor) para comprimir o briquete. Então, levou-se ao forno a 100 °C por 2 h, em seguida, foi retirado do forno e desmoldado, deixado em temperatura ambiente secando no sol por mais 5 h.

Foi observado que os briquetes não obtiveram uma compactação tão boa, principalmente pela forma de produção, de acordo com Edenhofer et al. (2011), a baixa densidade de alguns tipos de biomassa utilizados para geração de energia, causa uma preocupação especial na viabilização da coleta e transporte destas matérias-primas. Entretanto, como os briquetes são produzidos para serem utilizados no local isso não foi avaliado negativamente, pois, não haverá transporte do local e nem um armazenamento de grande porte.

## 5 CONCLUSÃO

Foi possível confeccionar os briquetes a partir das biomassas de casca de arroz, casca de cítricos e casca de batata. Além disso, obteve-se os valores de cada espécime para Teor de Umidade (TU), Teor de Cinzas (TC), Poder Calorífico Superior (PCS), Poder Calorífico Inferior (PCI), Resistência Mecânica a Compressão, Densidade Aparente e emissão de fumaça pela Escala Ringelmann.

A densidade e o desvio padrão da amostra 1 foi de  $0,35 \pm 0,01$  g/cm<sup>3</sup>, a amostra 2 foi de  $0,4 \pm 0,01$  g/cm<sup>3</sup>, e a amostra 3 de  $0,38 \pm 0,02$  g/cm<sup>3</sup>, pode-se aferir estes valores obtidos de densidade das amostras principalmente pelas biomassas escolhidas para a confecção, e também pelo método de produção.

O Teor de umidade para Amostra 1 foi de  $10,6 \pm 0,56\%$ , a amostra 2 obteve  $18,99 \pm 1,08\%$ , e a amostra 3 foi de  $9,82 \pm 0,17\%$ , as 3 amostras obtiveram os valores permitidos para geração de energia, pois o teor de umidade relatado não prejudicaria os briquetes. Para o Teor de cinzas pode-se constatar que todas as amostras apresentaram valores próximos, ficando entre  $4,13 \pm 0,1\%$  e  $4,37 \pm 0,18\%$ , a quantidade de cinzas geradas ocorreu principalmente pelas matérias primas utilizadas (casca de arroz, casca de frutas cítricas e casca de batata), ficando dentro do limite estabelecido pela norma. As cinzas geradas também podem ser utilizadas, tornando o processo cíclico, com uma destinação correta para esse resíduo gerado pela queima dos biocombustíveis.

O Poder Calorífico Superior da amostra 1 foi de  $17,01 \pm 0,05$  MJ/Kg, da amostra 2 foi de  $15,38 \pm 0,21$  MJ/Kg e da amostra 3 foi  $17,16 \pm 0,06$  MJ/Kg. Para o Poder Calorífico Inferior da amostra 1 foi de  $15,64 \pm 0,06$  MJ/Kg, da amostra 2 foi de  $13,9 \pm 0,23$  MJ/Kg e da amostra 3 foi  $15,8 \pm 0,06$  MJ/Kg. Pode se constatar que os valores obtidos entre as 3 amostras foram bem próximos, e a amostra 3 apresentou o melhor resultado, tanto para PCS quanto para PCI, os valores encontrados foram bem satisfatórios, visto que o Poder Calorífico é a quantidade de calor desprendido pela combustão completa.

De acordo com a resistência à compressão efetuada, os briquetes se adequam para serem utilizados como briquetes de uso doméstico, e não atingiram resistência mecânica suficiente para serem considerados combustíveis para uso industrial. Como os briquetes foram produzidos com o intuito de utilização na agricultura familiar, isso não será um empecilho.

Foi possível gerar resultados dos custos a partir de pesquisas e estimativas, tendo como base a comercialização de briquetes já confeccionados em laboratório, inserindo uma produção por lote, para gerar dados que fossem possíveis estimar desde a aquisição das matérias primas até a venda do produto final. Considerando o método de custos, obteve-se uma Margem de Contribuição Líquida (negativa) de - R\$ 19.570,22. Sendo assim, o processo de produção dos briquetes não é viável, por apresentar baixo volume produzido comparado aos custos para a produção. O mais indicado é inserir outro método de produção que aumente o volume de briquetes produzidos, a fim de abater os custos.

A partir deste estudo, foi possível desenvolver biocombustível sólido a partir da casca de arroz, casca de cítricos e casca de batata na agricultura familiar, podendo utilizar novos combustíveis de biomassa e reduzir o uso de fontes de energia tradicionais.

A produção dos biocombustíveis foi possível apenas com os equipamentos e com a agricultura da localidade, tornando o processo mais usual possível. Demonstrando a possibilidade de utilizar um novo conceito de reaproveitamento de resíduo agrícola como fonte de energia térmica. Pode-se perceber que após três (3) dias de armazenamento os briquetes obtiveram bolor, então, é necessário que utilize um produto antimofa para conservar o briquete por mais tempo em estoque, sugere-se que desenvolva um método para tornar os biocombustíveis duráveis e resistentes ao mofo, e assim, aumentar o seu tempo de vida útil.

Deste modo, constatou-se que é possível confeccionar os briquetes com as biomassas de casca de arroz, casca de cítricos, pois obtiveram características favoráveis para utilização como biocombustíveis, podendo ser produzidas em meio rural. O método utilizado neste estudo destacou diversos pontos positivos, diminuiu os custos de produção dos briquetes, proporcionou um método de valorização para os resíduos dessas biomassas, conscientizando na reutilização de resíduos e gerando novas formas de desenvolvimento de tecnologia de biocombustíveis.

## **6 TRABALHOS FUTUROS**

Para trabalhos futuros sugere-se efetuar a densidade aparente dos briquetes produzidos na agricultura familiar, e o teste de tempo de chama. Além de, aferir os cálculos dos custos de produção dos briquetes no meio rural, afim de comparar com os produzidos em laboratório, presentes neste estudo.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDRINO, A. M. et al. **Aproveitamento do resíduo de laranja para a produção de enzimas lignocelulolíticas por *Pleurotus ostreatus*** (Jack:Fr). Campinas, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/qNtCfR3rNx8h4WCSKsBgJxp/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 05 de jul. de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -ABNT. NBR 8112/86 – **Carvão vegetal: análise imediata do carvão vegetal**. 6p. 1986.

BIER, M.C.J. **Produção de compostos de aroma através da biotransformação do limoneno por fermentação em estado sólido utilizando resíduo natural de laranja como substrato**. Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Processos Biotecnológicos do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

BRAZILIAN ASSOCIATION INDUSTRY BIOMASS AND RENEWABLE ENERGY. Brazil Status Report 2012: **bioenergy – biomass – renewable energy**. Disponível em: <<http://abibbrasil.wix.com/brazilianassociationbiomass>>. Acesso em: 28 set. 2012.

BRIANE, D.; DOAT, J.; RIEDACKER, A. **Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois**. Aix-en-Provence: Édisud, 1985. 179 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. RenovaBio. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/renovabio-1>>. Acesso em: 05 out. 2022.

COLODEL, C.; VRIESMANN, L. C.; DE OLIVEIRA PETKOWICZ, C. L. Cell wall polysaccharides from Ponkan mandarin (*Citrus reticulata* Blanco cv. Ponkan) peel. *Carbohydrate Polymers*, v. 195, n. April, p. 120–127, 2018.

COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO – CASAN, 2020. Disponível em: <<https://www.casan.com.br/noticia/index/url/calculado-valores-de-faturas-com-base-em-consumos-hipoteticos#0>> Acesso em: 10 jan 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v.9 – safra 2021/22, nº10 – Décimo levantamento. jul 2022.

COSTA, S. C. **Avaliação Da Utilização De Resíduo Agrícola E Glicerol Como Biocombustível Sólido Para Geração De Energia**. 2015. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2015.

DIAS, J. M. C. DE S.; SOUZA, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Embrapa Agroenergia. Brasília, D. 2012.

<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/952626/1/DOC13.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2012. **Normas e especificações técnicas para análises de briquetes e péletes.**

Disponível em:

<<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=28322&secao=Artigos%20Especiais>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

EDENHOFER, O.; PICHS-MADRUGA, R.; SOKONA, Y. (Ed.). **Special report of intergovernmental panel on climate changes. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2011. Disponível em:

<[https://www.ipcc.ch/pdf/specialreports/srren/SRREN\\_FD\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/specialreports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf)>. Acesso: 11 nov. 2022.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Agricultura e preservação ambiental: uma análise do cadastro ambiental rural.** Campinas, 2020. Disponível em: < [www.embrapa.br/car](http://www.embrapa.br/car) >. Acesso em: 21 set. 2022

ECKERT, C. T.; FRIGO, E. P.; BASTOS, R. K.; MARI Jr, A.; MARI, A. G.; CABRAL, A. C. **Biomassa Residual Vegetal.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 4, p. 32-44, 2013.

FAO. Agricultural Commodities: Profiles And Relevant Wto Negotiating Issues: Horticultural products: Citrus. Disponível em:

<<http://www.fao.org/3/Y4343E/y4343e06.htm#bm06.1>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

FAO. Important commodities in agricultural trade: fruits and vegetables. Disponível em: <[www.fao.org/tempref/docrep/fao/005/y4852e/y4852e12.pdf](http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/005/y4852e/y4852e12.pdf)>. Acesso em: 2 fev. 2019.

FERNÁNDEZ R.G., GARCÍA C.P., LAVÍN A.G., HERAS J.L.B., 2012. **Study of main combustion characteristics for biomass fuels used in boilers.** Fuel Processing Technology, 103, 16–26.

FILIPPETO D. **Briquetagem de resíduos vegetais: viabilidade técnico-econômica e potencial de mercado.** Dissertação de Mestrado (Faculdade de Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas. Campinas. SP. 2008.

FOLETTTO, E. L. et al. **Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz.** Quimica Nova, v. 28, n. 6, p. 1055–1060, 2005.

GOVERNO DO ESTADO – GOB.BR, **Agricultura Familiar.** 2022. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/agricultura-familiar-1#:~:text=Agricultura%20Familiar%20%C3%A9%20a%20principal,%20aquicultores%20extrativistas%20e%20pescadores.>>. Acesso em: 21 set 2022.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.; GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. Energy Policy, London, v. 36, p. 2086- 2097. 2008.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. Energia e meio ambiente. São Paulo: Thomson, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

**Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588>>. Brasil. 2020. Acesso em: 18 mar. 2021.

J.M. FERNÁNDEZ-GINÉS, J. FERNÁNDEZ-LÓPEZ, E. SAYAS-BARBERÁ, E. SENDRA, J. A. P.-Á. Lemon albedo as a new source of dietary fiber: Application to bologna sausages. *Meat Science*, v. 67, p. 7–13, 2004.

KUHNEN, O. L. **Matemática Financeira aplicada e Análise de Investimentos.** 3. Ed. São Paulo: Atlas, 2001. Disponível em: <http://docplayer.com.br/3728559-Osmar-leonardo-kuhnen-osmar-kuhnen-gmail-com.html> Acesso em: 02 fev. 2021.

KALIYAN, N.; MOREY, R. V. **Factors affecting strength and durability of densified biomass products.** *Biomass and Bioenergy*, v. 33, n. 3, p. 337-359, 2009.

LIN, C. S. K. et al. Food waste as a valuable resource for the production of chemicals, materials and fuels. Current situation and global perspective. *Energy & Environmental Science*, v. 6, n. 2, p. 426, 2013.

MCCORMICK, K., 2010. Communicating bioenergy: a growing challenge. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 4, 494-502.

MACHADO, N. B. et al. Preparation, functionalization and characterization of rice husk silica for lipase immobilization via adsorption. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 128, p. 9–21, 2019.

MENEGUIN, A. B. et al. Resistant starch/pectin free-standing films reinforced with nanocellulose intended for colonic methotrexate release. *Carbohydrate Polymers*, v. 157, p. 1013–1023, 2017.

MARTINS, E. **Contabilidade de Custos.** 9. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2003.

Disponível em:

<<https://leandrofranceschini.com.br/ead/Arquivos/3%20Ano/Atividades%20-%20Semana%2001/Contabilidade%20de%20Custos%20I%20-%20Apostila%20-%203%20ADM%20ABC%20CONT.pdf>> Acesso em: 02 fev. 2021.

MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; AMARAL, A. F. C.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L.; GUIMARÃES, V. dos S. **Uso da Biomassa para a Geração de Energia.**

Aracaju, Se: Publicação Digitalizada, 2016. 30 p. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155329/1/Doc-211.pdf>. Acesso em: 02 out. 2022.

MANDE, S. P. **Thermo chemical conversion of biomass.** In: KISHORE, V. V. N. (Ed.). *Renewable energy engineering and technology.* New Delhi: The Energy and Resources Institute, 2009. p. 705-728.

MOOMAW, W. R.; S. 'O. B.; SVERRISSON, F.; CHAWLA, K.; MUSOLINO, E.; SKEEN, J.; MARTINOT, E. *Renewables 2012 Global Status Report.* Paris: REN21, 2012. Disponível em:

<[http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/GSR2012\\_low%20res\\_FINAL.pdf](http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/GSR2012_low%20res_FINAL.pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2012.

RAFIQ, S. et al. Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v. 17, n. 4, p. 351–358, 2016.

RICHARDS, S. R. Physical testing of fuel briquettes. *Fuel Processing Technology*, Amsterdam, v. 25, n. 2, p. 89-100, 1990.

REZZADORI, K.; BENEDETTI, S. **Proposições para valorização de resíduos do processamento do suco de laranja**. 2009. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/6a/4/K.%20Rezza%20-%20Resumo%20Exp%20-%206A-4.pdf> Acesso em: 10 de agos. de 2021.

SCHUBERT, R., Blasch, J., 2010. **Sustainability standards for bioenergy. A means to reduce climate change risks?** *Energy Policy*. 38, 2797-2805.

SOUZA, F. DE; VALE, A. T. DO. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 36, n. 88, p. 405, 2017.

SEYE, O. Análise de ciclo de vida aplicada ao processo produtivo de cerâmica estrutural tendo como insumo energético capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schaum). 2003. 167 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SAWIN, J. L.; BHATTACHARYA, S. C.; GALÀN, E. M.; MCCRONE, A.; SOARES, L. S.; MORIS, V. A. S.; YAMAJI, F. M.; PAIVA, J. M. F. **Utilização de Resíduos de Borra e Café e Serragem na Moldagem de Briquetes e Avaliação de Propriedades**. *Matéria*. Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, p. 550-560, 2015.

SILVA, Claudinei Augusto. Estudo Técnico-Econômico da Compactação de Resíduos Madeireiros para Fins Energéticos, Dissertação M.Sc. Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 2007.

SOARES, L. de S.; MORIS, V. A. S.; YAMAJI, F. M.; PAIVA, J. M. F. **Utilização de Resíduos de Borra de Café e Serragem na Moldagem de Briquetes e Avaliação de Propriedades**. *Revista Matéria*, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 550-560, 4 maio 2015. DOI 1517-7076. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/3crnHzYmkJFNVHWXzSyLxGf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 1 fev. 2022.

TAMANINI, C.; HAULY, M. C. O. Resíduos agroindustriais para a produção biotecnológica de xilitol. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 25, n. 4, p. 315-330, 2004.

VIUDA-MARTOS, M. et al. Chemical composition of mandarin (*c. reticulata* L.), grapefruit (*c. paradisi* L.), lemon (*c. limon* L.) and orange (*c. sinensis* L.) essential oils. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, v. 12, n. 2, p. 236–243, 2009.

VAZ JUNIOR, S. Análise química da biomassa. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2015. 196 p.

ZABANIOTOU, A. Redesigning a bioenergy sector in EU in the transition to circular waste-based Bioeconomy. A multidisciplinary review. *Journal of Cleaner Production*. 177, 197- 206. 2018.

LEI Nº 13.243. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação e altera a lei nº 10.973. 11 de jan. de 2016.

Lei nº 13.576 Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. *ENERGIA, MEIO AMBIENTE*. de 26 dez. 2017.

Lei nº 11.326. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. *Diário Oficial da União*. de 24 de jul. de 2006

\_\_\_\_\_.ISO 17225-6: 2014 - Solid biofuels - Fuels specification and classes - Part 6 - Graded non-woody pellets. Brussels, 2014.

\_\_\_\_\_.ISO 17831: 2015 - Solid biofuels - Determination of mechanical durability of pellets – part 1. Brussels, 2015.

\_\_\_\_\_.New European Pellet Standard – EN 14961.