

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA – MESTRADO

**USO DE BIOMASSA DE BAMBU PARA A QUEIMA EM FORNOS CERÂMICOS**

ALEX STRASSBURGER

TOLEDO - PR

2022

**ALEX STRASSBURGER**

**USO DE BIOMASSA DE BAMBU PARA A QUEIMA EM FORNOS CERÂMICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Bioenergia, área de concentração em Biocombustíveis.

Orientadora: Profa. Dra. Tatiana Rodrigues da Silva Baumgartner

**TOLEDO - PR**

**2022**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Strassburger, Alex

Uso de biomassa de bambu para a queima em fornos cerâmicos / Alex Strassburger; orientadora Tatiana Rodrigues da Silva Baumgartner; coorientadora Rosimeire Aparecida da Silva Lucca. -- Toledo, 2022.

48 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Toledo) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, 2022.

1. Bioenergia . 2. Queima. 3. Energia . 4. Bambu. I. Baumgartner, Tatiana Rodrigues da Silva, orient. II. Lucca, Rosimeire Aparecida da Silva, coorient. III. Título.

*“Dedico a todos que de alguma forma dispuseram-se a ajudar a concluir esse trabalho”.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, a Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Aos meus familiares e amigos que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

A professora Profa. Dra. Tatiana Rodrigues da Silva Baumgartner, por ter sido minha orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade, além das correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2.OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
2.1.OBJETIVO GERAL .....	4
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
3.1.O USO DA BIOMASSA DE MADEIRA .....	5
3.2.A UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO .....	9
3.3.A UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE BAMBU.....	12
3.4.A QUEIMA DA BIOMASSA DE MADEIRA EM FORNOS DE INDÚSTRIAS CERÂMICAS .....	16
<b>4.MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
4.1.CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	20
4.2.LOCAL DA PESQUISA.....	21
4.3.CARACTERÍSTICAS DOS CAVACOS .....	22
4.3.1.Características do cavaco de eucalipto .....	22
4.3.2.Características do cavaco de bambu .....	23
4.3.3.Características do picador .....	23
4.4.SISTEMA DE QUEIMA.....	24
4.4.1.Elevador de cavacos .....	24
4.4.2.Máquina de queima .....	25
4.4.3.Controlador de temperatura .....	26
4.4.4.Controlador de velocidade do motor da máquina .....	27
4.5.TEOR DE UMIDADE .....	28
4.6.DENSIDADE BÁSICA .....	29
4.7.ANÁLISE DOS DADOS.....	30
<b>5.RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>31</b>
5.1.TEOR DE UMIDADE .....	31
5.2.DENSIDADE BÁSICA .....	31
5.3.TEMPO DE QUEIMA .....	32
5.4.TEMPERATURA DE QUEIMA.....	33

5.5.FREQUÊNCIA DA CORRENTE ELÉTRICA DE ACIONAMENTO DO MOTOR DA MÁQUINA DE QUEIMA.....	34
5.6.AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DO SISTEMA DE QUEIMA .....	35
<b>6.CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
<b>7.SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>41</b>
<b>8.REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>42</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de briquete de madeira .....	6
Figura 2 - Forno paulistinha.....	17
Figura 3 – Forno abóbora.....	18
Figura 4 - Forno Hoffmann retangular .....	18
Figura 5 - Forno túnel.....	19
Figura 6 - Fluxograma do processo de produção e utilização do cavaco de eucalipto avaliado.....	20
Figura 7 - Em destaque a localização do município de Santa Helena - PR .....	21
Figura 8 - Cavaco de eucalipto pronto para ser armazenado.....	22
Figura 9 - Cavaco de bambu pronto para ser armazenado.....	23
Figura 10 - Picador utilizado para fabricação dos cavacos .....	24
Figura 11 - Elevador de cavacos utilizados para o transporte do material até o forno de queima.....	25
Figura 12 - Máquina de queima utilizada na fornalha.....	26
Figura 13 - Controlador Universal de Processor N1200.....	27
Figura 14 - Inversor de frequência modelo CFW500.....	27
Figura 15 - Volumes dos cavacos de eucalipto e bambu utilizados para o ensaio do teor de umidade .....	29
Figura 16 - Cavacos de eucalipto e de bambu submersos para o ensaio de densidade .....	29
Figura 17 - Teste de média do tempo de queima (minutos) e de Bambu e Eucalipto em forno tipo paulistinha Obs. Volume utilizado 0,34 m <sup>3</sup> .....	32
Figura 18 - Teste de média da temperatura de queima (°C) e de Bambu e Eucalipto em forno tipo paulistinha .....	33
Figura 19 - Teste de média da frequência da corrente elétrica de acionamento do motor da máquina de queima.....	34
Figura 20 - Teste de média da corrente elétrica demanda durante o acionamento do motor da máquina de queima, para a queima do Bambu e do Eucalipto em forno tipo paulistinha .....	35
Figura 21 - Teste de média da variação da temperatura de queima (°C) e de Bambu e	



Eucalipto em forno tipo paulistinha.....	36
Figura 22 - Teste de média da variação da frequência da corrente elétrica demanda durante o acionamento da máquina de queima, para a queima do Bambu e do Eucalipto em forno tipo paulistinha.....	37
Figura 23 - Teste de média da variação da corrente elétrica demanda durante o acionamento da máquina de queima, para a queima do Bambu e do Eucalipto em forno tipo paulistinha .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados do teor de umidade das amostras de eucalipto e bambu .....	31
Tabela 2 - Densidade média das amostras de eucalipto e bambu .....	31
Tabela 3 - Resultado da análise de variância do tempo de queima dos cavacos de Bambu ( <i>Bambusa vulgaris</i> ) e do Eucalipto ( <i>Eucalyptus urograndis</i> ) sujeitos a queima em forno tipo paulistinha, a temperatura de 800 °C .....	32
Tabela 4 - Resultado da análise de variância da temperatura de queima dos cavacos de Bambu ( <i>Bambusa vulgaris</i> ) e do Eucalipto ( <i>Eucalyptus urograndis</i> ) .....	33
Tabela 5 - Resultado da análise de variância da Frequência da corrente elétrica de acionamento da máquina de queima, para queima dos cavacos de Bambu ( <i>Bambusa vulgaris</i> ) e do Eucalipto ( <i>Eucalyptus urograndis</i> ) .....	34
Tabela 6 - Resultado da análise de variância da corrente elétrica de acionamento da máquina de queima, para queima dos cavacos de Bambu ( <i>Bambusa vulgaris</i> ) e do Eucalipto ( <i>Eucalyptus urograndis</i> ) .....	35
Tabela 7 - Resultado da Anova da variação da temperatura de queima dos cavacos de Bambu ( <i>Bambusa vulgaris</i> ) e do Eucalipto ( <i>Eucalyptus urograndis</i> ), em forno tipo paulistinha .....	36
Tabela 8 - Resultado da Anova referente a variação da frequência da corrente elétrica de acionamento do motor da máquina de queima, para queima dos cavacos de Bambu ( <i>Bambusa vulgaris</i> ) e do Eucalipto ( <i>Eucalyptus urograndis</i> ) .....	37
Tabela 9 - Resultado da Anova referente a variação da corrente elétrica de acionamento do motor da máquina de queima para queima dos cavacos de Bambu ( <i>Bambusa vulgaris</i> ) e do Eucalipto ( <i>Eucalyptus urograndis</i> ) em forno tipo paulistinha .....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>APROBAMBU</b>	Associação Brasileira de Produtores de Bambu
<b>PU</b>	Peso Úmido
<b>PS</b>	Peso Seco
<b>PC</b>	Poder Calorífico
<b>CV</b>	Cavalos de potência
<b>CLP</b>	Controlador Lógico Programável
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira De Normas Técnicas
<b>NBR</b>	Norma Técnica Brasileira
<b>°C</b>	Graus Celsius

# **USO DE BIOMASSA DE BAMBU PARA A QUEIMA EM FORNOS CERÂMICOS**

**AUTOR: ALEX STRASSBURGER**

**ORIENTADORA: PROFA. DRA. TATIANA RODRIGUES DA SILVA BAUMGARTNER**

Dissertação de Mestrado; Programa de Pós-Graduação em Bioenergia; Universidade Estadual do Oeste do Paraná; Rua da Faculdade, 645; CEP: 85903-000 – Toledo – PR, Brasil.

## **RESUMO**

Uma biomassa, ainda pouco explorada, é o bambu, e na busca de uma alternativa para queima de produtos cerâmicos desenvolveu-se este trabalho trazendo conhecimento dessa biomassa. Este trabalho teve como objetivos estudar, testar e comparar os dados relacionados à utilização de cavaco de bambu e cavaco de eucalipto na queima em fornos para produção de peças cerâmicas. Analisou-se as potencialidades do bambu por meio de estudos de aplicabilidade, comparou-se as diferenças entre as biomassas e levantou-se as vantagens e desvantagens na aplicação direta no sistema de produção. O cavaco de bambu foi testado através de ensaios práticos aplicados diretamente na indústria e comparado com o cavaco de eucalipto que atualmente é utilizado. Com a realização deste trabalho observou-se uma nova fonte de matéria-prima alternativa com eficiência e desempenho similar ao utilizado atualmente ou até mesmo podendo ter vantagens para a produção ou para a otimização da cadeia de produção dessa matéria-prima necessária na queima do material cerâmico. Também pode-se definir que a utilização do cavaco de bambu não alterou o processo de manuseio e utilização de maneira significativa, assim como nenhum processo ou produto da indústria. Observou-se então que a utilização do cavaco de bambu em substituição ao cavaco de eucalipto pode proporcionar a independência do uso de uma única fonte de material de queima.

**Palavras-chave:** Calor; Energia; Madeira; Queima; Cerâmica.

# USE OF BAMBOO BIOMASS FOR BURNING IN CERAMIC OVENS

**AUTHOR: ALEX STRASSBURGER**

**SUPERVISOR: PROFA. DRA. TATIANA RODRIGUES DA SILVA BAUMGARTNER**

Master Dissertatiom; Bioenergy Master Graduation Program; State University of West Paraná; Faculdade St., 645; CEP: 85903-000 – Toledo – PR, Brazil.

## ABSTRACT

A biomass, still little explored, is bamboo, and in the search for an alternative for burning ceramic products, this work was developed bringing knowledge of this biomass. This work aimed to study, test and compare the data related to the use of bamboo chip and eucalyptus chip in the firing in kilns for the production of ceramic pieces. The potential of bamboo was analyzed through applicability studies, the differences between biomasses were compared and the advantages and disadvantages of direct application in the production system were raised. The bamboo chip was tested through practical tests applied directly in the industry and compared with the eucalyptus chip that is currently used. With the accomplishment of this work, it was observed a new source of alternative raw material with efficiency and performance similar to the one currently used and even able to have advantages for the production or the optimization of the production chain in the burning of the ceramic material with this required raw material. It can also be defined that the use of bamboo chips did not significantly alter the handling and use process, as well as any process or product in the industry. It was then observed that the use of bamboo chips to replace eucalyptus chips can provide independence from the use of a single source of burning material.

**Key-words:** Heat; Energy; Wood; Burn; Ceramics.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de fontes alternativas de energia teve um grande crescimento nos últimos anos, com isso surgiram diversos programas de pesquisas que começaram a ganhar espaço, mostrando a possibilidade de se utilizar outros recursos geradores de energia. Dentre os recursos que podem ser utilizados como fonte de energia pode ser citados os resíduos de biomassa oriundos das mais diversas atividades (marcenaria, álcool).

No século passado no Brasil foram introduzidas as florestas plantadas, que são mais produtivas e de qualidade uniforme. Essas florestas juntamente com a produção agrícola, como a cana-de-açúcar e diversos resíduos de outras culturas, permitem a sua transformação em cavacos de lenha, carvão vegetal, pellets, briquetes, álcool, biodiesel, entre outros combustíveis de origem vegetal. As florestas plantadas são monoculturas, com destaque para o eucalipto, que ocupa 80% das áreas plantadas, apresenta rápido crescimento e bom poder calorífico.

Além do eucalipto uma alternativa de biomassa que ainda é pouco explorada, refere-se ao bambu. O seu uso no Brasil é anterior à vinda dos portugueses em 1500, ficando muito tempo restrito aos povos indígenas. Porém percebe-se que atualmente a vários estudos que buscam identificar a aplicabilidade do uso do bambu verificando as suas vantagens em relação ao seu uso como energia de biomassa.

De acordo com Gonçalves (2015), a cultura do bambu exige a utilização de rotas biotecnológicas, para garantir a produção de mudas de alta qualidade. Nesse sentido, o objetivo é alinhar produtividade e sustentabilidade. Sabendo-se que o bambu tem uma variada gama de produção para a economia, como a fabricação de móveis, artesanato, paisagismo, alimentação, etc.

No Brasil, conforme dados da Associação Brasileira de Produtores de Bambu (APROBAMBU), existem cultivos de bambu no Maranhão (22 mil hectares) destinado à produção de biomassa para geração de energia para o setor industrial, principalmente cervejarias e cerâmicas (Gonçalves, 2015).

Segundo EMBRAPA o eucalipto tem grande importância comercial na economia brasileira. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores, são 5,5 milhões de hectares plantados com este gênero, com uma produtividade média estimada de 39 m<sup>3</sup>/ha/ano. Observa-se o cultivo do eucalipto em todo o território brasileiro. A

produtividade, contudo, dependem de diversos fatores, como o local de plantio, os tratos culturais e os insumos disponibilizados (Jaques, 2019).

Segundo Bauer (2008), a indústria da cerâmica é uma das mais antigas do mundo, em vista da facilidade de fabricação e abundância de matéria-prima – o barro. No período neolítico o homem pré-histórico calafetava as cestas de vime com o barro, a partir daí os processos e técnicas de utilização do barro foram sendo desenvolvidos chegando-se a utilização do calor para o endurecimento, surgindo assim a cerâmica propriamente dita, que é largamente utilizada para os mais diversos fins.

Muitas indústrias brasileiras têm sofrido com o aumento do valor cobrado pela energia elétrica, incluindo as indústrias do ramo cerâmico, sabe-se também que o Brasil vem passando por uma fase bem deficitária na produção de energia elétrica proveniente da sua maior matriz atual, a hídrica. Desta maneira, a busca por outras fontes de energia é muito importante, e nesse estudo destaca-se a alternativa da utilização do bambu como fonte de energia.

O uso do bambu como biomassa para energia é relativamente recente, ocorrendo principalmente no setor cerâmico, devido à redução no uso de lenha proveniente de matas nativas. O bambu é uma gramínea, de crescimento mais rápido do que o eucalipto e pode substituir a madeira em praticamente todos os seus usos, incluindo a geração de energia, pois o seu poder calorífico e a sua produtividade por hectare são competitivos (Kleine, 2015).

De acordo com Kleine (2015) o bambu também possui a capacidade de recuperar áreas degradadas, podendo ser utilizado na revegetação de áreas da mineração. Essa vantagem se dá em função de suas raízes superficiais, que ocupam uma fina camada de solo de até 50 cm de profundidade.

Diante do exposto, observa-se que há diferentes opções de materiais que podem ser utilizados como fonte de energia em indústrias que necessitam realizar a queima de seus produtos, como as indústrias cerâmicas. Nesse sentido, torna-se importante analisar as características dos diferentes materiais disponíveis, nesse trabalho, destaca-se a utilização do eucalipto e do bambu.

O eucalipto e o bambu são cultivarias diferentes, mas que podem ser utilizadas no mesmo sistema de produção de energia ou de aproveitamento da biomassa quando se trata de geração de energia através da queima. Sendo assim, o estudo dessas espécies diferentes pode ser de extrema importância para que se tenha uma

avaliação de suas características desde o cultivo até o rendimento na queima da madeira.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar as vantagens da utilização do bambu na geração de energia da queima em fornos de indústrias do ramo cerâmico.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudar as características do bambu e do eucalipto;
- Fazer a moagem do bambu com o mesmo sistema do eucalipto;
- Fazer o transporte do cavaco de bambu utilizando os elevadores de transporte existentes, identificando quaisquer falhas;
- Analisar amostras de umidade e densidade do cavaco de bambu e eucalipto utilizados nos ensaios;
- Comparar o desempenho na queima dos dois tipos de matéria-prima;
- Concluir se a fonte de calor alternativa supre as necessidades da indústria;
- Comparar o custo do cavaco de eucalipto para identificar o valor máximo a ser pago para o cavaco de bambu a fim de se ter um custo benefício melhor.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. O USO DA BIOMASSA DE MADEIRA**

De acordo com Genovese (2006), Biomassa é uma matéria orgânica da terra, principalmente, os resíduos de plantas. No caso da energia, a biomassa é usada para descrever como todas as plantas e os resíduos podem ser transformados em produtos de uso de energia como, madeira, resíduos urbanos e florestais, grãos, talos, vegetais e lodo de tratamento biológico de efluentes. A energia gerada pela biomassa é também conhecida como "energia verde" ou "bioenergia".

Segundo Santos (2014), a produção de lenha (biomassa) como combustível sólido para a queima direta (geração de energia) é o uso mais antigo conhecido da madeira. Geralmente, são destinadas para lenha as árvores jovens (de pequeno diâmetro) ou a parte mais fina e os galhos de árvores adultas, cujo tronco tem tamanho (diâmetro) suficiente para permitir outros usos.

Ainda segundo Santos (2014), além da lenha para consumo doméstico, ainda bastante utilizada no meio rural, existe o consumo industrial em alguns segmentos do setor alimentício (padarias e pizzarias), em fornos de cerâmicas e olarias, para a secagem de grãos, chá ou tabaco, concentrando-se na agroindústria localizada no meio rural. Os setores industriais de celulose, papel, chapas de fibras, painéis aglomerados e compensados e demais produtos da madeira e da árvore, também consomem quantidades significativas de biomassa de madeira, de produção própria e de terceiros, para a geração de energia necessária à industrialização dos produtos.

Considerando que a biomassa de madeira pode ser utilizada de diversas formas, uma delas é o briquete de madeira, um produto resultante da compactação dos resíduos de madeira (serragem seca) provenientes do desdobramento de toras, em prensas briquetadeiras, sem aglutinantes químicos. Como pode ser observado na Figura 1.



**Figura 1 - Exemplo de briquete de madeira**

Fonte: Gentil, 2008.

O briquete tem sido considerado uma “lenha ecológica”, que substitui com grande eficiência a lenha comum, combustíveis fósseis (petróleo e carvão mineral), eletricidade e outras formas de energia convencional. A lenha comum é um material heterogêneo que provém de várias espécies de madeira, com forma variável e teor de umidade geralmente elevado, enquanto o briquete apresenta forma cilíndrica regular, umidade variando de 5 a 15% e constituição homogeneizada (partículas de 5 a 10 mm) pelo processo de compactação, além de maior massa específica (densidade). Os briquetes produzem três vezes mais energia do que a lenha e duas vezes mais do que o carvão, que é bem menos denso (Embrapa 2021).

Muitos países desenvolvidos estão à procura de novas fontes energéticas e a biomassa tem se mostrado bastante atrativa. No Brasil, esse mercado tem mostrado grandes avanços, proporcionando energia limpa de carbono. Para contornar o problema da falta de densidade da biomassa, o desenvolvimento de pellets que são partículas produzidas a partir da compactação de resíduos agrícolas e florestais, de madeira tem se mostrado uma alternativa viável para as exigências do mercado. A pelletização consiste em diminuir a porcentagem de água, compactar a biomassa, facilitando o armazenamento e transporte, além de proporcionar combustão com índice pequeno de fumaça (LONGUE JUNIOR; COLODETTE, 2013, p.436).

A serragem de madeira também pode ser compactada juntamente com outros compostos vegetais, como a palha de arroz, na fabricação de briquetes, cuja comercialização já é permitida pelo IBAMA. Comparativamente à queima da madeira, o briquete obtido de serragem de madeira apresenta poder calorífico 1,33 vezes superiores ao da lenha e rendimento energético acima de 50% ao da queima da madeira. A madeira de eucalipto, por apresentar propriedades físicas e químicas adequadas, já

vem sendo empregada para a fabricação de briquetes, apresentando perspectivas crescentes ao mercado consumidor (EMBRAPA, 2021).

Os resíduos (a parte mais fina, os galhos e as cascas das árvores adultas) da colheita do eucalipto manejado corretamente podem incrementar a produtividade energética das florestas plantadas. Em função da oportunidade e da grande demanda de material energético, algumas indústrias do setor florestal vêm utilizando a casca de eucalipto como combustível para as caldeiras, apesar delas serem materiais combustíveis de segunda qualidade, pois são muito úmidas, volumosas e possuem altos teores de cinzas (EMBRAPA, 2021).

De acordo com Santos, o carvão vegetal é obtido através da queima parcial da madeira em fornos simples. Na indústria siderúrgica, o carvão é utilizado como combustível e redutor na transformação do minério de ferro bruto em ferro gusa, o qual é base de todos os metais e produtos de ferro ou aço. As florestas nativas continuam sendo a fonte principal de madeira para o cravejamento que, em sua grande parte, é feito em fornos de superfície, com tecnologia primitiva e com baixo controle qualitativo e quantitativo da produção. O maior consumo de carvão vegetal ocorre no estado de Minas Gerais, onde se localiza a maior parte do complexo siderúrgico brasileiro. A necessidade de poupar as matas nativas como fonte de madeira para o cravejamento, por força da legislação pertinente, fez com que as plantações de eucalipto aumentassem sua participação (atualmente 47,3%) no total do carvão vegetal produzido no País.

Segundo Foelkel (2016), as biomassas florestais ou de outros tipos e origens (bagaço de cana, bambu, gramíneas anuais etc.) são muito influenciadas por três fatores vitais para se entender seu valor energético. Esses fatores compreendem o teor de umidade, a densidade aparente ou densidade a granel (em base de peso absolutamente seco por unidade de volume) e a densidade energética, que é resultante do poder calorífico útil e da densidade a granel do combustível.

Ainda de acordo com Foelkel (2016), existem outros parâmetros qualitativos importantes para valorização das biomassas, mas quando se desejam avaliações expeditas e rápidas, esses são os principais. Isso porque eles afetam de imediato a quantidade de energia que será comercializada e para a qual se necessita faturar rapidamente para se obter o pagamento. Outros fatores importantes como a própria determinação do poder calorífico superior ou a composição química da biomassa são

consumidores de tempo analítico e não variam em faixas amplas que exijam que cada carga comercializada seja assim avaliada.

A confusão pode ficar ainda maior, porque o próprio teor de umidade pode ser determinado de duas maneiras, conforme as tradições de algumas empresas, acadêmicos, técnicos e de alguns setores industriais. Costuma-se determinar o mesmo com base em percentuais do peso úmido inicial ou do peso seco final do ensaio, confusão de números ou enganos terríveis por não se conhecer com quais metodologias estão se referindo os atores do comércio da biomassa. Dependendo da metodologia empregada, os resultados podem ser significativamente diferentes. A indústria madeireira, que processa mecanicamente a madeira, prefere expressar o teor de umidade com base em peso seco final (PS). Já a indústria de celulose e papel e alguns outros setores industriais e energéticos preferem adotar o percentual com base no peso de água sobre o peso úmido inicial da biomassa (PU) (FOELKEL, 2016).

Segundo Foelkel (2016), pode-se ainda notar, que conforme variavam os teores de umidade e as densidades aparentes (base seca) dos materiais, variavam também as densidades energéticas de maneira muito significativa. Ou seja, mesmos volumes do mesmo tipo de biomassa (lenha ou cavacos) eram muito influenciados pela densidade dos materiais (quantidade de peso seco que a biomassa possuía por unidade de volume) e pelas suas umidades. Resumidamente, pode-se dizer que a densidade energética de qualquer biomassa é extremamente influenciada pelo seu teor de umidade e pela densidade aparente ou densidade a granel (ambas em base seca) e pelo seu poder calorífico útil (que muda muito conforme altera o teor de umidade da biomassa).

Sabe-se ainda que a estocagem da madeira no campo possa levar a uma alteração da umidade o que afeta diretamente o poder calorífico, a perda de massa e a quantidade de fungos gerados durante a estocagem. Isso porque, o poder calorífico líquido e a perda de massa influenciam diretamente na energia do combustível, assim como, os fungos podem causar a perda de massa seca, e problemas de saúde aos trabalhadores (THÖRNQVIST, 1984 *apud* BRAND, 2007).

Sabe-se que materiais estocados podem ter aumento de poder calorífico, por causa da secagem correta, porém, se o material é estocado por um longo período o seu poder calorífico vai diminuindo (NURMI, 1990, citado por BRAND, 2007).

O PC é mais alto quanto maior o teor de lignina e extrativos, porque os mesmos contêm menos oxigênio que os polissacarídeos. O poder calorífico pode atingir valores maiores para casca do que para madeira. Soares cita uma variação do poder calorífico para madeiras não resinosas de 4000 a 4250 kcal/kg e para casca de 3700 a 4900 kcal/kg (SOARES J.M.).

### 3.2. A UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO

O cultivo do eucalipto está em todas as regiões do Brasil, garantindo assim energia florestal renovável. Mesmo contando com uma plantação de floresta para obtenção de energia florestal ainda pequena, o Brasil se encontra em pleno desenvolvimento nessa área. Buscando atender às demandas e exigências atuais de produção, a EMBRAPA desenvolve pesquisas sobre a concomitância das culturas. O chamado sistema integração lavoura-pecuária-floresta que visa desenvolver de forma harmônica os três ramos mais utilizados no país (LONGUE JUNIOR e COLODETTE, 2013).

O Brasil ocupa posição de destaque em relação à extração de celulose e de papel, tendo como principal matéria-prima o eucalipto, que apresenta alguns números importantes para a balança comercial brasileira, destacando o crescimento desse segmento nos últimos anos. Os autores ainda evidenciam que o Brasil utiliza 100% da matéria-prima proveniente de reflorestamento, destacando uma importante atividade agroindustrial e do apoio de instituições governamentais de pesquisa e universidades, o Brasil ocupa posição de liderança mundial em silvicultura e melhoramento de eucalipto (LONGUE JUNIOR e COLODETTE, 2013).

Plantios desenvolvidos em áreas degradadas, com solos de baixa fertilidade, na presença de erosão ou em áreas de pastagens, por exemplo, geram impactos positivos sobre diversas variáveis ambientais, como a elevação da fertilidade do solo, a redução do processo erosivo e o aumento da biodiversidade (existem mais espécies de flora e fauna em florestas de eucalipto do que em pastagens ou em monocultivos de cana-de-açúcar ou soja, por exemplo) (ROBERTO NAINE, 2017).

Outro segmento da exploração do eucalipto que ocupa posição de destaque é a produção de subprodutos que visam atender mercados variados dentre eles pode se destacar a produção de desinfetantes a partir das folhas do eucalipto tem se

mostrado importante para atender exigências ambientais na diminuição dos resíduos deixados por essa atividade. Nessa ótica também ganha espaço o aproveitamento total da árvore pelas indústrias destacando a lignina que é um subproduto gerado pela indústria da celulose, pode ter aplicação tanto como liga asfáltica, como também mistura para alimentação animal, uso na fabricação da fibra de carbono, epóxi, corretivo para o solo, carvão ativado, entre outros (LONGUE JUNIOR; COLODETTE, 2013).

As florestas de eucaliptos têm tomado espaços cada vez maiores no território nacional muito usada como fonte energética, gerando energia limpa e renovável, evitando que seja extraída madeira de florestas nativas, como aconteceu durante séculos no Brasil. Esse fator ganha ares de grande importância para a população, pois as mudanças climáticas estão sendo cada vez mais visíveis, e o eucalipto atende a esses fatores de forma considerável, produzindo grande quantidade de massa, evitando extração de madeira nativa e contribuindo para a preservação do planeta (EMBRAPA, 2021).

O uso da madeira de eucalipto tratada na construção de cercas em propriedades rurais é importante para suprir uma necessidade de substituição de outras madeiras retiradas de florestas nativas, principalmente a aroeira. Nesse aspecto a maior vantagem é de ordem ambiental, pois evita que haja exploração predatória de madeira nativa. No entanto, para se obter uma madeira de eucalipto tratada de qualidade é preciso que esta receba um tratamento químico que lhe proporcionará uma vida útil de em média vinte anos (ARAÚJO et al., 2012).

Ainda nesse sentido, o plantio e exploração têm gerado renda e emprego para vários segmentos da indústria. O fator mais evidente no cultivo do eucalipto é a produção de madeira. Sabe-se que a exploração de madeira nativa é extremamente proibida, por finalidade de preservação do meio ambiente, sua fauna e flora. Dessa forma o eucalipto veio suprir uma deficiência causada pela forte exploração madeireira. Seu desenvolvimento rápido, com baixos custos de produção e eficiência energética fez com que o eucalipto conquistasse grande espaço (VECHI, 2018).

Um dos problemas é o impacto causado no solo e um possível ressecamento. Alguns pesquisadores afirmam que o plantio é um problema que deve ser revisto para evitar danos maiores. O Impacto Ambiental do Eucalipto, sobre essa perspectiva, afirma que causa desertificação, pois demanda grande quantidade de água, retira

nutrientes do solo e não os repõe e deposita substâncias químicas que prejudicam a reorganização do ecossistema. Contudo os impactos ambientais do eucalipto sobre a água, o solo e a biodiversidade dependem fundamentalmente das condições de plantio, manejo empregadas, e a forma na qual ocorre sua colheita (VECHI, 2018).

De modo geral, criticam-se os efeitos sobre o solo com empobrecimento e erosão, a água com os impactos sobre a umidade do solo, os aquíferos e lençóis freáticos e a baixa biodiversidade observada em monoculturas (VECHI, 2018).

O regime hídrico da região influencia apenas em regiões de pouca chuva, abaixo de uma faixa de 400 mm/ano, o eucalipto poderia acarretar ressecamento do solo (ROBERTO NAINE, 2017).

Para Roberto Naime (2017) os impactos sobre lençóis freáticos, pequenos cursos d'água e bacias hidrográficas dependem da região em que se insere a plantação e da distância entre as plantações e a bacia hidrográfica e da profundidade do lençol freático.

Também para Roberto Naime (2017) o bioma de inserção da atividade silvicultural considerada. Os impactos sobre a biodiversidade local também dependem do bioma e da condição prévia da região onde a floresta será implantada. Implantadas em áreas de florestas nativas, como as de mata atlântica, as plantações acarretam redução da biodiversidade. Implantada em região de savana, ou mesmo numa região que anteriormente era coberta com mata atlântica, mas que foi desmatada, a floresta exótica acarreta aumento da biodiversidade da flora e fauna locais.

As técnicas de manejo empregadas também interferem, pois diferentes técnicas de manejo podem acarretar impactos bastante distintos, tais como no momento da colheita, por exemplo, galhos, folhas e cascas são deixadas no local, então parte dos nutrientes retirados pela árvore é devolvida ao solo. A recuperação dessa matéria orgânica auxilia também na redução do processo erosivo (ROBERTO NAINE, 2017).

Embora haja desvantagens na utilização como citadas anteriormente, existem técnicas que podem auxiliar na redução do impacto ambiental causado durante a produção do eucalipto. Dentre eles pode-se destacar os conhecidos corredor ecológicos, que seriam intercaladas faixas de florestas nativas com as plantações, conhecidas por “corredores ecológicos” ou, ainda, por “corredores biológicos”. Essas



plantações em mosaico permitem a interligação entre o habitat e a floresta plantada e constituem um corredor entre fragmentos de floresta (ROBERTO NAINÉ, 2017).

Os impactos ambientais de florestas de eucalipto natural, permitindo a passagem de animais e ampliando o habitat disponível à fauna local geram situações favoráveis. Integração da população local na atividade silvicultural com eucaliptos não exclui do sítio onde é realizada a possibilidade de outras formas consorciadas de produção. Com maior espaçamento entre as árvores, empresas do setor têm mostrado ser possível não só o cultivo de diferentes grãos como milho, girassol e culturas de subsistência nos primeiros anos de plantio, mas também a criação de gado de corte e leite em meio às plantações, quando as árvores já estão mais crescidas (ROBERTO NAINÉ, 2017).

Isso amplia o espectro de alcance econômico das plantações, aumentando o número de produtos obteníveis a partir da floresta assim como o número de empregos gerados e possibilita melhor aproveitamento do solo (ROBERTO NAINÉ, 2017).

Com o crescimento da produção agrícola e a expansão das cooperativas o eucalipto entrou como fonte energética para o abastecimento das caldeiras, evitando o uso de fontes não renováveis, bem como a exploração ilegal de madeira de árvores nativas. Além disso, o eucalipto possui algumas características importantes para o setor, pois atende às demandas energéticas, pois tem crescimento rápido, alta densidade, e produtividade (LONGUE JUNIOR; COLODETTE, 2013).

### 3.3. A UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE BAMBU

Ultimamente tem-se constatado um crescente interesse do bambu para finalidades de produção de energia. Isso se deve a sua boa produtividade e rendimento na queima foram iniciados diversos trabalhos de implantação e medição da produtividade para identificação dessas características. Em alguns estudos constatou-se que o bambu é uma ótima alternativa e garante grande quantidade de biomassa (VECHI, 2018).

De acordo com Silva (2021), o bambu ainda é muito utilizado atualmente até mesmo para desenvolver sistemas de tratamento de água de esgoto utilizando do sistema de tratamento com fitorremediação mostrando-se eficiente na remoção ou precipitação de poluentes do esgoto doméstico, tais como o alumínio.

A industrialização do bambu, especialmente a produção de bens, é um dos setores econômicos que agrega valor aos bens produzidos, cria ocupação e emprego em escala regional. O bambu é um recurso natural básico de duas cadeias, a de valor social e a produtiva. O impacto ambiental da fabricação de produtos de bambu é reduzido, se comparado aos impactos de outras indústrias. O processamento do bambu como não exige mecanização complexa e total da produção, pois o manejo da plantação requer trabalho direto e manual. Por outro lado, as máquinas utilizadas podem ser instaladas no campo, haja vista que a infraestrutura de produção de blocos é idêntica a de uma marcenaria convencional (ALMEIDA, 2016).

Na literatura, Brito (1987) menciona valores de poder calorífico para colmos de espécies do gênero *Bambusa* situados em torno de 4543 kcal/kg e para *Banbusa vulgaris* o valor é de 4530 kcal/kg. O autor considera ainda que, além dos aspectos genéticos, a localização geográfica influencia significativamente sobre valores de poder calorífico. As espécies cultivadas em locais de baixa temperatura, menor umidade e latitudes elevadas sempre apresentam maiores valores de poder calorífico chegando a 4,600-5.400 kcal/kg, superiores aos apresentados pelas madeiras japonesas e que se situam entre 3.000-4.000 kcal/kg.

Segundo a Associação Catarinense do Bambu – BAMBUSC (2021), o uso do bambu como substituto da madeira é questionável. Apesar de seus ótimos índices de resistência mecânica, bem como do crescimento rápido e da elevada produtividade por hectare plantado, o bambu apresenta também desvantagens, tanto por motivos técnicos, quanto econômicos. As principais são:

- O bambu contém mais amido do que a madeira, atraindo fungos e insetos, que degradam o tecido lenhoso;
- O bambu contém mais sílica do que a madeira, causando maior desgaste de ferramentas de corte e produzindo maior quantidade de cinzas após a sua queima como biomassa;
- O bambu racha com facilidade, o que impede o uso de pregos;
- A densidade do tecido lenhoso do bambu é menos uniforme do que a da madeira, o que representa um menor rendimento, devido ao descarte das partes menos densas e resistentes;

- O tecido lenhoso do bambu é mais difícil de tratar com produtos preservativos do que a madeira, pois eles atingem apenas os vasos que conduzem a seiva, sendo que estes representam somente 5% do volume do tecido.

De acordo com Melo *et al.* (2015) observou-se algumas características relacionadas ao *Bambusa vulgaris*, entre elas verificou-se que o valor médio de densidade básica atingiu  $0,630 \text{ g.cm}^{-3}$ , para colmos com aproximadamente quatro anos de idade, enquanto Marafon, Amaral e Lemos (2019) obtiveram valores médios de  $0,638 \text{ g.cm}^{-3}$ . Já para *Phyllostachys pubescens* (sinonímia do *Phyllostachys edulis*), Berndsen *et al.* (2010) encontraram valor médio de densidade básica de  $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$ , para colmos com 3 anos de idade e também valores de  $0,63$ ;  $0,69$  e  $0,71 \text{ g.cm}^{-3}$  para as posições base, meio e topo dos colmos, respectivamente.

Também de acordo com Melo *et al.* (2015) o teor de umidade do carvão produzido com diferentes espécies de bambu foi inferior a 5% para as espécies *Bambusa vulgaris*, *Phyllostachys bambusoides* e *Phyllostachys nigra*, que foram semelhantes entre si, atendendo aos critérios de qualidade estabelecidos pelo Selo Premium, promulgado pela Resolução nº10 SAA, de 11 de julho de 2003, no Estado de São Paulo (2003), que determina que a umidade do carvão vegetal deve estar abaixo de 5% para uso doméstico. Em relação à posição do colmo, somente a espécie *Phyllostachys nigra* teve diferença de teor de umidade entre o topo, com maior valor, e as demais posições que foram semelhantes entre si.

Segundo Oyedun, Gebreegziabher e Hui (2013) o carvão de bambu é maior do que outras fontes de carvão em termos de valores caloríficos. Os resultados obtidos foram comparados com outras pesquisas que aplicaram os mesmos parâmetros de carbonização (temperatura, taxa de aquecimento e tempo de carbonização) utilizados neste trabalho. Os valores do carvão de bambu foram similares aos valores obtidos por Neves *et al.* (2011), para carvão de *Eucalyptus*, que variaram entre 7625 a 7698 Kcal.kg<sup>-1</sup>. Para *Bambusa vulgaris*, Baz (2019) obteve poder calorífico superior de 6880 Kcal.kg<sup>-1</sup>, inferior ao da mesma espécie deste trabalho.

Em relação a diferença na qualidade do carvão entre as espécies o bambu (*Bambusa vulgaris*) foi semelhante estatisticamente ao bambu (*Phyllostachys bambusoides*), sendo as duas outras espécies avaliadas diferentes entre si e com o grupo

anterior. Para carbono fixo, o valor médio foi baixo, e todas as espécies foram diferentes entre si. O teor de cinzas foi alto, com maior valor para *Bambusa vulgaris*, diferente das demais espécies, e os menores valores foram das espécies *Phyllostachys bambusoides* e *Phyllostachys edulis*, semelhantes entre si. Andrade *et al.* (2015) analisando a qualidade do carvão de *Bambusa vulgaris* encontraram valores de 64,11% de carbonofixo, 28,55% de voláteis, 4,8% de cinzas, sendo o carvão de pior qualidade em comparação com o obtido neste trabalho, com exceção do teor de cinzas.

Quanto a composição química do carvão vegetal, somente a espécie *Phyllostachys nigra* apresenta valores que atendem a Resolução nº10 SAA (SÃO PAULO, 2003) que determina que o carvão para uso doméstico deve ter teor de carbono fixo superior a 75%; além de teor de materiais voláteis e teor de cinzas inferiores a 23,5% e 1,5%, respectivamente. Para o teor de cinzas, nenhuma das espécies produziu carvão com teor de cinzas abaixo de 1,5%.

Para as espécies *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys bambusoides* houve variação na composição química imediata ao longo do colmo, com maiores valores de teor de voláteis e menores de carbono fixo no topo em relação à posição mediana e basal. O teor de cinzas também foi maior no topo para ambas as espécies, sendo que o *Phyllostachys bambusoides* produziu carvão com menor teor médio de cinzas. Já a espécie *Bambusa vulgaris* teve o maior teor médio de cinzas. As espécies *Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys nigra* não tiveram variação no teor de voláteis e carbono fixo ao longo dos colmos (BRAND *et al.*, 2015).

Considerando, de forma geral, o uso doméstico para cocção de alimentos, o carvão de bambu teve como única propriedade desfavorável seu maior teor de cinzas em comparação com o carvão produzido a partir da madeira. Brand *et al.* (2015) analisaram 12 marcas de carvão vegetal derivado de espécies florestais comercializadas na mesma mesorregião de estudo, no Estado de Santa Catarina. Os autores constataram que o carvão vegetal de uso doméstico tinha valores de densidade relativa aparente média de 0,403 g.cm<sup>-3</sup> (0,245 a 0,488); teor de umidade de 7,35% (5,59 a 8,21); poder calorífico superior de 6449 kcal/kg (4301-7968); teor de voláteis de 32,85% (26,15-39,47); 65,17% de carbono fixo (61,66 a 71,21) e teor de cinzas médio de 1,96% (0,68-3,89). Comparando-se o carvão comercial de madeira com o carvão produzido com espécies de bambu, pode-se constatar que as espécies *Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys nigra* produzem carvões com maior densidade relativa aparente

média. Os carvões de bambu, com exceção do *Phyllostachys edulis*, tiveram menor teor de umidade. Somente cinco marcas de carvão comercial tiveram poder calorífico superior maior que os valores registrados para as espécies de bambu, sendo que o carvão de bambu teve menores valores de teor de voláteis e maior quantidade de carbono fixo.

### 3.4. A QUEIMA DA BIOMASSA DE MADEIRA EM FORNOS DE INDÚSTRIAS CERÂMICAS

Para Bustamante (1986), o forno é o responsável pelo o grande avanço na indústria cerâmica que se deu graças ao aperfeiçoamento desses equipamentos. Normalmente a escolha do melhor forno depende da eficiência de produção desejada, do investimento necessário e do combustível utilizado. Os fornos são classificados em intermitentes ou periódicos e contínuos.

Queima dos tijolos e telhas, já secos, são em fornos de lenha ou cavaco e variam em tamanho e no modo como é aproveitado o calor. As condições ideais de queima exigem que o forno seja aquecido lentamente, ou seja, nas primeiras seis horas de aquecimento, a temperatura não deve ultrapassar os 100°C. Caso o forno aqueça muito rapidamente, a água contida no barro evaporasse muito depressa e as peças racham. Depois dessas primeiras horas, pose-se elevar mais rapidamente a temperatura até os 500°C, permanecendo durante três horas, e em seguida pode-se elevar até a temperatura ideal de 800 – 1000°C, permanecendo por seis horas. Nessa temperatura os tijolos e telhas adquirem a resistência mecânica desejada e som metálico quando batidos com uma peça metálica, esse som é característico dos tijolos bem cozidos. Quando o som é seco, indica que os tijolos estão malcozidos. Por exemplo, em um forno do tipo abóboda, por exemplo, leva-se cerca de cinco dias entre enfornar as peças, queima-las e desenforná-las depois de esfriadas. Em um forno túnel, o processo leva 36 horas (NASCIMENTO, 2015).

Segundo a SUDENE/ITEP (1988) e Petrucci (1982), os fornos intermitentes ou periódicos, são câmaras de alvenaria cerâmica espessa, carregados manualmente, sendo aquecida até atingir a temperatura desejada. Mantém-se esta temperatura por um período pré-estabelecido de horas, deixando-se, então, o mesmo sofrer resfriamento, para, no final, as peças serem retiradas do seu interior. O calor é

gerado fora dos fornos e circula pelo interior do mesmo, através de pilhas de material cerâmico até a chaminé (NASCIMENTO, 2015).

Os problemas que este tipo de forno provoca são: o material não é cozido de forma uniforme, o que implica em descarte de peças no final da operação, por falta ou excesso de queima; o funcionam num regime de carga-queima-descarga, não permitindo continuidade na produção; o calor gasto para aquecer a carga e as paredes do forno não é recuperado ao final do processo de queima e durante a fase de resfriamento; o todo o calor retido na carga e nas paredes do forno é dissipado para o ambiente, esta perda de energia pode significar cerca de 50% do total empregado no processo de queima o caracterizam-se por baixa produção, alto uso de mão-de-obra e elevado consumo de energia (NASCIMENTO, 2015).

Os fornos mais comuns segundo Nascimento (2015) no Brasil são: Forno paulistinha, forno abóbada, forno tipo Hoffmann e forno túnel os quais serão demonstrados a seguir.

Forno Paulistinha como pode ser visualizado na Figura 2 é retangular com queimadores laterais. Muito utilizado para a queima de telhas, mas é pouco econômico e difícil de operar. Importa verificar a relação custo/benefício e monitorar a distribuição do calor, que, se irregular, pode gerar peças com cor e resistência diferentes, mesmo num mesmo lote. Para melhores resultados, deve-se manter a constância da velocidade de queima (NASCIMENTO, 2015).



**Figura 2 - Forno paulistinha**

Fonte: Leite (2015).

O forno abóbada como pode ser visualizado na Figura 3 é um dos melhores para a produção de telhas segundo Nascimento (2015). Este possui deficiências de

qualidade e produtividade porem é econômico, de fácil operação e se adapta bem a qualquer combustível. Não oferece calor nas laterais nem controle de registros e a velocidade de aquecimento é muito alta, havendo risco de requeima do material. É imprescindível garantir a velocidade de aquecimento, a alimentação das fornalhas e as condições dos componentes mecânicos.



**Figura 3 – Forno abóbora**  
Fonte: SINDICER (2016).

Forno tipo Hoffmann foi inventado em 1858 e é obtido pela justaposição e conexão de diversos fornos intermitentes como pode ser visualizado na Figura 4. Usa o ar quente das câmaras em fogo para o pré-aquecimento das câmaras seguintes, que são interligadas, mantendo a produção contínua. Pode assumir a forma circular, oblonga ou retangular. O número de câmaras depende do tempo em que o material deve ficar enornado, e é feito de modo a poder ser carregado duas vezes por dia. Neste tipo de forno, a carga é fixa e a zona de queima (geralmente lenha) é continuamente deslocada de uma a outra extremidade de cada galeria (NASCIMENTO, 2015).



**Figura 4 - Forno Hoffmann retangular**  
Fonte: Leite (2015).

Forno túnel (Figura 5) foi inventado em 1877, sendo bastante superior ao anterior por apresentar melhor rendimento térmico e economia de mão-de-obra muitas vezes superior a 60%. É um longo túnel onde a câmara de queima fica no centro. O material é introduzido sobre vagonetas que correm em trilhos e movem-se de uma extremidade a outra do túnel. À medida que vai percorrendo o túnel, vai sofrendo um aquecimento gradativo até alcançar a zona onde se efetua a combustão. A seguir sofre o processo inverso de resfriamento, até a saída do túnel. A movimentação dos carrinhos pode ser feita através de correntes ou por êmbolo, situação mais comum (NASCIMENTO, 2015).



**Figura 5 - Forno túnel**  
Fonte: Souza (2020).

Algumas cerâmicas utilizam alguns princípios ou projetos baseados nesses fornos e adaptam para o seu sistema que pode conter alguns formatos parecidos e desempenhos diferenciados.



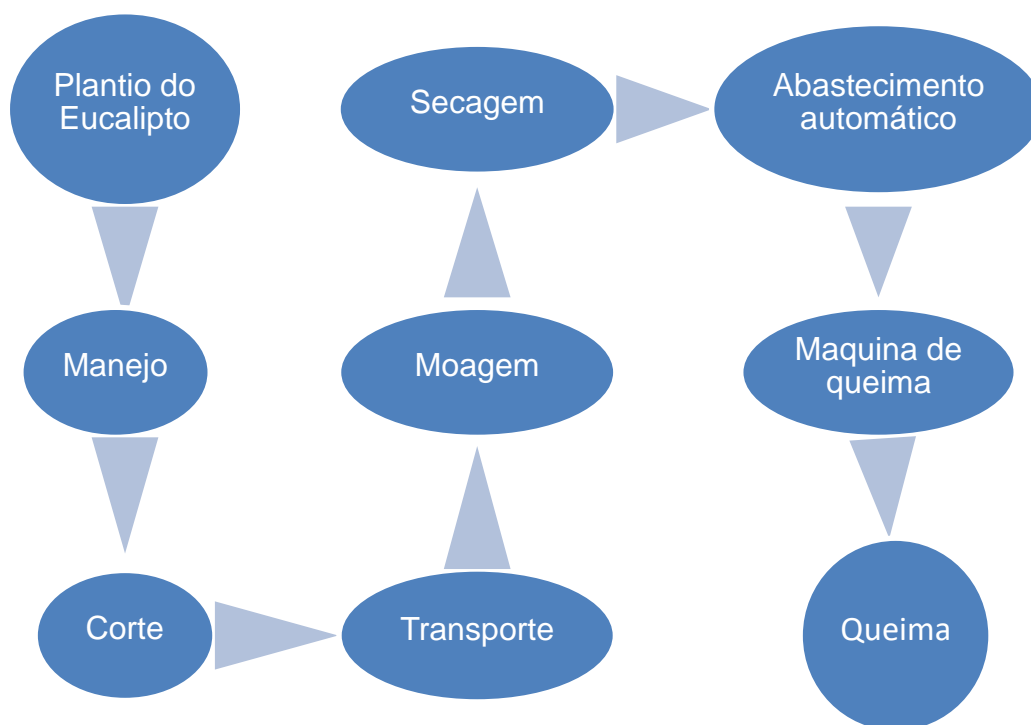
## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Essa pesquisa referiu-se à avaliação do sistema utilizado na queima de cavaco de eucalipto em fornos e quais as alterações necessárias para o consumo do cavaco de bambu em uma indústria cerâmica localizada em Santa Helena, no oeste do estado do Paraná.

Considerando os métodos aplicados, essa pesquisa pode ser classificada como quantitativa e qualitativa, pois levou em consideração a identificação dos valores das características dos materiais utilizados, assim como, buscou coletar informações que pudessem explicar os dados identificados. Quanto aos objetivos essa pesquisa pode ser classificada como exploratória e em relação aos procedimentos técnicos adotados pode ser fita como experimental.

Para melhor entendimento do processo de produção e consumo do cavaco no sistema cerâmico avaliado foi desenvolvido um fluxograma da Figura 6.



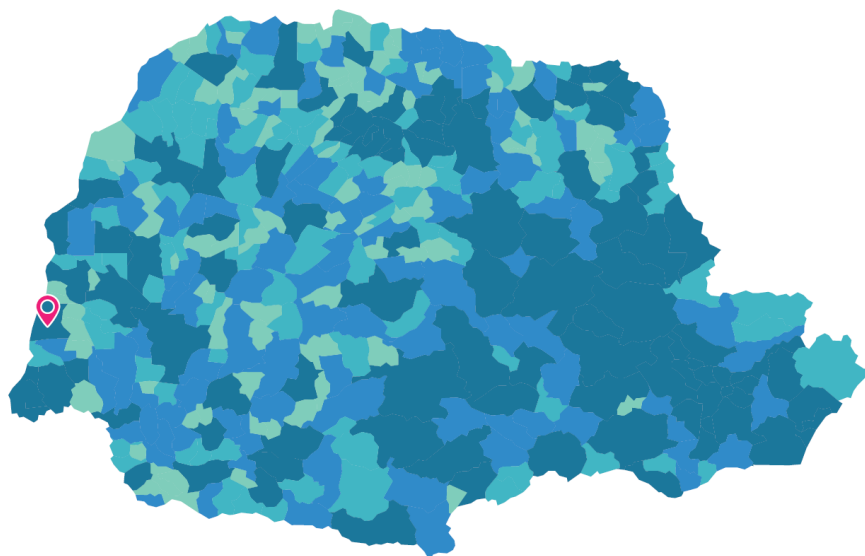
**Figura 6 - Fluxograma do processo de produção e utilização do cavaco de eucalipto avaliado**  
Fonte: Autor, (2021).

Os meios de cultivo não foram avaliados, pois se trata de um processo muito minucioso e que pode dar muita diferença e até mesmo viabilidades diferenciadas. Apesar de que o cultivo pode interferir diretamente na viabilidade de implantação de um sistema alternativo, mas para isso se deve ter uma base de qual sistema é mais fácil e qual planta se adapta melhor no ecossistema da região entre outras inúmeras variáveis que interferem na produtividade.

O processo de colheita será estudado a fim de que se tenha uma capacidade de produção compatível com a demanda exigida pela indústria.

#### 4.2. LOCAL DA PESQUISA

As matérias primas para transformação em cavaco foram provenientes de uma área de terra localizada no município de Santa Helena – PR (Figura 7), os materiais foram triturados na empresa localizada no mesmo município.



**Figura 7 - Em destaque a localização do município de Santa Helena - PR**  
Fonte: IBGE, (2021).

As coletas dos bambus foram feitas nas coordenadas 24°56'14.0"S 54°22'57.2"W, localizadas no interior de Santa Helena – PR, comunidade de Santa Helena Velha, e as coordenadas da área dos eucaliptos são 24°56'11.3"S 54°23'01.3"W.

### 4.3. CARACTERÍSTICAS DOS CAVACOS

Nesse trabalho foram estudados dois tipos diferentes de cavacos e as características de cada um, serão mostradas separadamente em cada tópico.

#### 4.3.1. Características do cavaco de eucalipto

O cavaco de eucalipto é proveniente de madeiras da planta da espécie *Eucalyptus urograndis*, que foram colhidas com a utilização motosserras e depois transportada com o auxílio de um caminhão até a sede da empresa localizada próximo das áreas das florestas. A partir disso o material foi moído em um picador de madeira do fabricante Bruno Industrial®, que utiliza peneira de tamanho 50x50mm, como pode ser observado na Figura 8.



**Figura 8 - Cavaco de eucalipto pronto para ser armazenado**  
Fonte: Autor, (2021).

Após o processo de trituração, o material foi depositado em um barracão coberto, com aberturas laterais, para secagem natural. A estocagem foi feita por um período de 90 dias.

#### 4.3.2. Características do cavaco de bambu

O cavaco de bambu da espécie *Bambusa vulgaris* (Figura 9) foi processado utilizando o mesmo método do cavaco de eucalipto inclusive a mesma máquina de moagem para que se possa ter o mesmo padrão de granulometria por passar na peneira de 50x50mm.



**Figura 9 - Cavaco de bambu pronto para ser armazenado**

Fonte: Autor, (2021).

Após o processo de trituração, o material foi depositado em um barracão coberto, com aberturas laterais, para secagem natural. A estocagem foi feita por um período de 90 dias.

#### 4.3.3. Características do picador

O picador (Figura 10) utilizado para produção dos cavacos de madeira é da marca Bruno Industrial®, modelo PBH 180 x 520. A altura máxima de corte para toras é de 180 mm e largura máxima 520mm. Este picador possui duas facas, motor elétrico de potência 75 CV e peso do picador é de 6 toneladas.





**Figura 10 - Picador utilizado para fabricação dos cavacos**

Fonte: Autor, (2021).

#### 4.4. SISTEMA DE QUEIMA

Os ensaios de queima foram realizados utilizando um dos fornos da indústria cerâmica, mas que possui um sistema de trabalho idêntico aos demais. Sendo assim, pode-se considerar que os resultados identificados terão valores correspondentes a todos os equipamentos utilizados na indústria.

Os dados que foram levantados nesse processo constam de: o consumo do material de queima por unidade de tempo e a quantidade de corrente elétrica necessária para o trabalho do motor da máquina. Sendo assim, pode-se identificar qual matéria prima exigiu mais do equipamento e também o consumo necessário para manter a caloria do forno. Para que essa análise pudesse ser feita, foi necessário conhecer o processo do sistema de queima dos materiais utilizados.

##### 4.4.1. Elevador de cavacos

A primeira etapa após a estocagem e secagem natural do material de cavaco foi o transporte através de elevadores de talisca até as máquinas de queima, os quais foram projetados para fazer o deslocamento de vários tipos de materiais, mas podem ter alguma oscilação de quantidade a ser deslocada ou travamento. Esse processo

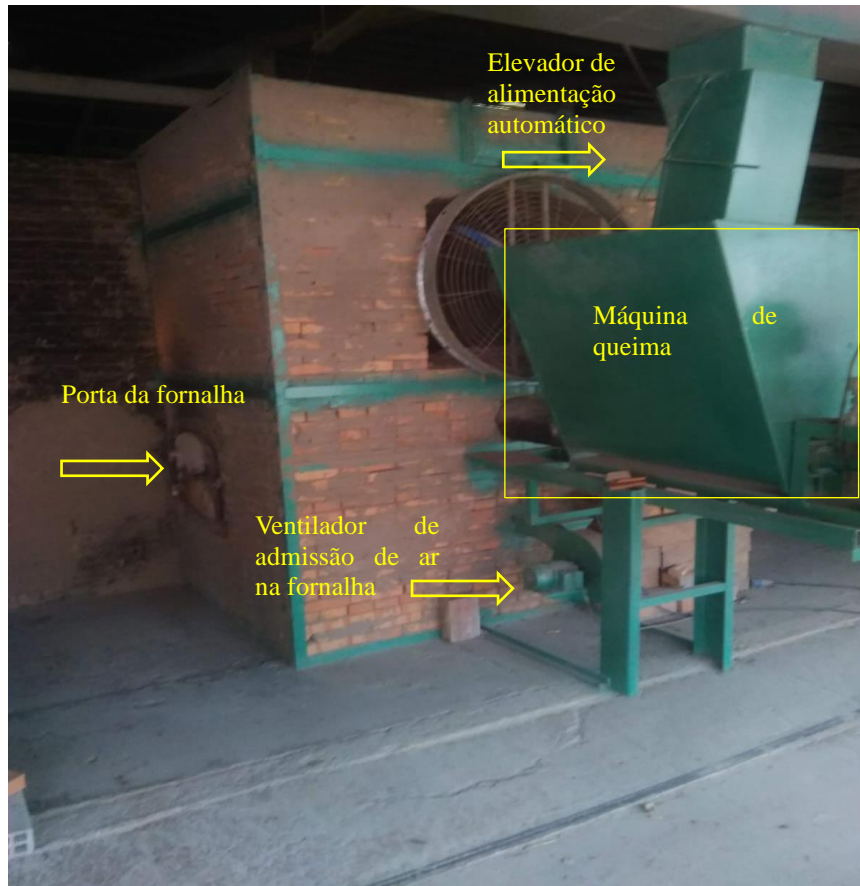
de transporte ocorreu de maneira idêntica para os dois materiais utilizados, o elevador de cavacos pode ser visualizado na Figura 11.



**Figura 11 - Elevador de cavacos utilizados para o transporte do material até o forno de queima**  
Fonte: Autor, (2021).

#### 4.4.2. Máquina de queima

Os ensaios de queima foram realizados por bateladas enchendo uma caixa de volume igual a  $0,34 \text{ m}^3$ . Na Figura 12 pode ser observado o reservatório de cavacos, a fornalha do forno e seus componentes auxiliares.



**Figura 12 - Máquina de queima utilizada na fornalha**  
Fonte: Autor, (2021).

A máquina de queima utilizada foi da marca Souza®, com motor elétrico WEG® de potência igual a 1 CV e corrente elétrica máxima de 3 A.

#### 4.4.3. Controlador de temperatura

Durante a queima dos materiais foram utilizados padrões constantes de controle de temperatura utilizando o Controlador Universal de Processos N1200 – Novus®.

O controlador de processo N1200 (Figura 13) é um equipamento ideal para controle de alto desempenho nas mais exigentes aplicações. Seu algoritmo auto adaptativo garantiu uma resposta rápida e muito precisa em processos altamente dinâmicos de perfis complexos.



**Figura 13 - Controlador Universal de Processor N1200**  
Fonte: NOVUS, (2021).

Os dados coletados foram anotados e analisados com o auxílio de uma tabela a cada período de 5 minutos as variáveis de referência como temperatura externa, temperatura interna, potência da máquina de queima e sua velocidade através da frequência do inversor. Além disso, foram registrados os tempos de início e fim da batelada de cada tipo de cavaco, para poder serem comparados e avaliados.

#### 4.4.4. Controlador de velocidade do motor da máquina

O controlador de velocidade do motor da máquina a faixa de potências de 0,25 a 175 CV, o inversor de frequência CFW500 (Figura14) possui um acionamento de velocidade variável de alta performance, que auxilia no controle de velocidade e torque em motores de indução trifásicos.



**Figura 14 - Inversor de frequência modelo CFW500**  
Fonte: WEG, (2021).



O equipamento utilizado conta com controle vetorial sensorless, vetorial com Encoder ou escalar e controle de motores de ímãs permanentes, SoftPLC, que agrega funções de Controlador Lógico Programável – CLP, além disso o equipamento possui as funções de segurança para proteção de sobrecarga do motor. Também traz funções dedicadas para bombeamento e módulos plug-in selecionáveis, que proporcionam uma solução flexível e otimizada para qualquer aplicação.

#### 4.5. TEOR DE UMIDADE

Outra variável considerada e registrada foi a da umidade das matérias primas, para isso foram coletadas amostras antes dos ensaios e armazenadas de forma adequada para posteriormente serem examinadas em laboratório. Apesar de serem produzidas e mantidas em um sistema paralelo de preparação, secagem e utilização, manteve-se sempre as condições de efeito climático dos materiais utilizados na indústria cerâmica.

A umidade foi determinada de acordo com a NBR 14929 (ABNT, 2017), foram pesados em torno de 500 gramas de amostra de cavacos, levados a estufa capaz de manter 105° C (±2 °C) para secagem, e feitas medições de peso até que esse não variasse 0,5 g entre duas pesagens sucessivas, foram feitas 3 repetições. Após obter o peso seco, utilizou-se a Equação 1 para a determinação do teor de umidade.

#### **Equação 1 – Determinação do teor de umidade**

$$U = \frac{m2 - m3}{m2 - m1} \times 100$$

Onde:

$U$  = teor de umidade (%);

$m1$  = massa do recipiente (g);

$m2$  = massa recipiente com amostra úmida (g);

$m3$  = massa recipiente com amostra seca (g).

Na Figura 15 é possível identificar os volumes das amostras utilizadas dos cavacos de madeira de eucalipto e dos cavacos de bambu.



**Figura 15 - Volumes dos cavacos de eucalipto e bambu utilizados para o ensaio do teor de umidade**

Fonte: Autor, (2021).

#### 4.6. DENSIDADE BÁSICA

A densidade básica foi determinada de acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2002), considerou-se o método de máximo teor de umidade, os cavacos coletados foram imersos em água em recipiente estanque, como se observa na Figura 16, e permaneceram durante cinco (5) dias, até o ponto de saturação das fibras.



**Figura 16 - Cavacos de eucalipto e de bambu submersos para o ensaio de densidade**

Fonte: Autor, (2021).

Após esse período os materiais foram pesados úmidos e colocados para secar em estufa com controle de temperatura ( $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ), e pesados até atingir peso constante (não excedendo 0,5 g em pesagens sucessivas), foram realizadas 3 repetições. Após esses processos utilizou-se a Equação 2 para a determinação da densidade.

### Equação 2 – Determinação da densidade

$$d = \frac{1}{\left(\frac{m1}{m2}\right) - 0,346}$$

Onde:

$d$  = densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m1$  = massa úmida (g);

$m2$  = massa seca (g).

#### 4.7. ANÁLISE DOS DADOS

Após a coleta dos dados, os mesmos foram tabulados e puderam ser elaboradas tabelas e gráficos que auxiliaram na identificação das diferenças entre os materiais pesquisados. Pode ser avaliado o desempenho dos materiais na queima, pois como se trata de espécies diferentes pode-se obter maior ou menor quantidade de calor pela mesma quantidade de massa afetando o controle eletrônico de queima.

Para testar as diferenças entre os materiais foi realizada a análise de variância ANOVA, seguida de teste Tukey das médias dos tratamentos. As análises foram realizadas com auxílio do programa STATISTICA versão 7.1 (StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, EUA).

Analisou-se ainda a qualidade do material produzido queimado (peças cerâmicas), pois para a indústria é importante que as peças mantenham a coloração uniforme, além de garantir a segurança e confiança em todo o sistema de queima, suprimindo as necessidades da empresa.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão apresentados em tópicos utilizando recursos como gráficos e tabelas que permitem comparar diferentes tipos de biomassa analisados nessa pesquisa.

### 5.1. TEOR DE UMIDADE

Os valores obtidos para umidade de cada tipo de cavaco se encontram na Tabela 1.

Amostras de cavaco	Teor de umidade médio (%)	Desvio padrão (%)	Coefficiente de variação (%)
Cavaco de eucalipto	16,36	2,38	14,54
Cavaco de bambu	9,00	0,28	3,11

**Tabela 1 - Resultados do teor de umidade das amostras de eucalipto e bambu**  
Fonte: Autor, (2021).

Sabe-se que a umidade varia conforme o tempo de secagem das toras antes de serem moídas ou também o tempo de estocagem do cavaco antes da queima, nos dois casos foram moídas ainda verdes com umidade alta e depois estocadas em local ventilado durante um período de seis meses antes dos ensaios.

### 5.2. DENSIDADE BÁSICA

Os resultados obtidos para densidade básica podem ser observados na Tabela 2.

Amostras de cavaco	Densidade média (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio padrão (g/cm <sup>3</sup> )	Coefficiente de variação (%)
Cavaco de eucalipto	0,471	0,005	1,06
Cavaco de bambu	0,417	0,011	2,64

**Tabela 2 - Densidade média das amostras de eucalipto e bambu**  
Fonte: Autor, (2021).

Sabendo que a densidade interfere na quantidade de massa do material por volume então dessa forma o bambu necessita maior quantidade de volume para possuir a mesma massa que o eucalipto.

### 5.3. TEMPO DE QUEIMA

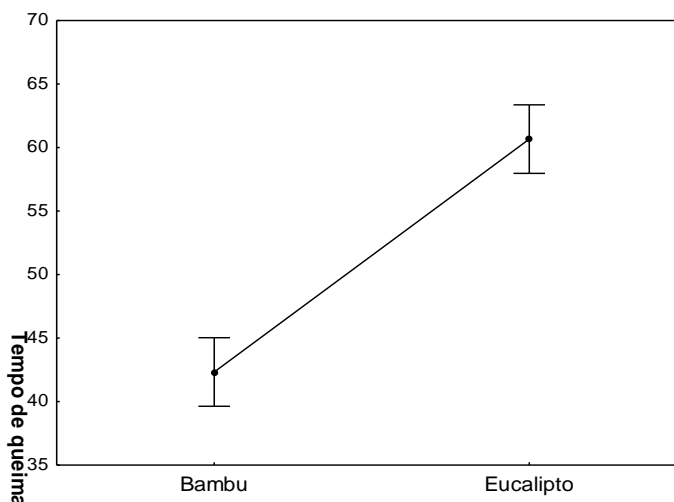
A análise estatística dos resultados amostrais revelou houve diferenças significativas entre o tempo de queima do bambu (*Bambusa vulgaris*) e do eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) (Tabela 3).

Effect	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrad o médio	Valor de F	Valor de p
Intercept	15913,50	1	15913,50	5616,529	0,000000
Material	504,17	1	504,17	177,941	0,000183
Erro	11,33	4	2,83		

**Tabela 3 - Resultado da análise de variância do tempo de queima dos cavacos de Bambu (*Bambusa vulgaris*) e do Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) sujeitos a queima em forno tipo paulistinha, a temperatura de 800 °C**

Fonte: Autor, (2021).

A partir do teste Tukey (Figura 17), ao nível de 5% de significância ( $p < 0,05$ ), se pode observar que em média o Bambu apresentou menor tempo de queima (42,33 minutos) que o Eucalipto (60,67 minutos).



**Figura 17 - Teste de média do tempo de queima (minutos) e de Bambu e Eucalipto em forno tipo paulistinha Obs. Volume utilizado 0,34 m<sup>3</sup>**

Fonte: Autor, (2021).

#### 5.4. TEMPERATURA DE QUEIMA

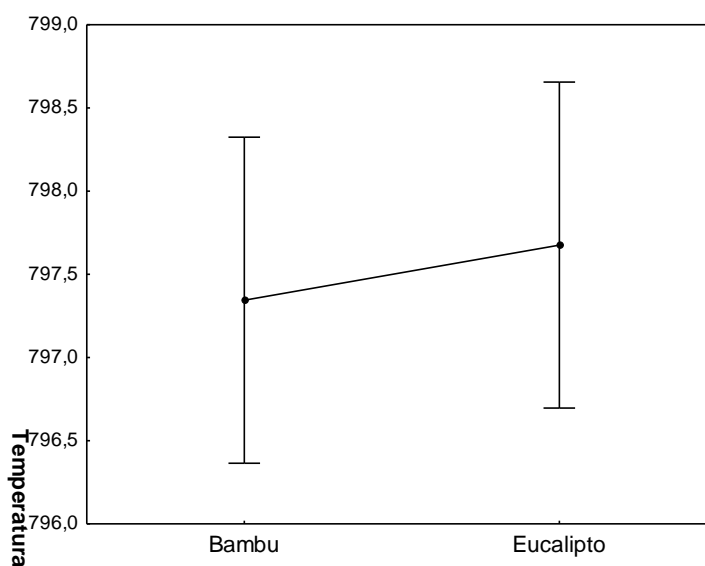
A temperatura de queima não apresentou diferença significativa entre as duas matérias primas, conforme resultado a análise de variância (Tabela 4).

Effect	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrad o médio	Valor de F	Valor de p
Intercept	3816134	1	3816134	10216183	0,000000
Material	0	1	0	0	0,542976
Erro	1	4	0		

**Tabela 4 - Resultado da análise de variância da temperatura de queima dos cavacos de Bambu (*Bambusa vulgaris*) e do Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)**

Fonte: Autor, (2021).

Nesse caso o teste Tukey ( $p > 0,05$ ), não revelou diferenças entre a utilização de Bambu (797,34°C) e do eucalipto (797,68°C), conforme Figura 18.



**Figura 18 - Teste de média da temperatura de queima (°C) e de Bambu e Eucalipto em forno tipo paulistinha**

Fonte: Autor, (2021).

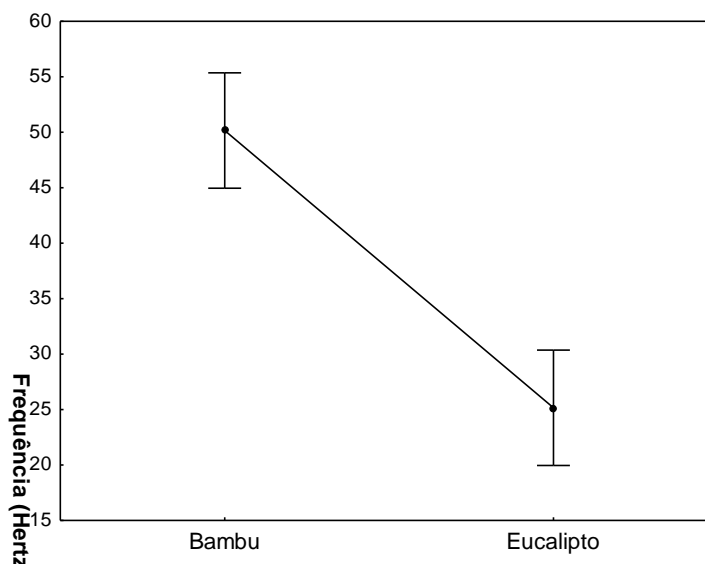
## 5.5. FREQUÊNCIA DA CORRENTE ELÉTRICA DE ACIONAMENTO DO MOTOR DA MÁQUINA DE QUEIMA

A Anova indicou que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ), entre frequência da corrente elétrica (Hertz) de acionamento do motor da máquina de queima, durante a queima do bambu e do Eucalipto (Tabela 5). Sendo que durante a queima do bambu (50,156 hertz) a frequência da corrente elétrica foi em média maior que a durante a queima do eucalipto (25,159 hertz), conforme observado na Figura 19.

Effect	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrad o médio	Valor de F	Valor de p
Intercept	8580,500	1	8508,500	808,2354	0,000009
Material	937,216	2	397,216	89,0276	0,000703
Erro	42,109	4	10,527		

**Tabela 5 - Resultado da análise de variância da Frequência da corrente elétrica de acionamento da máquina de queima, para queima dos cavacos de Bambu (*Bambusa vulgaris*) e do Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)**

Fonte: Autor, (2021).



**Figura 19 - Teste de média da frequência da corrente elétrica de acionamento do motor da máquina de queima**

Fonte: Autor, (2021).

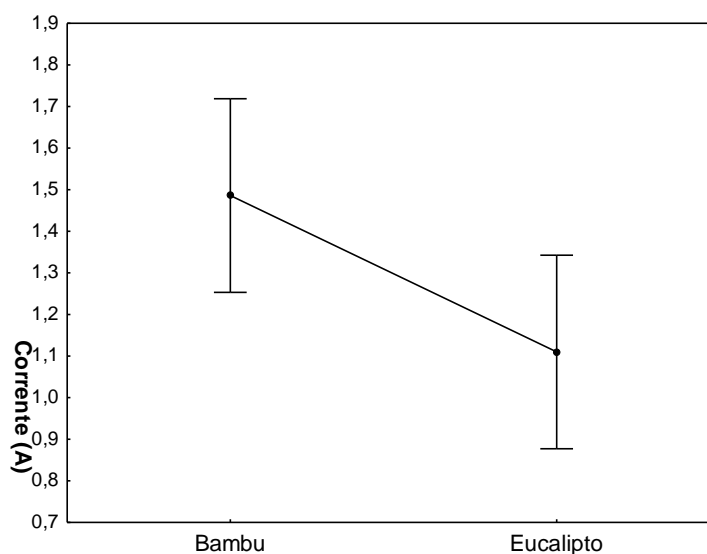
Para a corrente elétrica de acionamento do motor da máquina de queima, também foi possível observar que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os

tratamentos (Tabela 6).

Effect	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrad o médio	Valor de F	Valor de p
Intercept	10,10739	1	10,10739	479,4867	0,000026
Material	0,21210	1	0,21210	10,0621	0,033791
Erro	0,08432	4	0,02108		

**Tabela 6 - Resultado da análise de variância da corrente elétrica de acionamento da máquina de queima, para queima dos cavacos de Bambu (*Bambusa vulgaris*) e do Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)**  
 Fonte: Autor, (2021).

O teste Tukey ( $p < 0,05$ ) indicou que a corrente elétrica para o acionamento do motor da máquina de queima, durante a queima do Bambu (1,49 A) foi em média maior que durante a queima do eucalipto (1,11 A) (Figura 20).



**Figura 20 - Teste de média da corrente elétrica demanda durante o acionamento do motor da máquina de queima, para a queima do Bambu e do Eucalipto em forno tipo paulistinha**  
 Fonte: Autor, (2021).

## 5.6. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DO SISTEMA DE QUEIMA

Quando avaliados os parâmetros de operação do sistema de queima, foi observado que houve diferença significativa na variabilidade da temperatura de operação do forno (Tabela 7).

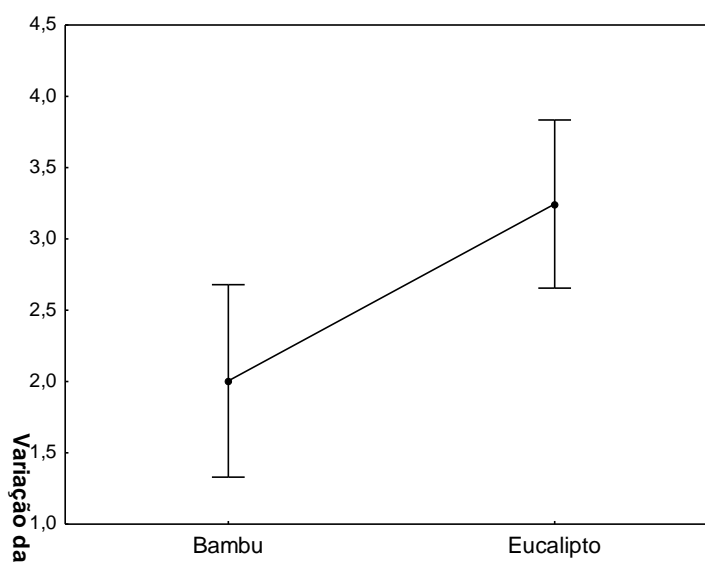


Effect	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrad o médio	Valor de F	Valor de p
Intercept	453,2615	1	453,2615	136,8544	0,000000
Material	25,3040	1	25,3040	7,6401	0,007419
Erro	215,2798	65	3,3120		

**Tabela 7 - Resultado da Anova da variação da temperatura de queima dos cavacos de Bambu (*Bambusa vulgaris*) e do Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*), em forno tipo paulistinha**

Fonte: Autor, (2021).

O teste Tukey ( $p < 0,05$ ) revelou que em média a queima dos cavacos de Bambu (Figura 21) apresentou menor variação de temperatura do forno (2,00 °C), quando comparado a queima dos cavacos de Eucalipto (3,25 °C).



**Figura 21 - Teste de média da variação da temperatura de queima (°C) e de Bambu e Eucalipto em forno tipo paulistinha**

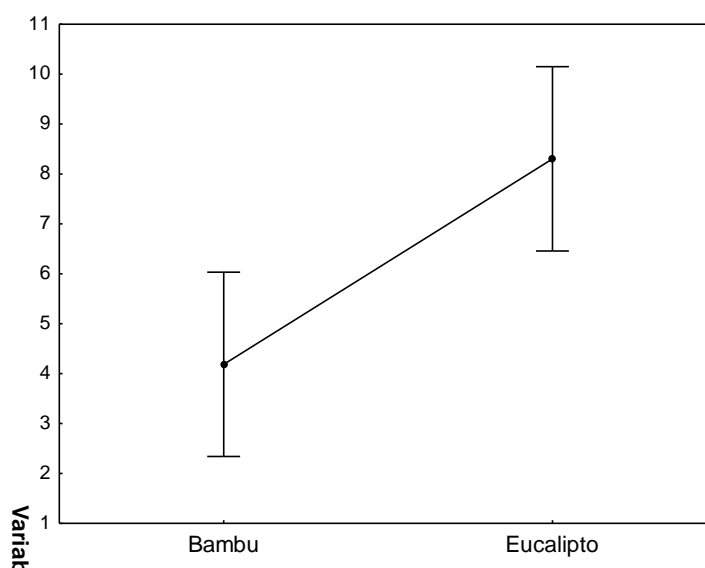
Fonte: Autor, (2021).

Fato semelhante também foi observado para frequência da corrente elétrica, que a partir da Anova foi verificada diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 8).

Effect	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Valor de F	Valor de p
Intercept	233,9695	1	23,9695	176,3135	0,000186
Material	25,4225	1	25,4225	19,1578	0,011903
Erro	5,3080	4	1,3270		

**Tabela 8 - Resultado da Anova referente a variação da frequência da corrente elétrica de acionamento do motor da máquina de queima, para queima dos cavacos de Bambu (*Bambusa vulgaris*) e do Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)**  
 Fonte: Autor, (2021).

O teste Tukey indicou que durante a queima dos cavacos de Bambu, a frequência da corrente elétrica da máquina de queima apresentou menor variabilidade (4,19 hertz), quando comparada ao acionamento para queima do eucalipto (8,30 hertz), conforme Figura 22.



**Figura 22 - Teste de média da variação da frequência da corrente elétrica demanda durante o acionamento da máquina de queima, para a queima do Bambu e do Eucalipto em forno tipo paulistinha**  
 Fonte: Autor, (2021).

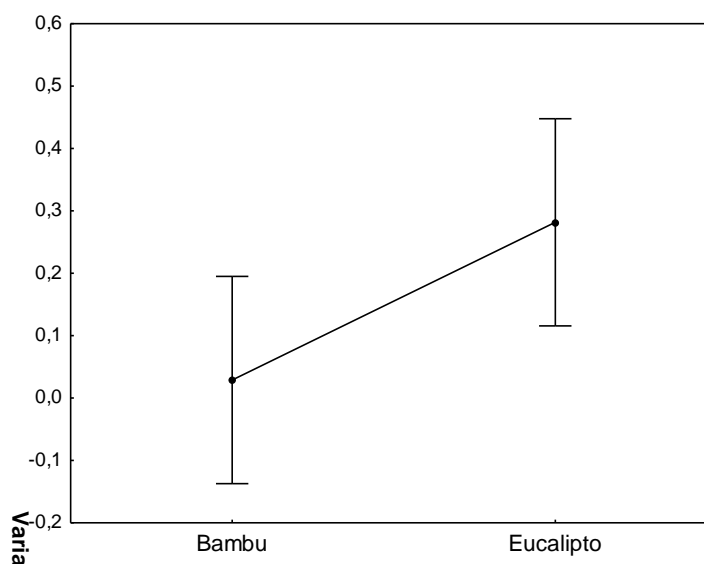
Para a corrente elétrica, a anova revelou que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre a variação da corrente elétrica durante o acionamento do motor da máquina de queima, para a queima dos cavacos de Bambu e de Eucalipto (Tabela 9).

Effect	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Valor de F	Valor de p
Intercept	0,144673	1	0,144673	13,47749	0,021369
Material	0,095900	1	0,095900	8,93385	0,040380
Erro	0,042938	4	0,010734		

**Tabela 9 - Resultado da Anova referente a variação da corrente elétrica de acionamento do motor da máquina de queima para queima dos cavacos de Bambu (*Bambusa vulgaris*) e do Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) em forno tipo paulistinha**

Fonte: Autor, (2021).

Segundo o teste Tukey, durante a queima do Bambu houve uma menor variabilidade na corrente elétrica de acionamento da máquina de queima (0,03 A), quando comparado a queima do eucalipto (0,28 A) (Figura 23).



**Figura 23 - Teste de média da variação da corrente elétrica demanda durante o acionamento da máquina de queima, para a queima do Bambu e do Eucalipto em forno tipo paulistinha**

Fonte: Autor, (2021).

Verificou-se nessa pesquisa que o bambu (*bambusa vulgaris*) teve uma densidade de  $0,417 \text{ g.cm}^{-3}$  e o cavaco de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)  $0,471 \text{ g.cm}^{-3}$ , sendo assim que teve uma diferença de aproximadamente 12%. Esses dados podem ser comparados com a pesquisa realizada por Melo *et al.* (2015) em que a densidade do cavaco de bambu (*bambusa vulgaris*), possui um valor de  $0,630 \text{ g.cm}^{-3}$ , o que colabora com os resultados dessa pesquisa e também pode ser comparado

com Berndsen *et al.* (2010) que encontrou um valor médio de densidade básica de  $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$ .

A moagem do bambu que pode ser observada na Figura 10, onde pode ser visualizado o momento em que o cavaco de bambu se desloca para o monte de secagem sem que acarretasse quaisquer problemas de forma idêntica ao eucalipto. Além disso, do transporte do cavaco de bambu através dos elevadores de talisca, o qual ocorreu de forma normal como pode ser visualizado na Figura 11, onde o cavaco de bambu estava em processo de deslocamento do estoque até a máquina de queima.

Outra questão foi de identificar que a diferença entre o consumo do volume de cavaco de bambu foi maior do que do cavaco de eucalipto terminando com uma caixa de volume  $0,34 \text{ m}^3$  em apenas 42,33 minutos enquanto o Eucalipto levou 60,67 minutos para esvaziar a mesma caixa.

Os dados de temperatura que foram coletados para identificar se o sistema teria capacidade de atender a quantidade de calor, o qual manteve uma menor variação de temperatura quando utilizados os cavacos de bambu que foi de  $2,00 \text{ }^\circ\text{C}$ , enquanto os cavacos de eucalipto tiveram variação de  $3,25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Assim identificando com satisfatória a capacidade e o controle da temperatura do sistema utilizando cavaco de bambu.

Outros dados importantes avaliados foram a potência utilizada pela máquina e a velocidade máxima de rotação para fornecer cavaco na fornalha, o qual não teve em nenhum momento ultrapassado a corrente elétrica máxima de 3A e a frequência máxima de 60 Hertz o qual é estabelecido pelo fabricante do motor WEG.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho trouxe um conhecimento sobre uma alternativa de material de queima diferenciado traz algumas vantagens para o sistema da indústria cerâmica tais como a não dependência de uma única fonte de material de queima e vantagens econômicas no processo dependendo dos valores comercializados das biomassas.

O processo de utilização do cavaco de bambu (*Bambusa vulgaris*) teve uma avaliação satisfatória, pois foi transportado e utilizado sem necessidade de alteração de nenhum sistema além de conseguir atender a demanda de calor do forno. Os testes mostraram que em nenhum momento foi necessário ultrapassar a corrente elétrica (Amper) máxima do motor e nem mesmo a velocidade que é identificada com a frequência elétrica (Hertz).

Outro fator importante foi que o cavaco de bambu manteve a qualidade de queima deixando os materiais com coloração uniforme e de pouca variação de temperatura evitando possíveis trincas.

## **7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

Uma sugestão para trabalhos futuros seria de avaliar o custo da produtividade do cavaco de bambu e de suas variedades com relação ao eucalipto desde custo de plantio, tempo mínimo para cada ciclo até rendimento e poder calorífico.

Outra sugestão seria de avaliar meios de mecanização mais econômicos ou de menor poder aquisitivo na produção automática do cavaco em uma cultura de bambu ou da cultura do eucalipto a fim de redução dos custos.

Os testes em laboratório de poder calorífico, teor de cinzas e efeito da radiação na queima do material cerâmico, também poderiam ser relevantes para trabalhos futuros.

## 8. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEFLOR. **Biomassa florestal no Brasil é responsável por geração de riqueza e milhares de empregos.** <<http://www.ageflor.com.br/noticias/mercado/biomassa-florestal-no-brasil-e-responsavel-por-geracao-de-riqueza-e-milhares-de-empregos/>> Acesso em: 17 abr. 2020.

ARAÚJO, *et al.* **Constituintes químicos e efeito ecotoxicológico do óleo volátil de folhas de Eucalyptus urograndis (Mirtaceae).** Quím. Nova, v.33, nº.7, São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941:** Determinação de densidade básica em cavacos de madeira. São Paulo, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 14929:** Determinação de umidades de cavacos. São Paulo, 2003.

BAMBU SC. **Vivência do Bambu.** Disponível em: <<https://bambusc.org.br/>>. Acesso em: 12 abr. 2020.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção.** 5. ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2008.

Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações. **Potencial energético da biomassa e do carvão de espécies de bambu.** <[http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEPG\\_2d131be69836033256eef6fd2305a220/](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEPG_2d131be69836033256eef6fd2305a220/)>. Acesso em: 17 abr. 2020.

BRAND, M. A. **Potencial do uso de quatro espécies de bambu para a produção de carvão vegetal para uso doméstico.** Ci. Fl., Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 60-71, jan./mar. 2020.

BRAND, M. A. **Energia da biomassa florestal.** Rio de Janeiro: Editora Interciência. 2010.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca.** IPEF, Piracicaba, n.16, p.63-70, 1978. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr16/cap05.pdf>>. Acesso em: 05 dez 2021.

BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M. **PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE ESPÉCIES E VARIEDADES DE BAMBU.** Depto. de Ciências Florestais - Piracicaba – SP. IPEF, n.36, p.13-17, ago.1987.

CELULOSE ONLINE. **Bambu.** Disponível em: <<https://www.celuloseonline.com.br/bambu-o-poder-da-energia-de-biomassa/>>. Acesso em: 08 out. 2019.

DE VECH, A. **Aspectos positivos e negativos da cultura do eucalipto e os efeitos ambientais do seu cultivo.** 2018. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/326307943\\_ASPECTOS\\_POSITIVOS\\_E\\_NEGATIVOS\\_DA\\_CULTURA\\_DO\\_EUCALIPTO\\_E\\_OS\\_EFEITOS\\_AMBIENTAIS\\_D\\_O\\_SEU\\_CULTIVO/](https://www.researchgate.net/publication/326307943_ASPECTOS_POSITIVOS_E_NEGATIVOS_DA_CULTURA_DO_EUCALIPTO_E_OS_EFEITOS_AMBIENTAIS_D_O_SEU_CULTIVO/)>. Acesso em: 14 abr. 2020.

FOELKEL, C. **Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade.** Ano 2016. Disponível em: <[https://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT44\\_Geracao\\_Calor\\_Vapor\\_Eletricidad\\_e.pdf](https://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT44_Geracao_Calor_Vapor_Eletricidad_e.pdf)>. Acesso em: 18 jun. 2021.

LEITE, G. R. **ESTUDO DE CASO DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES FORNOS NA INDÚSTRIA CERAMISTA E SEUS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE.** (UFC) Fortaleza, CE, Brasil, 16 de outubro de 2015.

GENOVESE, ALEX LEÃO. **Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo.** USP; 2006.

GONÇALVES, DIVA. EMBRAPA. **Bambu é alternativa de renda na produção familiar.** Acre; 15/05/2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto/tema>> Acesso em: 13 nov 2021.

GREEN ME. **Benefícios e Qualidade do Bambu.** Disponível em: <<https://greenme.com.br/morar/bioarquitetura/3210-bambu-beneficios-qualidades-usos/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

INSTITUTO DE ÁGUAS E TERRAS (IAT). **LISTA DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS DO PARANÁ.** Ano 2020. Disponível em: <[http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-04/folder\\_web\\_geral.pdf](http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-04/folder_web_geral.pdf)>. Acesso em: 18 jun. 2021.

JAQUES, LUCIANE C. EMBRAPA. **Eucalipto.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto/tema>>. Acesso em: 06 out. 2019.

KLEINE, HANS-JURGEN. **Energia de Biomassa do Bambu.** Florianópolis; 2015.

LEITE, R. C. C.; LEAL M. R. L. V. **Novos Estudos.** CEBRAP. Nº 78. São Paulo, jul. 2007.

LIMA. C.R.; BAJAY, S.V. **Políticas e diretrizes para a biomassa florestal no Estado da Paraíba: "Aspectos da reposição florestal obrigatória".** In: CONGRESSO BRA.



LIMA, WALTER DE PAULA. **Impacto Ambiental do Eucalipto**. Edusp, SP, 1987, 302 pág.

LONGUE, DALTON JÚNIOR, COLODETTE, JORGE LUIZ. **Importância e versatilidade da madeira de eucalipto para a indústria de base florestal**. Brazilian Journal of Forestry Research. Viçosa, MG, Brasil, v. 33, n. 76, p. 429-438, out./dez. 2013.

MARÇAL, V. H. S. **Uso do Bambu na construção civil**. Brasília: Universidade de Brasília, 2008. 60p.

MATA NATIVA. **Os impactos da utilização da biomassa florestal para a geração de energia**. <<https://www.matanativa.com.br/blog/biomassa-florestal-para-a-geracao-de-energia/>>. Acesso em: 17 abr. 2020.

MELO, R. R. de *et al.* Physical mechanical properties of wood-bamboo particleboard. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 35-42, jan. 2015.

MODESTO, C. O.; JÚNIOR, J. C. B. **Materiais Cerâmicos**. Cocal do Sul: Colégio Maximiliano Gaidizinski, 2001.

NASCIMENTO, C. A. **ESTUDO DA REENGENHARIA DE FORNOS CERÂMICOS COM CRIVAMENTO: UMA OPORTUNIDADE REAL DE MELHORIA DA SUSTENTABILIDADE**. GUARAPUAVA, PR. 2015. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/45018/R%20-%20D%20-%20CARLOS%20ALBERTO%20DO%20NASCIMENTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 set. 2021.

OYEDUN, A. O.; GEBREEGZIABHER, T.; HUI, C. W. Mechanism and modelling of bamboo pyrolysis. **Fuel processing technology**, Western Australia, v. 106, p. 595-604, 2013.

SANTOS, PAULO EDUARDO TELLES DOS. EMBRAPA. **Biomassa para energia**. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/eucalipto/arvore/CONT000flguaaxl02wyiv80hhnoey960953j.html>>. Acesso em: 18 jun. 2021.

SITIO DA MATA. **Bambu para Energia**. Disponível em: <<https://www.sitiodamata.com.br/bambu-para-energia/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

SOARES, JÉSSICA MACHADO. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE TRÊS DIFERENTES TIPOS DE CAVACOS DE MADEIRA DO HÍBRIDO *Eucalyptus urophila* x *grandis*** - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, CURITIBA 2016.

SILVA, T. A. **Potencial do bambu (*Bambusa vulgaris*) no tratamento de efluentes**

**domésticos.** Universidade Federal do Acre. 30 dez 2021.